



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO
"LA EXCELENCIA ACADÉMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD"

CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

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

Artículos de Investigación del 3er. Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería



AÑO: 2017 VOLUMEN: 1 NÚMERO: 3

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

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

Título de la revista:

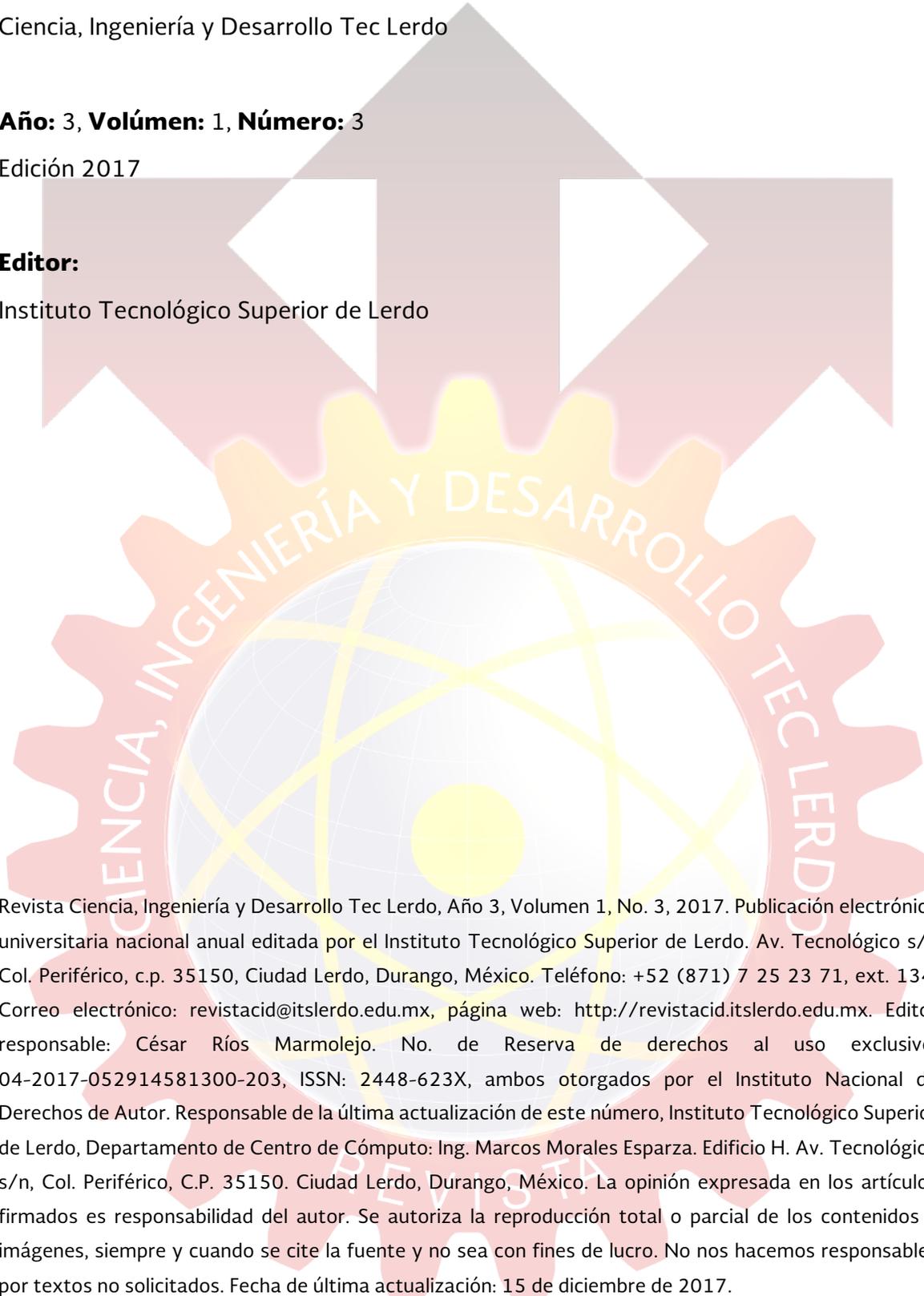
Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

Año: 3, Volumen: 1, Número: 3

Edición 2017

Editor:

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo



Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Año 3, Volumen 1, No. 3, 2017. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n Col. Periférico, c.p. 35150, Ciudad Lerdo, Durango, México. Teléfono: +52 (871) 7 25 23 71, ext. 134. Correo electrónico: revistacid@itslerdo.edu.mx, página web: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx>. Editor responsable: César Ríos Marmolejo. No. de Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2017-052914581300-203, ISSN: 2448-623X, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Centro de Cómputo: Ing. Marcos Morales Esparza. Edificio H. Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México. La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 15 de diciembre de 2017.



CONSEJO EDITORIAL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

PRESIDENTE

ISRAEL CASTRO MUÑOZ

SECRETARIO GENERAL

JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO

JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

OTROS MIEMBROS DEL CONSEJO EDITORIAL

CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

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



COMITÉ EDITORIAL

EDITOR RESPONSABLE
CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

SUPERVISOR EDITORIAL:
LILIANA LÓPEZ APARICIO

PÁGINA WEB:
PASCUAL SALAZAR CASTILLO

ARTE, DISEÑO, Y SUPERVISIÓN TÉCNICA:
JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL

DISEÑO DE PORTADA:
JOSÉ ÁNGEL GARCÍA ESCOBEDO

WEBMASTER:
MARCOS MORALES ESPARZA

ASOCIADA EDITORIAL:
KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO

COMITÉ REVISOR

NOE ALVARADO TOVAR, FRANCISCO JAVIER ARREOLA CARDOZA, JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL, JOSÉ ÁNGEL CANDELAS SAUCEDO, ISELA GUADALUPE CARRERA CALDERÓN, ERNESTO II CASTRO JUÁREZ, MARÍA GUADALUPE FLORES LUEVANOS, KARLA FLORES ROMO, ROBERTO GARCÍA PÉREZ, LUIS AMADO GONZÁLEZ VARGAS, ALEXANDRO GUEVARA AGUILAR, FRANCISCO HUERTA VALENZUELA, BRUNO LÓPEZ TAKEYAS, MARITZA MACIAS CORRAL, VÍCTOR EDI MANQUEROS AVILÉS, CÉSAR OCTAVIO MÁRQUEZ AGUIRRE, JUAN MANUEL MARTÍNEZ BURROLA, ANTONIO MENDOZA RUELAS, HÉCTOR ALONSO MORENO AVALOS, CRISTOBAL FABIÁN NÁJERA MARTÍNEZ, EDMUNDO JAVIER OLLERVIDES VÁZQUEZ, LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ, ROGELIO PEDROZA DUARTE, CÉSAR RÍOS MARMOLEJO, OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS, FELIPE DE JESÚS RODRÍGUEZ FLORES, KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO, PASCUAL SALAZAR CASTILLO, RAQUEL GUADALUPE SAUCEDO CHACÓN, MARÍA CONCEPCIÓN SOSA ÁLVAREZ, JOSÉ DE JESÚS SANTIAGO TELLO MIJARES, SILVIA ADRIANA VIDAÑA MARTÍNEZ.

e-mail: revistacid@itslerdo.edu.mx

CARTA DEL EDITOR

La comunicación entre las personas es esencial en todas las civilizaciones y en el ámbito de la investigación es de suma importancia dar a conocer los avances que se desarrollan de forma grupal o individual en las diferentes áreas de la ingeniería. Es por ello que tengo el agrado de dar a conocer la tercera publicación de la revista electrónica anual del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, la cual tiene como objetivo propiciar un espacio de divulgación de índole tecnológico.

Para la Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, la calidad en la atención a nuestros autores y lectores es una prioridad. En este contexto estamos continuamente revalorando los aspectos que hacen que esta revista continúe siendo una alternativa atractiva para que nuestros autores decidan confiarnos sus importantes trabajos inéditos. Tras una estricta evaluación por pares, cada trabajo aceptado es revisado cuidadosamente por nuestro equipo editorial, hasta cumplir con los estándares editoriales que caracterizan a la revista.

Nuestra revista refleja su carácter multidisciplinario tanto en los contenidos como en la composición, está diseñada para facilitar la divulgación de la investigación y el desarrollo tecnológico actual en las distintas áreas de la ingeniería. Por su presentación electrónica y su estructura se pretende acortar los tiempos de publicación científica.

El contenido de nuestra revista se engalana con los artículos de ponencias presentadas en el 3^{er} Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería 2017, el cual fue llevado a cabo en Ciudad Lerdo, Durango, los días 25, 26 y 27 de octubre del presente año, donde se contó con la participación de investigadores y autores de importantes temáticas y productos en el ámbito de las diversas áreas de la ingeniería para las cuales fue convocado dicho congreso.

Así mismo aprovecho la oportunidad para invitarlos a que envíen sus trabajos para ser publicados en la edición 2018 de esta misma revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo que estará disponible la convocatoria a partir de febrero de 2018 en la página Web del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

Agradecemos a todos los investigadores y jóvenes investigadores que han creído en el proyecto y han buscado publicar sus trabajos en este espacio. Finalmente agradezco la participación como revisores a los investigadores de las diferentes universidades que estuvieron apoyando en este gran proyecto. Así mismo también al comité editorial que gracias a su compromiso se logró llevar a buen fin esta publicación.

Muy sinceramente
César Ríos Marmolejo
Editor responsable

ÍNDICE

01.	Backstepping robusto para el control de altitud de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija miniatura.....	01
	» <i>A.T. Espinoza-Fraire, J. A. Sáenz-Esqueda, A. Sáenz-López, F. Martínez-Cortés.</i>	
02.	Dispositivo auxiliar para afinación de guitarras.....	07
	» <i>J. I. Vega-Luna, G. Salgado-Guzmán, M. A. Lagos-Acosta, J. F. Cosme-Aceves, F. Rangel-Sánchez, V. N. Tapia-Vargas.</i>	
03.	Monitor de nivel en depósitos de agua usando IoT.....	13
	» <i>J. I. Vega- Luna, G. Salgado-Guzmán, M. A. Lagos-Acosta, J. F. Cosme-Aceves, F. Rangel-Sánchez, V. N. Tapia-Vargas.</i>	
04.	Registro De Personal De Vigilancia En Rondines Usando RFiD Y LoRa.....	19
	» <i>J. I. Vega- Luna, G. Salgado-Guzmán, M. A. Lagos-Acosta, J. F. Cosme-Aceves, F. Rangel-Sánchez, V. N. Tapia-Vargas.</i>	
05.	Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino.....	25
	» <i>E. Machado-Díaz, H. Coto-Fuentes.</i>	
06.	Sistema de automatización para el control de las condiciones ambientales en cultivo de microalga chlorella.....	31
	» <i>Y.K. Beltrán-Cediel, A.M. Quiñones-García, J. A. Vargas-Guativa.</i>	
07.	Automatización de microscopio digital mediante servomotor para autoenfoco.....	37
	» <i>J.P. Reyes-Ornelas, J. J. S. Tello-Mijares, J.J. Linares-Aranda, H. Quiriarte-Reyes.</i>	
08.	Balanceo de líneas en servicio de Partes-Prototipos aplicando List-Scheduling.....	42
	»	
09.	Evaluación y caracterización de molinetes con LabView.....	48
	» <i>J. Martínez-Navarro.</i>	
10.	Manipulación de entradas y salidas digitales del servo amplificador Ultra 3000 de Allen Bradley usando MatLab y Arduino.....	54
	» <i>J.E. Tarango-Hernández, N. Alvarado-Tovar, V. E. Manqueros-Áviles.</i>	
11.	Optimización de sistemas de enfriamiento en autotransformadores de potencia para la eficiencia energética.....	61
	» <i>M. A. Pineda-Belmontes, A. Tinoco-Alcazar, A.M. Zárate-Sánchez..</i>	
12.	Evaluación del comportamiento de excitadores para generadores síncronos de alta potencia.....	68
	» <i>I.U. Martínez-Gamboa, F.S. Sellschopp-Sánchez, M. A. Rivero-Corona, R. Loera-Palomo.</i>	
13.	Máquina bobinadora semiautomática de mínimo error.....	75
	» <i>R. Adame-Delgado, R.A. Favela-Herrera, A. Reynoso-Segovia.</i>	
14.	Modelado y simulación de sistemas fotovoltaicos y eólicos en PSS/E y GMB.....	81
	» <i>J.E. Morón-Monreal, M.A. Arjona-López, C. Hernández-Flores, L. Hamdán-Medina.</i>	
15.	Análisis térmico por el método del elemento finito para determinar las temperaturas internas de las capas aislantes en el enclosure de una turbina de gas.....	88
	» <i>A. Serrano-Hernández, D.A. Roman-Landeros, F. Huerta-Valenzuela.</i>	

16.	Optimización del corte para la ranura de un contenedor autovolcable.	93
	» <i>R. Saldaña-Acosta.</i>	
17.	Modelado de un ciclo Brayton regenerativo para el estudio de la mejora de la eficiencia de turbinas de gas.	97
	» <i>E. II. Castro-Juárez, N. Alvarado-Tovar, D.A. Román-Landeros.</i>	
18.	Aplicación de diseño de experimentos DoE en el análisis de parámetros de soldadura GMAW en un componente de suspensión.	103
	» <i>J. F. Rizo-López, E. Mendoza-Rodríguez, J. C. López-Aguado.</i>	
19.	El uso educativo que le dan los estudiantes de ingeniería del ITSSPC a las redes sociales.	109
	» <i>R. E. Vielma-Castillo, E.C. Aguilar-Favela, M.I. Luna-Reyes.</i>	
20.	Desarrollo de una aplicación móvil para dar seguimiento a eventos en un congreso.	115
	» <i>M.G. Flores-Luévanos, E. Moreno-Núñez, K.V. Rodríguez-Lozano.</i>	
21.	Estudio numérico de túnel de viento didáctico del TecNM/ITLaguna.	121
	» <i>M. A. Rivero-Corona, S. Sellschopp-Sánchez, E. J. Arroyo-Chavarría, J. A. Barajas-Hernández, E. Ramos.</i>	
22.	Análisis de la radiación solar en tres ciudades de Coahuila y Durango.	127
	» <i>S. L. Orozco-Cerros, M. A. Rivero-Corona.</i>	
23.	Análisis mediante dinámica de fluidos computacional de un álabo con perfil NACA 2411.	132
	» <i>L. F. Marín-Motanñez, M. A. Rivero-Corona, F. S. Sellschopp-Sánchez, F. J. Alba-Silva, E. Ramos-Mora.</i>	
24.	Diseño estructural de la sección cilíndrica del túnel de viento didáctico del TecNM ITLaguna.	138
	» <i>E. J. Arroyo-Chavarría, F. J. Alba-Silva, J.C. Ramos-Pedroza, J. A. Barajas-Hernández.</i>	
25.	Tratamiento de agua por destilación solar.	143
	» <i>T. J. A. Cervantes-Vázquez, R. D. Calderon-Lobato, L. C. de la Paz-Robles.</i>	
26.	Evaluación de tres diferentes sustratos para el desarrollo de lombriz roja californiana (<i>Eisenia Foetida</i>).	147
	» <i>S. A. Vidaña-Martínez, M. Hernández-Lopéz, A. Y. Muro-Jiménez.</i>	
27.	Construcción de un Lombricario para la Reproducción de lombriz “ <i>Eisenia Foetida</i> ” y Generación de Vermicomposta.	152
	» <i>M. Hernández-López, S. A. Vidaña-Martínez., S. de la Rosa-Lugo.</i>	
28.	Comparación de la alteración del peso en el mármol tipo café tabaco mediante cristalización de sales por cloruro de sodio.	158
	» <i>A. M. Morales-Tassinari, P. Cruz-Ortega, M. E. Velasco-Ordoñez, A. Servín-Martínez.</i>	
29.	Modelos matemáticos y producción limpia en la industria farmacéutica.	165
	» <i>D. R. Delgado.</i>	
30.	Análisis preliminar de agua para la construcción de una planta purificadora en el ITSL.	169
	» <i>A. Viramontes-Acosta, T. E. Velásquez-Chávez, S. E. Filerio-Carrillo.</i>	
31.	Diseño y construcción de red hidráulica para conducción de agua en proceso industrial.	173
	» <i>A. J. Cordero-Escamilla, J. M. Martínez-Burrola, V. E. Manqueros-Avilés.</i>	

32.	Biopolímero reforzado con nanotubos de carbono para su aplicación como andamios en la regeneración de tejido óseo.	179
	» <i>M. L. Flores-Cedillo, M. L. Morales-Barbosa, H. Z. del Ángel-López, A. M. Sierra-Guerrero</i>	
33.	Innovación para la competitividad de la PYME. Propuesta de proyecto para una empresa del sector metalmecánico.	183
	» <i>D. A. Noriega-Rodríguez.</i>	
34.	Ruta cultural, una oportunidad de negocio en la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla.....	189
	» <i>A. B. Téllez-Zapata, C. Domínguez-Olmos, M. P. Tello-Velasco.</i>	
35.	Cuantificación y razones de la rotación de personal: estudio de caso en una empresa proveedora del sector automotriz en Torreón, Coahuila, México.....	195
	» <i>J. J. Espinoza-Arellano, A. I. Reyes-Urbina, S. López-Chavarría.</i>	
36.	Perspectivas de la industrialización y comercialización. caso: el chayote en Veracruz.	199
	» <i>P. Landa-Reyes, D. L. Sánchez-Méndez, J. M. Olguín-Medina, A. Pérez-Cruz, R. Z. Torres-Becerra.</i>	
37.	Aplicación del muestreo del trabajo a empresa metal-mecánica.	207
	» <i>E. Segovia-Avila, W. Avila, N. J. Díaz-Obregón, B. L. Cardona-Ferniza, C. J. Perez-Ascencio.</i>	
38.	Diseño de módulo MPS para su acoplamiento en celda de manufactura flexible.	212
	» <i>L. López-Puente, J. Saucedo-Barajas, A. Caldera-Vidaña, .</i>	
39.	Optimización del tiempo de ciclo en una línea de ensamblaje, estudio de caso.	219
	» <i>R. K. -Martínez-Chong, E. C. Ávila-Salomón.</i>	
40.	Practicar de Valor para Adoptar un Enfoque por Competencias Laborales.	225
	» <i>E. A. Meraz-Salazar, M. L. García-Mares.</i>	

Backstepping robusto para el control de altitud de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija miniatura.

A.T. Espinoza-Fraire¹, J.A. Sáenz-Esqueda², A. Sáenz-López³, F. Cortés-Martínez⁴

Resumen—En este trabajo, se presenta la comparación entre técnicas de control lineal, y la propuesta de controlador no lineal robusto ante perturbaciones. Las técnicas lineales son: PD y PID. El controlador no lineal propuesto es la técnica backstepping, pero a ésta se ha agregado un modo deslizante dinámico para obtener un controlador robusto ante perturbaciones desconocidas. Las técnicas de control mencionadas anteriormente se aplican al control en altitud de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija miniatura.

Palabra claves—Control lineal, control no lineal, robusto.

Abstract— In this work, is presented the comparison between linear controllers and a nonlinear control technique. The linear techniques are PD and PID. The nonlinear controller is the backstepping technique, but this has been added a dynamic sliding mode in order to obtain a robust controller in presence of unknown perturbations. The control techniques mentioned are applied to the altitude control of fixed-wing miniature aerial vehicle unmanned.

Keywords— Linear control, nonlinear control, robust.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza la comparación de tres técnicas de control para el control en altitud de un vehículo aéreo no tripulado tipo avión miniatura, las técnicas están basadas en dos vertientes de la teoría de control (lineal y no lineal). Las técnicas de control lineal analizadas en este trabajo son: proporcional derivativo (PD) y proporcional integral derivativo (PID). La técnica de control no lineal está basada en la metodología backstepping y se realiza una unión con la técnica de control por modos deslizantes dinámico, para así obtener un controlador backstepping robusto ante perturbaciones en el sistema. Los resultados obtenidos con los controladores mencionados arriba, son presentados en simulaciones, éstas se obtuvieron utilizando MatLab Simulink.

En la literatura se pueden encontrar otros trabajos en los cuales unen las técnicas de control no lineal backstepping y por modos deslizantes para la obtención de un backstepping robusto, por ejemplo en [1], se propone un controlador backstepping con modos deslizantes libre del efecto chattering aplicado a un quadrotor o vehículo aéreo no tripulado de cuatro rotores, la eliminación del efecto

chattering lo logran al cambiar la función signo por una función discontinua de la función signo, ésta función la diseñan utilizando la lógica difusa. Los resultados obtenidos en [1] se presentan en simulaciones.

En [2], se propone un backstepping robusto para la dinámica longitudinal de un avión, dicho controlador se basa en la técnica backstepping y la robustez del controlador está dada por el diseño de un observador basado en modos deslizantes para estimar una perturbación y así ser considerada por el controlador y a su vez ser rechazada, los resultados mostrados en [2] son en simulación.

En [3] se propone un nuevo esquema de diseño híbrido para un sistema de vuelo basado en redundancia analítica. La redundancia analítica se utiliza para los ángulos de postura y se adopta un método de un observador de estados no lineal de orden reducido. El controlador de vuelo principal se basa en la técnica backstepping la cual se aplica al UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Para anular las incertidumbres tales como la dinámica no modelada y las perturbaciones externas, se diseñó un observador de estado extendido para mejorar la robustez del sistema de vuelo. En [3] los resultados son presentados en simulaciones.

El trabajo presentado en [4] está basado en un controlador backstepping el cual demuestran en base a simulaciones que es robusto ante ráfagas de viento, y los autores de [4] concluyen esto al ser comparado con un controlador LQR.

A diferencia de los controladores robustos basados en la técnica backstepping presentados en [1]-[4], el controlador backstepping robusto propuesto en este trabajo presenta una reducción en el efecto chattering basados sólo en la unión de un backstepping con un modos deslizantes dinámico, además de utilizar el derivador robusto para realizar el cálculo de las derivadas de mayor orden del controlador obtenido.

Este trabajo está compuesto por las siguientes secciones: en la sección II se presenta la parte técnica del artículo. En la sección III se tienen los resultados con los controladores lineales y con el controlador robusto propuesto. En la sección IV se presenta la discusión, la conclusión y las observaciones de este trabajo. Finalmente en la sección V se presentan las citas bibliográficas utilizadas en el desarrollo de este trabajo.

^{1, 2, 3, 4} Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Av., Universidad s/n Fracc, Filadelfia de Gómez Palacio, Dgo. CP. 35010. * tadeo1519@gmail.com

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección se presenta el modelo longitudinal del vehículo aéreo no tripulado, además de los algoritmos propuestos para el control en altitud del avión no tripulado.

El modelo aerodinámico que se presenta para la dinámica longitudinal del vehículo aéreo no tripulado, se considera que no existe alguna parte flexible sobre éste, y además se considera la tierra como plana debido a que sólo recorrerá distancias cortas, es por ello que en el modelo matemático del avión no tripulado de este trabajo, no se considera la curvatura terrestre. Así, la obtención del modelo es a partir de la segunda ley de movimiento de Newton.

Entonces, el modelo longitudinal que define al avión no tripulado está dado por:

$$\dot{V} = \frac{1}{m}(-D + T \cos \alpha - mg \sin \gamma) \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{mV}(L + T \sin \alpha - mg \sin \gamma) \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = q \quad (3)$$

$$\dot{q} = M_q q + M_{\delta_e} \delta_e \quad (4)$$

$$\dot{h} = V \sin(\theta) \quad (5)$$

donde V es la velocidad de vuelo del avión no tripulado, α describe el ángulo de ataque, γ representa el ángulo de incidencia del viento, y θ denota el ángulo de cabeceo. Además, q es la velocidad angular en cabeceo (con respecto al eje y del cuerpo del avión), T denota la fuerza de empuje del motor y h es la altura actual del avión [5], δ_e representa la desviación del elevador. Los efectos aerodinámicos del avión son obtenidos por la fuerza de elevación L y la fuerza de oposición al movimiento D . M_q y M_{δ_e} son las derivadas de estabilidad aerodinámica, m denota la masa total del avión no tripulado, g es la constante gravitacional. La fuerza de elevación L , la fuerza de oposición D , y las derivadas de estabilidad aerodinámica M_q y M_{δ_e} son definidas como [5]:

$$L = \bar{q} S C_L \quad (6)$$

$$D = \bar{q} S C_D \quad (7)$$

$$M_q = \frac{\rho S V \bar{c}^2}{4 I_{yy}} C_{mq} \quad (8)$$

$$M_{\delta_e} = \frac{\rho V^2 S \bar{c}}{2 I_{yy}} C_{m\delta_e} \quad (9)$$

donde \bar{q} denota la presión dinámica, S representa el área del ala, y \bar{c} es la respuesta aerodinámica de la cuerda aerodinámica. C_D , C_L , C_{mq} y $C_{m\delta_e}$ son los coeficientes aerodinámicos para la fuerza de oposición, de elevación, de movimiento longitudinal y del elevador, respectivamente. Finalmente, I_{yy} representa la inercia en el eje y

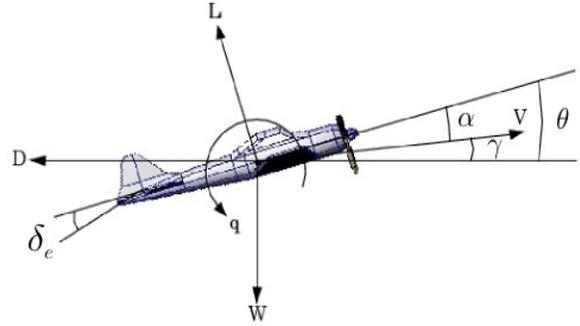


Figura 1. Variables involucradas en la dinámica longitudinal del vehículo aéreo no tripulado.

A. Controladores propuestos para el control de altitud del vehículo aéreo miniatura no tripulado.

Se han diseñado dos controladores clásicos (PD y PID) [6]. Para el diseño de los controladores lineales, se han considerado las ecuaciones (3)-(5).

Las ecuaciones (1) y (2) no son consideradas, debido a que al integrar la ecuación (1) se obtiene la velocidad relativa de vuelo, la cual se ha considerado en este trabajo como constante y la ecuación (2) no se utiliza en este trabajo, debido que al integrar dicha ecuación se obtiene el ángulo γ de incidencia del viento y en este trabajo se trabajará con el ángulo de cabeceo θ . Así, el error de altura se define como $\tilde{e}_h = h_d - h$, donde h_d es la altura deseada y h es la altura actual del avión no tripulado.

La altura deseada es lograda por la superficie de control del avión conocida en aviación como elevador y al mover ésta se genera un ángulo de cabeceo, entonces para desarrollar el control sobre esta superficie se define el error para el ángulo de cabeceo como $\tilde{e}_\theta = \theta_d - \theta$, donde $\theta_d = \arctan(\tilde{e}_h / \zeta)$ es el ángulo de cabeceo deseado y ζ denota la longitud del centro de masa del avión no tripulado a la nariz del mismo avión. Entonces, el controlador Proporcional Integral Derivativo, está definido por:

$$u_\theta = k_p(e_\theta(t)) + k_i \int_0^t (e_\theta(t)) dt + k_v \frac{d(e_\theta(t))}{dt} \quad (10)$$

donde, k_p , k_i y k_v son ganancias definidas positivas. Los valores de las ganancias fueron obtenidas de forma heurística para los controladores lineales como para el controlador no lineal.

Controlador	k_p	k_i	k_v
PID	10	0.025	5
PD	10		8

TABLA II
GANANCIAS DEL CONTROLADOR NO LINEAL

El controlador Proporcional Derivativo (PD) para el control de altura del vehículo aéreo miniatura no tripulado, está dado por:

$$u_\theta = k_p(e_\theta(t)) + k_v \frac{d(e_\theta(t))}{dt} \quad (11)$$

donde, k_p y k_v son ganancias con valores numéricos positivas. Finalmente, el controlador backstepping con modos deslizantes dinámico, está dado por:

$$u_\theta = \frac{-M_q \dot{q} + \ddot{\theta}_d - k_1 \ddot{e}_\theta - k_4 \dot{e}_\theta - k_2 \sigma}{M_{\delta e}} - M_{\delta e} \sigma - k_3 s - \beta_x \text{sign}(s) \quad (12)$$

donde, k_1 , k_2 , k_3 y k_4 son ganancias definidas positivas,

$$\sigma = q - \dot{\theta}_d + k_1 \tilde{e}_\theta \text{ y } s = \delta_e - \frac{-M_q q + \ddot{\theta}_d - k_1 \dot{e}_\theta - k_4 \tilde{e}_\theta - k_2 \sigma}{M_{\delta e}}$$

Este controlador incluye un diferenciador en tiempo real de tercer orden [7] para obtener las derivadas de $\ddot{\theta}_d$, $\dot{\theta}_d$ y $\dot{\theta}_d$, este diferenciador se utiliza debido a que la diferenciación en tiempo real tiene sensibilidad de diferenciación a ruidos de entrada, este diferenciador de tercer orden está dado por:

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= v_0 = \lambda_0 L |x_0 - \theta_d|^{3/4} \text{sign}(x_0 - \theta_d) + x_1 \\ \dot{x}_1 &= v_1 = \lambda_1 L |x_1 - v_0|^{2/3} \text{sign}(x_1 - v_0) + x_2 \\ \dot{x}_2 &= v_2 = \lambda_2 L |x_2 - v_1|^{1/2} \text{sign}(x_2 - v_1) + x_3 \\ \dot{x}_3 &= v_3 = \lambda_3 L \text{sign}(x_3 - v_2) \end{aligned}$$

donde, x_0 , x_1 , x_2 y x_3 son estimaciones en tiempo real de θ_d , $\dot{\theta}_d$, $\ddot{\theta}_d$ y $\ddot{\theta}_d$ respectivamente. El valor de la constante de Lipschitz se consideró como $L=1$, los valores de λ_0 , λ_1 , λ_2 y λ_3 son -5, -3, -1.5 y -1.1 respectivamente.

TABLA I
GANANCIAS DE LOS CONTROLADORES LINEALES

III. RESULTADOS

Para realizar una comparación entre los controladores se utiliza la norma L_2 [8], esta norma se aplicó a todos los resultados obtenidos en simulación para los controladores lineales, y el controlador robusto no lineal. Entonces, se obtiene la norma L_2 del error y del esfuerzo de cada controlador estudiado en el presente trabajo. Así, la norma L_2 para el error está dada por:

$$L_2[e_h] = \sqrt{\frac{1}{T-t_0} \int_{t_0}^T \|e_h\|^2 dt} \quad (13)$$

La norma L_2 para obtener el esfuerzo del controlador está definida como:

$$L_2[u_\theta] = \sqrt{\frac{1}{T-t_0} \int_{t_0}^T \|u_\theta\|^2 dt} \quad (14)$$

En la Tabla III, se presentan los resultados obtenidos con la norma L_2 para el error y esfuerzos del controlador.

TABLA III
NORMA L_2 DE LOS ERRORES Y ESFUERZOS DE LOS CONTROLADORES

Controlador	e_h [mts]	u_θ [grados]
PD	1.5888	1.8231
PID	1.5737	1.7751
Backstepping Robusto	1.4476	1.6995

Para la simulación se desea que el avión no tripulado siga la trayectoria que se muestra en línea punteada, y cabe mencionar que en los resultados presentados el sistema es perturbado para conocer cuál de los tres controladores tiene mejor rendimiento frente dicha perturbación.

En la Figura 2, se presentan los resultados obtenidos con el controlador Proporcional Derivativo (PD), debido que no es posible apreciar a simple vista cual controlador realiza mejor seguimiento, la descripción de los resultados está basada en la Tabla III. Así, considerando dichos resultados, el controlador PID presento un menor error que el controlador PD, pero presenta un error mayor que el controlador backstepping robusto propuesto. Cabe mencionar, que la simulación representa valores negativos, pero se está considerando que el vehículo aéreo no tripulado se encuentra a una altura en la cual los valores negativos no causaran que pueda estrellarse el avión en la superficie terrestre al realizar el seguimiento deseado. Por otra parte, la misma perturbación es utilizada para todas las simulaciones realizadas en este trabajo.

La Figura 3 muestra la acción de control generada por el controlador PID en altitud, como se puede apreciar en la Tabla III, el controlador PID presenta una acción de control menor que la del controlador PD, pero es mayor que la entregada por el controlador backstepping robusto propuesto.

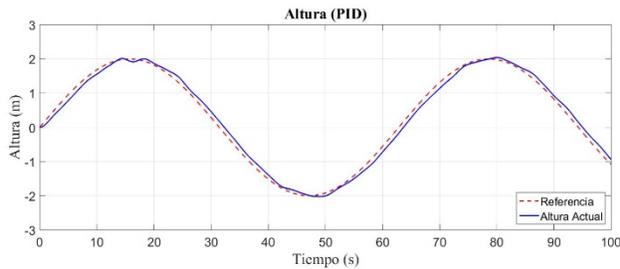


Figura 2. Controlador PID en altitud.

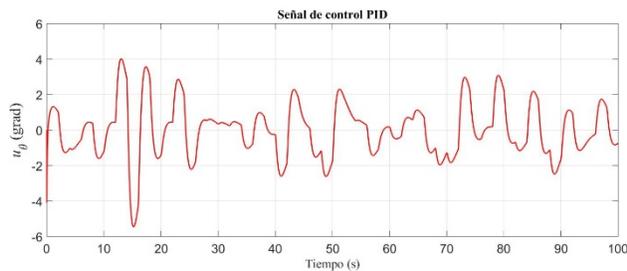


Figura 3. Señal de control PID en altitud.

Los resultados obtenidos con el controlador PD se presentan en la Figura 4, en esta figura se utiliza de la misma forma que para el controlador PID y el controlador backstepping robusto propuesto; la línea punteada que representa la referencia o la trayectoria deseada, y la línea sólida que representa la trayectoria actual del vehículo aéreo no tripulado. Entonces, el controlador proporcional derivativo (PD) presenta un error en altitud mayor que los

controladores PID y backstepping robusto propuesto. Además, el controlador PD muestra una acción de control mayor que el controlador PID y el controlador backstepping robusto propuesto, la Figura 5 presenta la señal de la respuesta obtenida por el controlador PD.

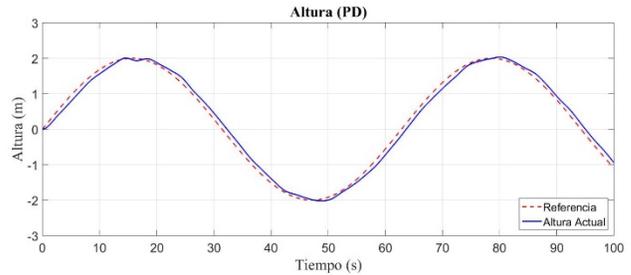


Figura 4. Controlador PD en altitud.

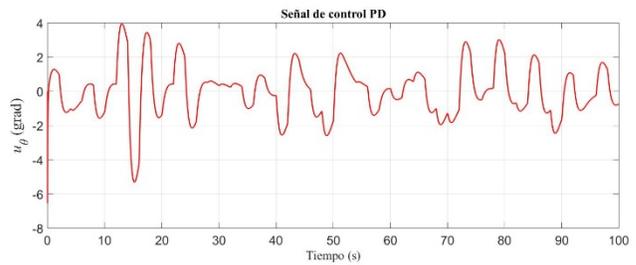


Figura 5. Señal de control PD en altitud.

En la Figura 6, se muestra el desempeño del controlador backstepping robusto propuesto. Considerando la Tabla III, el controlador backstepping robusto que se diseñó, muestra un error en altitud menor que los controladores PD y PID, y además de que entrega una acción de control menor que el PD y PID para cumplir con el objetivo de seguimiento de la trayectoria, ver la Figura 7 y la Tabla III.

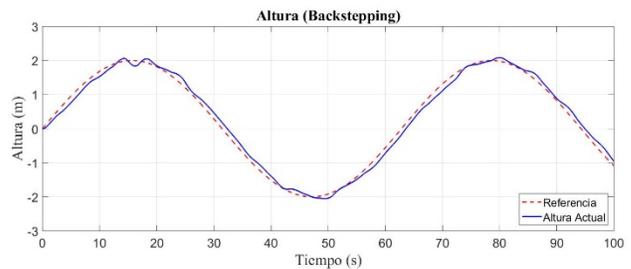


Figura 6. Controlador backstepping robusto en altitud.

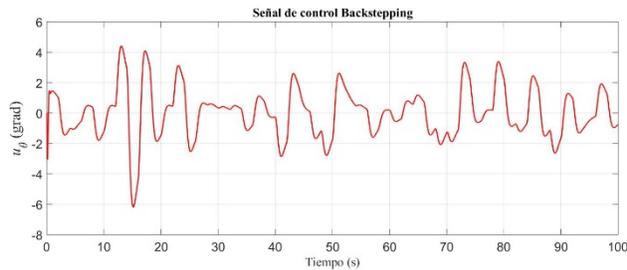


Figura 7. Señal de control backstepping robusto en altitud.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se concluye que el controlador con el que se obtuvo un menor rendimiento para lograr el objetivo de control es el controlador PD, el cual presentó un mayor error de seguimiento y una señal de control mayor en comparación con los otros dos controladores (PID y backstepping robusto propuesto).

El controlador PID tiene un buen rendimiento tanto en error de posición como en señal de control cuando es comparado con el controlador PD.

El controlador backstepping robusto obtenido, presentó una mejor respuesta de error en altitud y una mejor señal de control cuando es comparado con el controlador PD y PID. Además de mencionar que se obtuvo un buen desempeño del controlador backstepping robusto ante perturbaciones en el sistema y cabe mencionar que dichas perturbaciones son desconocidas por los controladores presentados en este trabajo.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al apoyo otorgado por la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango para la realización de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Mohd, M. B.; Abdul, R. H.; Kumeresan, A. D. (2014) "Robust chattering free backstepping sliding mode control strategy for autonomous quadrotor helicopter", International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, Vol. 14, No.03, pp. 36-44
- [2] Ming, S. L.; Mou, C.; Rong, M. (2013) "Robust backstepping control for longitudinal flight dynamics", Applied Mechanics and Materials, Vol. 300-301, pp. 1589-1592
- [3] Liwei, Q.; et al, (2010) "Design of robust backstepping controller for unmanned aerial vehicle using analytical redundancy in extended state observer", Systems and Control in Aeronautics and Astronautics, pp.
- [4] Tushar, K. R. (2014) "Robust controller for vertical-longitudinal-lateral dynamics control of small helicopter", Universal Journal of Control and Automation Vol. 2, No. 01, pp. 14-24

- [5] Stevens, B. L. and Lewis, F. L. (1992). *Aircraft Control and Simulation*, Jhon Wiley & Sons
- [6] Ogata, K. (2009). *Modern Control Engineering*, Prentice Hall, Fifth edition
- [7] Krstic, M.; Kanellakopoulos, I.; Kokotovic, P. (1995). *Nonlinear and Adaptive Control Design*, Jhon Wiley & Sons
- [8] Levant, A. (1998). "Robust exact differentiation via sliding mode technique". *Automatica* Vol. 34, pp. 379-384

VII. BIOGRAFÍA



Arturo Tadeo Espinoza Fraire. Nació el 19 de abril de 1983 en Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de Ingeniería en Electrónica en la especialidad de Control Automático e Instrumentación en 2008 en el Instituto Superior de Lerdo, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Mecatrónica y Control en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 2011 y 2015 respectivamente.

Trabajó en la empresa Ingeniería Mexicana de Sistemas del 2007 al 2008, realizó estancias de investigación en el laboratorio Franco-Mexicano en el CINVESTAV Zacatenco en el 2010 y una estancia de investigación en la Université de Technologie de Compiègne en el 2011 en Francia. Desde el 2017 labora como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio Durango, México.

El Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire es parte del comité técnico internacional del International Conference on Unmanned Aircraft Systems y nivel C del sistema nacional de investigadores (SNI). Sus áreas de interés son: vehículos aéreos no tripulados, control lineal y no lineal, sistemas embebidos y aplicaciones con vehículos aéreos no tripulados.



Sáenz Esqueda José Armando. Nació en Gómez Palacio, Durango el 15 de julio de 1988. El historial académico es el siguiente:

- Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2010.
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica y Control, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2013.

Él actualmente es estudiante de Doctorado en el Instituto Tecnológico de la Laguna en el área de Mecatrónica y Control. Sus áreas de interés son: Control no Lineal, Robótica Móvil, Visión Artificial. M.C. Sáenz miembro de la Asociación Mexicana de Robótica.



Agustín Sáenz López, Fecha y Lugar de nacimiento: Gomez Palacio, Durango, 15 de enero de 1952. Licenciatura en Física-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, 1976. Maestría en Materiales, Universidad Autónoma de México, 1982. Maestría en Ingeniería, Universidad Juárez del Estado de Durango, 2006. Doctorado en Ingeniería, Universidad Juárez del Estado de Durango, 2011.

Trabaja como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicada en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. Las líneas de investigación que desarrolla son; Minería de Datos e Ingeniería de Transporte.

El Dr. Sáenz tiene el nombramiento de Perfil Promep y pertenece al Cuerpo Académico Modelación Matemática que está “En Consolidación”.



Facundo Martínez Cortés. Lugar y fecha de nacimiento: Ejido San Felipe, Dgo. 22 de octubre de 1958. Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Juárez en el estado de Durango, México. Campus Gómez Palacio, en el año de 1983. La maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil con Especialidad y Construcción de Obras en el año 2000 en la

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez palacio, estado de Durango, México. Doctorado en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez Palacio, estado de Durango, México en el año 2007.

Es profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UJED Campus Gómez Palacio en el estado de Durango desde el año 2000. Imparte cátedra en las unidades de aprendizaje: Alcantarillado sanitario, Abastecimiento de agua, Obras hidráulicas, Tratamiento de Aguas Residuales y Potabilización. Línea de investigación: Modelización matemática y desarrollo tecnológico. Ha publicado 15 artículos científicos en revistas científicas nacionales e internacionales: Italia, la India, Cuba, Venezuela, Estados Unidos y México.

El Dr. Cortés cuenta con el perfil del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación pública hasta el año 2019. Cuenta con la acreditación como miembro del registro CONACyT como evaluador de programas de estímulos a la innovación científica desde el año 2013. Reconocimiento al Mérito docente 2016 por la Comunidad de Instituciones de Educación Superior de la Laguna (CIESLAG) Reconocimiento preseña “Ancla” 2000 como ciudadano distinguido por la presidencia municipal de Gómez Palacio, Dgo. México.

Dispositivo Auxiliar Para Afinación de Guitarras

J.I. Vega-Luna¹, G. Salgado-Guzmán¹, M.A. Lagos-Acosta¹, V.N. Tapia-Vargas¹, F.J. Sánchez-Rangel¹, J.F. Cosme-Aceves¹.

Resumen—En este trabajo se presenta el diseño e implantación de un dispositivo auxiliar para afinar instrumentos musicales de cuerdas utilizando un micrófono, un convertidor de frecuencia a voltaje y un sistema con microcontrolador. El objetivo principal fue construir un sistema portátil y amigable auxiliar para la afinación, ya que los métodos tradicionales necesitan de un oído muy educado para esta tarea. El usuario posiciona en la caja de resonancia el micrófono, selecciona la cuerda que será afinada, inicia la oscilación de la cuerda y cada 10 segundos realizara un despliegue de la frecuencia. En un display alfa numérico se mostrara el valor en Hertz de la frecuencia de oscilación que tiene la cuerda.

Palabras claves—Convertidor frecuencia a voltaje, LCD, microcontrolador, micrófono.

Abstract—This work presents the design and implementation of an auxiliary device for tuning musical string instruments using a microphone, a frequency-to-voltage converter and a microcontroller system are presented. The main objective was to build a portable and user friendly tuning system, since traditional methods need a very educated ear for this task. The user positions the microphone in the soundboard, selects the chord to be tuned, initiates the swing of the chord and every 10 seconds will perform a frequency display. A numerical alpha display will show the Hertz value of the oscillation frequency of the chord.

Keywords—Frequency to voltage converter, LCD, microcontroller, microphone.

VIII. INTRODUCCIÓN

El tema de afinación de instrumentos musicales y reconocimiento de tonos no es nuevo.

En los últimos años se han desarrollado y publicado trabajos que abarcan diferentes aspectos del tema usando los últimos avances tecnológicos de computación, sistemas, digitales, programación e inclusive robótica. Específicamente, se han realizado sistemas de afinación de guitarras usando Java y lenguaje de programación Eclipse [1]. Otros trabajos se han centrado en: sistemas de conversión y transcripción de tablaturas de guitarra a partir de señales de audio [2] y sistemas de apoyo en la práctica

de guitarra [3], incluyendo dispositivos robóticos [4]. Donde más se han realizado trabajos e investigaciones es en la afinación de instrumentos musicales como: piano usando microprocesadores [5-6], piano utilizando un robot [7], violín [8], clarinete [9], tambor Indio [10-11] e instrumentos regionales como el Gayageum Coreano [12]. Publicaciones recientes incluyen: dispositivos de afinación usando música pre-grabada tradicional usados cuando no existen frecuencias de afinación establecidas [13], sistemas de acompañamiento para cantantes de música regional [14] y modelos para imitar el oído humano y reconocer tonos de instrumentos y poder afinarlos [15]. La mayoría de estos trabajos requieren el uso de una computadora y algunos una plataforma de programación y actuadores electrónicos e inclusive robots. Esto implica mayor costo y complejidad de uso y diseño comparado con el trabajo aquí presentado donde el costo de la tarjeta es mucho menor al de una computadora, ya que para lograr el objetivo de este trabajo no hace falta la mayoría de componentes de una computadora.

Existen varias formas o métodos de afinar los instrumentos de cuerdas y específicamente guitarras, uno de los más básicos para una persona principiante, es afinando con un afinador eléctrico. Los afinadores electrónicos los podemos encontrar en el mercado alrededor de los 30 dólares y las funciones que ofrecen son: Afinación mostrando una guía visual de la cercanía a las frecuencias de cada tono, un altavoz interno que reproduce los tonos E, A, D, G, B y E para la sintonización, una selección que muestra si subir o bajar el tono manualmente, un micrófono de alta sensibilidad. Un ejemplo de este afinador es el QT-11, como el indicado en la Figura 1.



Figura 1. Afinador electrónico QT-11

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México, México.* vlji@correo.azc.uam.mx.

Uno de los aspectos más difíciles e importantes para el que comienza a utilizar la guitarra es, la afinación de sus cuerdas. Es importante que la guitarra este afinada para poder obtener el provecho de esta.

Las cuerdas son de diferentes materiales dependiendo del instrumento y la aplicación: cuerdas metálicas, estas cuerdas suele ser el acero, son características de las guitarras acústicas, eléctricas y bajos (estos poseen sólo 4 cuerdas y son más gruesas), Las guitarras acústicas, como se muestra en la Figura 2, además de poseer las cuerdas metálicas, tienen un cuerpo más grande que el de las guitarras clásicas, lo que proporciona un sonido más fuerte. Podemos encontrar guitarras acústicas de 6 y 12 cuerdas. Cuerdas de carbón son con un sonido más agresivo, tiene mucha más tensión. Cuerdas de nylon tienen un sonido más dulce y quizás más tradicional.



Figura 2. Partes de una guitarra

Las cuerdas de una guitarra generan oscilaciones dependiendo la tensión a la que estén ajustadas. En una guitarra acústica se tienen 6 cuerdas y la nota que debe dar cada cuerda es la siguiente: La cuerda superior (la más gruesa de todas, también llamada 6ta. cuerda) debe dar la nota Mi, las notas de las cuerdas siguientes son La, Re, Sol, Si y la cuerda inferior (la más delgada de todas, también llamada 1ra. cuerda) también al igual que la sexta cuerda debe dar la nota de Mi, pero más aguda claro está. La frecuencia generada por cada cuerda en una guitarra acústica se especifica en la Tabla 1.

TABLA I
FRECUENCIAS GENERADAS POR LA OSCILACIÓN

No.	Cuerda	Frecuencia
1ra	(E):	329.63Hz
2da	(B):	246.94Hz
3ra	(G):	196.00Hz
4ta	(D):	146.83Hz
5ta	(A):	110.00Hz
6ta	(E):	82.41Hz

El método básico para la afinación acústica manual es aflojar la sexta cuerda hasta que no dé ningún sonido, y luego la irás subiendo (apretando) muy despacio hasta que dé un sonido claro sin subirla mucho; en ésta disposición se considerará ya afinada la sexta, pasamos entonces a afinar la quinta cuerda que después de aflojarla como se hizo con la anterior la irás subiendo muy poco a poco hasta que ésta cuerda tocada al aire (es decir, sin que la pise la mano izquierda) produzca el mismo sonido que el de la sexta cuerda pisada en el quinto traste. Ya afinada la quinta se procederá sucesivamente a la afinación de las demás cuerdas de acuerdo a la tabla siguiente:

La cuerda 6ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 5ta al aire.

La cuerda 5ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 4ta al aire.

La cuerda 4ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 3ra al aire.

La cuerda 3ra pisada en 4to traste da el sonido que corresponde a la 2da al aire.

La cuerda 2da pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 1ra. al aire.

Este método puede ser utilizado cuando se tiene un oído musical o un oído entrenado, ya que no teniéndolo puede resultar tardado o incluso molesto. Al notar lo tedioso y tardado que puede ser este método, surgió la idea de realizar un dispositivo electrónico que sea practico para la tarea de afinación de guitarras acústicas. El dispositivo electrónico realizado es de fácil funcionamiento, de bajo consumo de energía y principalmente es realizado con componentes comerciales que se pueden conseguir fácilmente en México.

IX. DESARROLLO

En este trabajo se determina el valor de la frecuencia generada al oscilar una de las seis cuerdas de una guitarra acústica. La metodología utilizada para la resolución de este problema se puede dividir en las siguientes etapas funcionales: adquisición de datos, procesamiento de datos y visualización de los resultados.

A. Etapa de adquisición de datos

En esta etapa se usó para la adquisición de la señal analógica de audio un micrófono de capsula, a continuación acondicionamos la señal para que pase a la etapa de conversión de frecuencia a voltaje. En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la etapa de adquisición.

Se utilizó un micrófono de capsula colocado en la caja acústica de la guitarra para obtener la mejor señal acústica de la guitarra. La señal analógica de pequeño potencial, que se obtuvo del micrófono, la acondicionamos

utilizando un preamplificador de señal MAX4465 [16].



Figura 3. Etapa de adquisición

Los MAX4465 son para uso como preamplificadores de micrófono. Estos proveen la combinación ideal de una ganancia optimizada a usando voltajes de operación de 2.4 a 5.5 V, como se indica en la Figura 4.

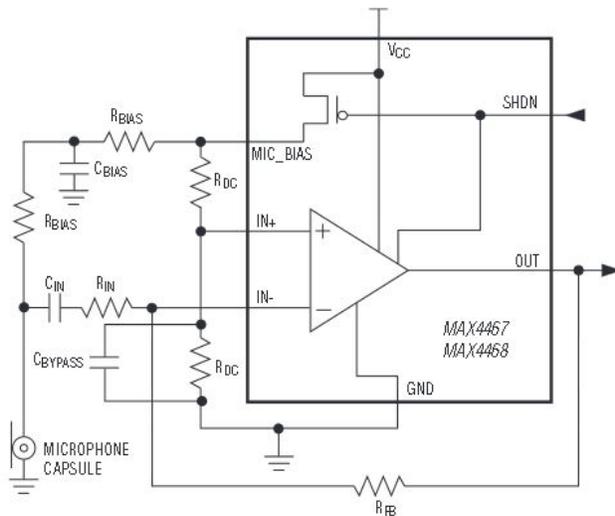


Figura 4. Diagrama de preamplificador MAX4465

A la salida del preamplificador se conectó el módulo convertidor de frecuencia a voltaje la señal requerida.

El convertidor de frecuencia a voltaje, configurado con el LM331, dependiendo la frecuencia de entrada nos genera, un nivel de voltaje linealmente proporcional a la frecuencia (al utilizar bajas frecuencias obtenemos esa aparente linealidad). Los niveles esperados son en el rango de 0-5V, como se indica en la Figura 5.

B. Etapa de procesamiento de datos

En esta etapa está conformada por el microcontrolador PIC16f873. La selección de este microcontrolador fue por sus dimensiones y porque cuenta con los siguientes recursos principales necesarios y suficientes para la realización de este trabajo: CPU de 8 bits, memoria de programa FLASH de 4 KB, memoria RAM de 192 bytes, memoria EEPROM de 128 bytes, convertidor analógico-digital (ADC) de 10 bits y 5 canales, tres puertos paralelo

y tres temporizadores [17].

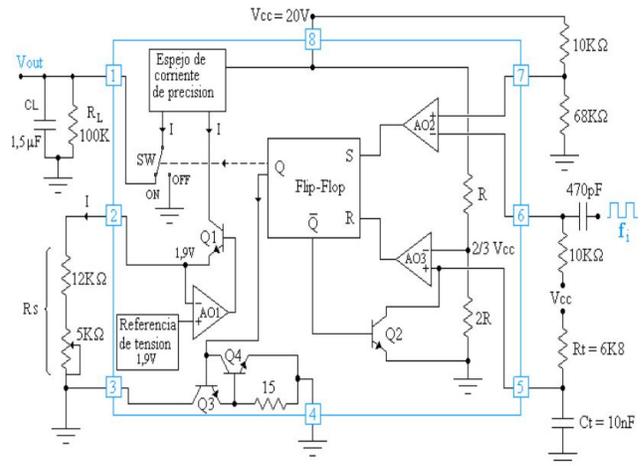


Figura 5. Diagrama de convertidor de frecuencia a voltaje

Aquí se tomaron los datos que nos generó el convertidor de frecuencia a voltaje, para que entren al módulo de conversión analógico/digital dentro del PIC 16F873. Los niveles de entrada en voltaje los muestreamos cada 5ms tomando 20 muestras las cuales se guardan temporalmente en memoria de datos ya digitalizados. Las 20 muestras que se tomaron, se normalizan para tener un resultado más fiel de las mediciones. El siguiente procesamiento es realizar una conversión del dato resultante a una expresión equivalente a las frecuencias que resultara un numero de 16 bits para expresar un número entre 0 y 4000 (donde 0 es 0 Hz y 4000 es 400.0 Hz, esto para abreviar la señal de salida).

La programación del microcontrolador fue realizada de forma tal que se compone de un programa principal y una rutina de atención a una interrupción. El programa principal realiza las siguientes acciones:

- 1.- Establece e inicializa constantes y variables.
- 2.- Configura Puertos A y B como salidas. El bus de datos del LCD (8 líneas) se conectó al Puerto B y el bus de control al Puerto A (5 líneas).
- 3.- Configura LCD.
- 4.- Configura y arranca temporizador 0 para generar una interrupción cada segundo.
- 5.- Configura ADC para usar las entradas analógicas AN0 y AN1, así como el voltaje de referencia y el reloj de conversión.
- 6.- Activa ADC.
- 7.- Espera 20 muestras leídas desde los sensores.

El temporizador 0 genera una interrupción cada 5 ms, la rutina de atención a la interrupción activa la adquisición de la señal analógica de las entradas AN0 y AN1 e inicia la conversión a un valor digital. De esta forma, se toma una muestra del audio cada 5 ms desde la etapa de

adquisición. Los valores de 10 bits entregados por el ADC se almacenan, cada uno de ellos, en un arreglo de 20 elementos en la memoria RAM, incrementando un contador de muestras. El programa principal se encuentra continuamente revisando el contador de muestras. Cuando alcanza el valor de 20 invoca una subrutina de cálculo. Mientras no se alcance el valor de 20, el programa muestra en el LCD un mensaje que indica que está tomando muestras. En la Figura 6 se indica el diagrama de flujo de la programación.

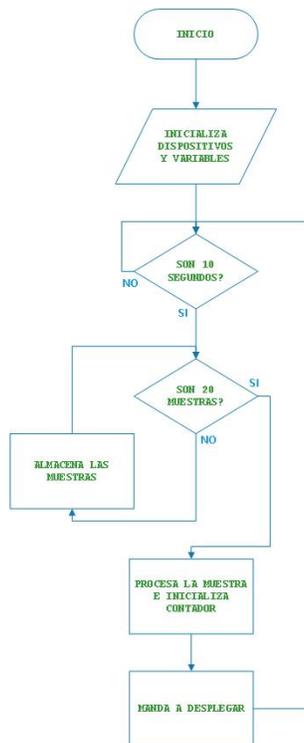


Figura 4. Diagrama de flujo de la programación

Se usan 20 muestras considerando que el 80% de la amplitud de la oscilación de la cuerda dura 1 minuto. La función principal de la rutina de cálculo es obtener el valor de la Los datos de mandaran a la etapa de visualización. Cada secuencia de muestras se realizara cada 10 segundos, para que el usuario tenga el tiempo necesario de realizar el ajuste de las cuerdas en el clavijero, como se indica en el diagrama de la Figura 7.

Las equivalencias de valores digitales a las frecuencias que refiere cada entrada.

C. Etapa de visualización de resultados

El display usado fue un LCD-016M004A [18] de 16x4. Este display se alimenta con una fuente de 5 V y cuenta con un bus de datos de 8 líneas y un bus de control de 3 líneas: R/W, Enable y Register Select.



Figura 7. Etapa de procesamiento de datos

Tanto el bus de datos como el de control se conectaron a 11 líneas de salida del microcontrolador. En la Figura 8 se muestra el modulo correspondiente.

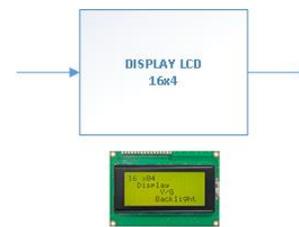


Figura 8. Etapa de visualización de resultados

X. RESULTADOS

Se tomaron varias muestras del sistema realizando comparación entre el prototipo realizado, dispositivo comercial y el valor teórico de tres guitarras previamente afinadas, lo cual se indica en la Figura 9.

NO. CUERDA	PRUEBA	PROTOTIPO	COMERCIAL	TEORICAMENTE
1ra	A	332.6	330.6	329.6
2da	A	241.9	246.9	246.9
3ra	A	190.0	194.0	196.0
4ta	A	147.8	144.8	146.8
5ta	A	105.0	111.0	110.0
6ta	A	80.4	79.4	82.4
1ra	B	343.6	332.6	329.6
2da	B	236.9	244.9	246.9
3ra	B	186.0	195.0	196.0
4ta	B	131.8	147.8	146.8
5ta	B	112.0	111.0	110.0
6ta	B	93.4	84.4	82.4
1ra	C	338.6	331.6	329.6
2da	C	254.9	243.9	246.9
3ra	C	181.0	195.0	196.0
4ta	C	161.8	146.8	146.8
5ta	C	109.0	113.0	110.0
6ta	C	79.4	80.4	82.4

Figura 9. Muestras realizadas a tres guitarras

XI. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El sistema resultante es un prototipo de medianas

dimensiones debido a que es una primera versión. Se realizaron pruebas utilizando tres distintas guitarras, con diferente calidad acústica, y un afinador electrónico comercial para poder realizar comparaciones confiables y precisas el sistema aquí construido. Las medidas fueron ligeramente diferentes entre los dos instrumentos pero aceptables acústicamente. Las diferencias no fueron mayores a +/- 15 Hz. Las medidas fueron diferentes cuando se ubicaba el micrófono en diferentes partes de la guitarra, en algunos casos se saturaba el micrófono por lo que se tuvo que realizar ajustes al amplificador y a la metodología de realización de las medidas. El resultado de este trabajo fue un sistema sencillo, de bajo costo, confiable y fácil de usar, el que se le pueden realizar las siguientes mejoras: 1) aislamiento de ruido al micrófono con algún blindaje, con lo que obtendrían medidas más exactas, 2) construir el circuito impreso del sistema para aislar ruidos inducidos y obtener un dispositivo más compacto, 3) mostrar la onda de la señal muestreada en un display gráfico LCD, de plasma o LED, similar al de dispositivos profesionales y 4) realizar una interfaz inalámbrica para comunicar al sistema con un teléfono móvil inteligente y su correspondiente aplicación para prescindir del display, tener mayor funcionalidad y disminuir el costo.

XII. REFERENCIAS

- [9] 1-Stanojevic, M. S. y Bjelic, M. S. (2011). "Digital guitar tuner", in *Proceedings 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers*, pp. 1574-1577.
- [10] 2-Macrae, R., y Dixon S. (2010). "A guitar tablature score follower", in *Proceedings IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 725-726.
- [11] 3-Yazawa, K., Itoyama, K. y Okuno, H. G. (2014). "Automatic transcription of guitar tablature from audio signals in accordance with player's proficiency", in *Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 3122-3126.
- [12] 4-Trail, S., Tzanetakis, G. y Jenkins, L. (2013). "STARI: A self tuning auto-monochord robotic instrument", in *Proceedings IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM)*, pp. 405-409.
- [13] 5-Rigaud, F., Drémeau, A. y David, B. (2013). "A probabilistic line spectrum model for musical instrument sounds and its application to piano tuning estimation", in *Proceedings IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, pp. 1-4.
- [14] 6-Zhongming, L., Zhuofu, L. y Jia, Z. (2012). "The design of musical instrument tuning system based on stm32f103 microcomputer", in *Proceedings International Conference on Measurement, Information and Control*, pp. 79-82.
- [15] 7-Jaju, V., Sukhpal, A. y Shinde, P. (2016). "Piano playing robot", in *Proceedings International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, pp. 223-226.
- [16] 8-Wang, Z. J., Ortega-Sanchez, C. (2012). "Electronic Assisting Violin Tuner", in *Proceedings TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference*, pp. 1-6.
- [17] 9-Stanek, M. y Smatana, T. (2015). "Comparison of fundamental frequency detection methods and introducing simple self-repairing algorithm for musical applications", in *Proceedings 25th*

- International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*, pp. 217-221.
- [18] 10-Roy, U. K. (2015). "Composing recorded Tabla sound to accompany musicians", in *Proceedings Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pp. 1-6.
- [19] 11-Arunkumar, S., Baalachandar, S. y Dayanidhi, R. (2015). "Microcontroller based Tabla tuning system", in *Proceedings IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 566-568.
- [20] 12- Cho, S. J., Cho, S. B. y Lee, K. H. (2014). "Development of synthesis model for fine tuning and playing style", in *Proceedings 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014)*, pp. 707-711.
- [21] 13-Bozkurt, B. (2012). "A System for Tuning Instruments Using Recorded Music Instead of Theory-Based Frequency Presets", *Computer Music Journal*, vol. 36, Issue: 3, pp. 43-56.
- [22] 14-Verma, P. y Rao, P. (2012). "Real-time Melodic Accompaniment System for Indian Music Using TMS320C6713", in *Proceedings 25th International Conference on VLSI Design*, pp. 119-124.
- [23] 15-Gomez, F. y Stoop, R. (2012). "Tuning the Hopf Cochlea Towards Listening", in *Proceedings Nonlinear Dynamics of Electronic Systems NDES*, pp. 1-4.
- [24] Maxim Instruments (2012) MAX4465 Data Sheet. <http://www.mouser.com/ds/2/256/MAX4465-MAX4469-2764.pdf>.
- [25] Microchip Technology Inc. (2015) PIC16F87XA Data Sheet. <http://www.microchip.com>.
- [26] Vishay Intertechnology. (2015) LCD-016M004A Data Sheet. <http://www.vishay.com/docs/37222/016m004a.pdf>.

XIII. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Estado de México, 1962. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990.

Él 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.

M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras.

Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.



Salgado-Guzmán Gerardo. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Tapia-Vargas Víctor Noé. CD. de México, 1949. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1988.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de

trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Tapia realiza investigación con sistemas robóticos.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.



Cosme-Aceves José Francisco. Atlixco, Puebla, México, 1958. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.

Monitor De Nivel En Depósitos De Agua Usando IoT

J.I. Vega-Luna¹, M.A. Lagos-Acosta¹, G. Salgado-Guzmán¹, V.N. Tapia-Vargas¹, F.J. Sánchez-Rangel¹, J.F. Cosme-Aceves¹

Resumen—Se presenta el diseño e implantación de un sistema de monitoreo remoto de nivel de agua usando una LPWAN. El objetivo principal fue reportar a un servidor ubicado en la Internet los niveles de agua en cuatro tanques usados por los sistemas de enfriamiento en un centro de datos. La LPWAN está formada por cuatro nodos y una puerta de enlace. Cada nodo consta de un medidor de distancia ultrasónico, un microcontrolador y un transceptor LoRa. En cada tanque se encuentra instalado un nodo. Los nodos transmiten los niveles de agua a la puerta de enlace y ésta los envía a un servidor ubicado en la nube. A través de la interfaz de usuario se pueden monitorear los niveles registrados de agua. El alcance logrado con la LPWAN son 10 Kilómetros con línea de vista.

Palabras claves—LoRa, LPWAN, medidor de distancia ultrasónico, microcontrolador, transceptor.

Abstract—The design and implementation of a remote water level monitoring system using a LPWAN is presented. The main objective was to report water levels in four tanks used by the cooling systems of a data center to a server located on the Internet. The LPWAN consists of four nodes and one gateway. Each node consists of an ultrasonic distance meter, a microcontroller and a LoRa transceiver. A node is installed in each tank. Nodes transmit water levels to the gateway and send them to a server located in the cloud. Through the user interface can monitor the recorded water levels. The range achieved with the LPWAN is 10 Kilometers with line of sight.

Keywords—LoRa, LPWAN, microcontroller, transceiver ultrasonic distance meter.

I. INTRODUCCIÓN

Tanto en ambientes industriales y agrícolas, como en empresas, instituciones y centros de datos, uno de los procesos operativos es el monitoreo de nivel de un líquido. Particularmente, en un centro de datos se encuentran instalados sistemas para detección de fuego y tuberías para extinción de incendios en equipo de cómputo y comunicaciones. En las tuberías circulan gases inertes y agua ultra-pura. Ésta se usa en situaciones extremas donde no es suficiente el uso del gas inerte. El agua en las

tuberías proviene de tanques de almacenamiento secundarios ubicados en la periferia del centro de datos y a corta distancia. Los tanques de almacenamiento secundarios están conectados a un depósito central de agua del centro de datos [1]. Instituciones y organismos auditan periódicamente los sistemas y procesos de operación y mantenimiento de centros de datos para estar certificados. El sistema de monitoreo de nivel de agua de los tanques secundarios es uno de los procesos de operación auditados. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una red de sensores de nivel de agua de bajo consumo de energía monitoreados remotamente vía Internet. El centro de datos en el que se realizó la implantación es un edificio de 80x80 metros ubicado en la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana. En el exterior se encuentran los depósitos de agua secundarios ubicados en lugares estratégicos y seguros. Los depósitos son de 4x3x3 metros y tienen capacidad de 36,000 litros. Una especificación solicitada para implantar el sistema de monitoreo fue que la interfaz que reporta el nivel de agua lo realice cada 30 segundos y permita descargar los valores históricos de nivel de agua a un archivo de texto. Para diseñar el sistema se realizó una investigación sobre trabajos desarrollados en investigaciones, implantaciones y relacionados con el tema, así como los tipos de sensores de nivel de agua adecuados para esta aplicación. Los resultados mostraron que la selección del sensor a utilizar depende de varios factores, entre los que se encuentran la distancia, el tamaño, la altura y profundidad del depósito o tanque y la precisión. Desde el punto de vista operacional, existen dos tipos de sensores de nivel: los puntuales y los continuos. Los sensores de nivel puntuales se usan para indicar la altura máxima o mínima de un líquido o una condición de nivel preestablecida. Se usan comúnmente para activar una alarma o un actuador. Los sensores de nivel continuos se utilizan para el monitoreo de nivel de un líquido dentro de un rango y generan una salida directamente proporcional al nivel en el depósito del líquido [2]. Desde el punto de vista de fabricación, los sensores pueden ser magnéticos, ultrasónicos, capacitivos o resistivos, entre otros [3]. Los sensores ultrasónicos son continuos y detectan la proximidad sin contacto mecánico con el líquido, son fáciles de instalar y económicos [4]. Detectan objetos ubicados a distancias de milímetros hasta

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México, México.* vlji@correo.azc.uam.mx.

varios metros. Emiten un pulso de ultrasonido de forma cónica cuya frecuencia es de varios KHz. El pulso se refleja en un objeto, el sensor recibe el eco producido y genera una señal eléctrica que permite medir el tiempo que la señal tarda en retornar, tomando en cuenta la velocidad del sonido en el aire. Pueden detectar líquidos o sólidos de diferente color y acabado. En la implantación de este trabajo se usó el medidor de rango SRF10, el cual trabaja en base a un sensor ultrasónico.

Cuando la distancia entre el sensor y el punto de monitoreo es menor a 50 metros, comúnmente se usa cableado directo o transmisores de radio de corto alcance, máximo 40 metros. Para distancias mayores a 50 metros, la comunicación se realiza usando transceptores inalámbricos de tecnología WiFi, ZigBee o celular [5]. En los últimos años se han realizado trabajos donde los sensores se conectan a un transceptor WiFi para transmitir a una estación central, conectada a la Internet, el nivel de agua a través de un router WiFi [6]. Las desventajas de estas redes de sensores son: el alcance en decenas de metros, el alto consumo de energía y el alto costo de la infraestructura WiFi. Se han desarrollado bastantes implantaciones donde los sensores de nivel de agua se conectan a una red de transceptores ZigBee, los cuales consumen mucho menos energía que WiFi pero su alcance está limitado a 100 metros [7]. Inclusive el monitoreo de nivel de agua con transceptores ZigBee se ha extendido a otros ambientes como la piscicultura [8], albercas [9] y sistemas de detección de inundaciones [10]. También se ha usado tecnología GSM para la transmisión de información, adquirida por sensores de nivel, por medio de mensajes de texto enviados a teléfonos móviles [11], lo cual presenta la ventaja de tener alcance ilimitado pero el costo de los transceptores es alto y depende de la disponibilidad de la red celular cuyo costo también es alto. Una alternativa para la transmisión de información inalámbrica, adquirida por sensores como los usados en la aplicación aquí presentada, a un servidor conectado a la Internet, son las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN-Low Power Wide Area Network). Las LPWAN no son nuevas, se han hecho más populares debido a que en los últimos años, la cantidad de controladores y dispositivos para conectar a la Internet equipos terminales o procesos a monitorear se ha incrementado considerablemente. El equipo terminal, que puede ser un sensor, un termostato, la chapa de una puerta, un rastreador GPS, un refrigerador o una lavadora de vajillas, se conecta a Internet sin el uso de tecnologías inalámbricas tradicionales como Bluetooth, WiFi o ZigBee [12]. Para llevar a cabo esto, han surgido tecnologías y redes más inteligentes para la comunicación de dispositivos terminales. Una de estas tecnologías es conocida como

Internet de las Cosas (IoT-Internet Of Things), y está basada en redes LPWAN. Algunos tipos de LPWAN están basados en el protocolo LoRa (Long Range). El protocolo abierto LoRa fue desarrollado por LoRa Alliance para crear LPWAN para el mercado de IoT. LoRa usa el procesador de señales digitales SX1301, fabricado por Semtech, y define la capa física del modelo OSI, o modulación inalámbrica, para realizar el enlace de comunicación de larga distancia. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa se les conoce como LoRaWAN. Usan comunicación de radio de baja potencia que permite establecer conexiones de largo alcance transmitiendo pequeñas cantidades de información a baja velocidad y lograr mayor tiempo de vida de baterías. Una red basada en tecnología LoRa proporciona mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares existentes. Muchos operadores de redes móviles complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que es fácil de integrar a la infraestructura existente a fin de ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías. Proveedores de sensores y puntos de acceso de aplicaciones IoT han incorporado en sus soluciones transceptores RF LoRa para transmitir información a grandes distancias consumiendo mínima potencia. Las principales características técnicas de LoRaWAN son las siguientes: 1) Arquitectura de estrella. Las puertas de enlace transmiten información a un servidor de red central ubicado en la nube usando una conexión IP estándar. 2) La comunicación entre nodos y puerta de enlace puede ser bidireccional a diferentes velocidades. La velocidad de datos varía en el rango de 0.3 Kbps a 50 Kbps. Para maximizar la duración de la batería de nodos de la red, el servidor central LoRaWAN administra la velocidad para cada nodo individualmente usando un esquema adaptivo de velocidad de datos (ADR-Adaptive Data Rate). Una puerta de enlace LoRa puede cubrir ciudades completas o cientos de kilómetros cuadrados. Existen muchas ciudades en el planeta con infraestructura y cobertura de operadores de redes LoRaWAN públicas que ofrecen servicios de IoT. 3) Gran tiempo de vida de baterías. LoRaWAN es una red de estrella, los nodos son asíncronos y se comunican cuando tienen datos a enviar, ya sea de forma calendarizada o por evento. En contra parte, en una red de malla o síncrona, como por ejemplo la red celular, los nodos frecuentemente despiertan para sincronizarse con la red y revisar mensajes. Esto consume una cantidad significativa de energía y reduce el tiempo de vida de baterías. LoRaWAN consume de 3 a 5 veces menos energía que cualquier red inalámbrica.

Una forma de implantar una LPWAN es usando Symphony Link. Desarrollada por Link Labs usa un

protocolo estandarizado para usuarios que necesitan comunicación inalámbrica de larga distancia con rendimiento no disponible en LoRaWAN. Symphony Link está construido sobre la tecnología de modulación CSS de la capa física de LoRa y es una especificación alterna a LoRaWAN. Symphony Link es una solución propietaria que no necesita un operador de LoRaWAN para conectarse a Internet. Las ventajas de Symphony Link sobre una LoRaWAN son las siguientes: 1) Recepción garantizada de mensajes. LoRaWAN es un protocolo asíncrono con reconocimientos limitados de mensajes, por lo que es común que presente una tasa de error en paquetes (PER) mayor a 50%. Esto es aceptable en algunas aplicaciones de lectura de medidas, pero para redes de sensores industriales o sistemas de control se requiere un PER de 0%. A diferencia de LoRaWAN, la capa MAC de Symphony Link reconoce cada mensaje, los transmitidos y recibidos. 2) Uso de repetidores. El uso de repetidores en una red permite expandir el rango de la misma aumentando también la latencia. Al ser Symphony Link un protocolo síncrono, los repetidores aumentan el alcance de la red sin aumentar la latencia y su costo es mucho menor al de un punto de acceso de LoRaWAN. 3) Capacidad de la red más alta. Usando las características síncronas, como ranuras y coordinación en los tiempos de transmisión de nodos, una red Symphony Link tiene más de 4 veces la capacidad de una red LoRaWAN. Por las ventajas que ofrece el uso de una LPWAN Symphony Link, las aportaciones y beneficios del sistema aquí presentado son las siguientes: la conexión de los sensores de nivel de agua a la Internet es inalámbrica, no fue necesario modificar la infraestructura de red actual del centro de datos, los transceptores utilizados son de reciente tecnología, largo alcance y bajo consumo de energía. No fue necesario instalar un servidor que concentre la información de los sensores. La LPWAN transmite la información de los sensores a un servidor ubicado en la nube el cual está bajo responsabilidad de Link Labs quién ofrece un servicio siempre disponible y seguro. No existen soluciones como ésta aplicadas a centros de datos.

II. DESARROLLO

La metodología usada para el desarrollo del sistema consistió en dividirlo en dos partes: la LPWAN y la interfaz de usuario. A continuación, cada una de estas partes se diseñó usando los componentes más adecuados tomando en cuenta el consumo de energía y costo. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema.

A. La LPWAN

La solución Symphony Link proporciona transceptores

LoRa, una puerta de enlace y un servidor en la nube para implantar una LPWAN y conectarla a la Internet.

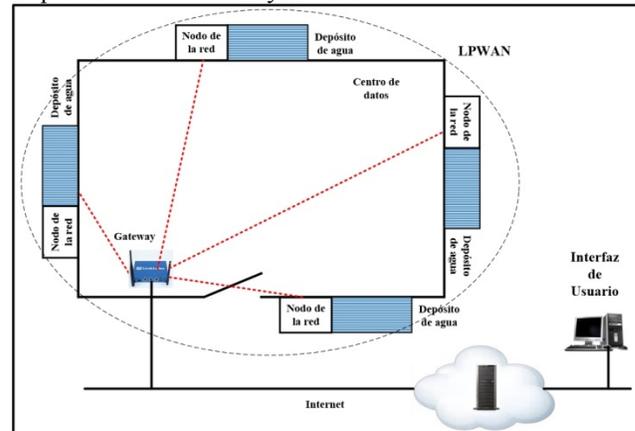


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema implantado

En este trabajo, la LPWAN se implantó con cuatro nodos y una puerta de enlace. Los cuatro nodos de la red tienen la misma arquitectura. Cada nodo se compone de un medidor de rango SRF10, un microcontrolador y un transceptor LoRa. El SRF10 es un dispositivo compacto y económico que puede detectar objetos ubicados a distancias de 3 centímetros a 6 metros. Se alimenta con 5 V y consume en operación 15 mA y 3 mA en reposo, siendo esta una de las razones por la que fue seleccionado para diseñar los nodos de la LPWAN los cuales pueden alimentarse con baterías. El SRF10 tiene cinco terminales, una es usada para alimentación, otra para tierra, la tercera es no conexión y las últimas son las líneas SCL y SDA del bus I²C por la cuales transfiere el valor de distancia medida. Esta distancia puede estar expresada en pulgadas o centímetros o bien el medidor puede proporcionar el tiempo que tarda el eco de la señal ultrasónica. En el bus I²C de los nodos de la red, el medidor de rango es el esclavo y el microcontrolador es el maestro. El funcionamiento del medidor SRF10 es programable por medio de cuatro registros. El registro 0 es de comandos y por medio de este registro el microcontrolador puede indicar al SRF10 las unidades de medida de distancia o el inicio de medida. El registro 1 se usa para configurar la ganancia máxima del medidor. A través de los registros 2 y 3 el microcontrolador puede leer los 16 bits del valor de la distancia medida. Cuando ha terminado la medida, el SRF10 lo indica por medio de la línea SDA. La comunicación del microcontrolador con el SRF10 se realizó usando el bus I²C, por lo que las terminales SDA y SCL del medidor de distancia se conectaron a las terminales del mismo nombre del microcontrolador. La dirección del SRF10 en el bus I²C es por defecto 0xE0 y puede cambiarse a una de 16 direcciones posibles si es necesario. En la implantación de este trabajo no se cambió

ya que solo se conectó un SRF10 esclavo al bus I²C. El sensor se instaló en la parte superior de cada depósito de agua usando un kit de montaje proporcionado por el distribuido del mismo. El kit consiste de una escuadra metálica y empaques de hule. El microcontrolador utilizado en los nodos de la red fue el PIC18F4550. Este dispositivo tiene 40 terminales que permitió construir nodos de tamaño compacto y cuenta con los siguientes recursos: CPU de 8 bits, 32 KB de memoria de programa, 2 KB de memoria RAM, 35 líneas de entrada/salida, convertidor analógico-digital de 10 bits y 13 canales, 3 temporizadores, un puerto USART y un módulo maestro I²C. Periódicamente, el microcontrolador envía un comando de inicio de medida al SRF10 y al terminar el proceso de medida lee el resultado en centímetros. Usando este valor y las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua, el PIC18F4550 determina el nivel o cantidad de agua del tanque. Posteriormente, el microcontrolador transmite, usando el puerto USART, el valor del nivel de agua al transceptor LoRa LL-RXR-27 de Symphony Link. El puerto UART del LL-RXR-27 se conectó directamente al USART del microcontrolador como se indica el diagrama de bloques de la Figura 2.

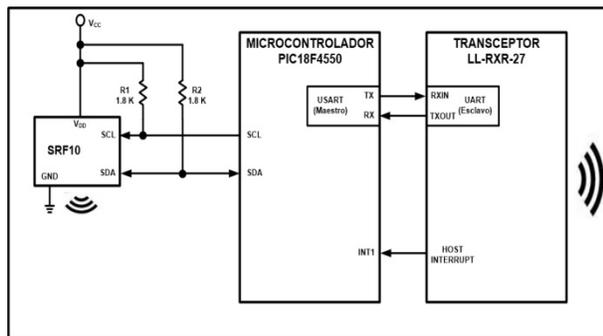


Figura 2. Diagrama de bloques de la LPWAN

El LL-RXR-27 es un transceptor de radio de Link Labs. Es compatible con redes públicas LoRaWAN 1.0 y con redes privadas de área amplia Symphony Link. Está optimizado para usarse en las bandas de frecuencia de 915 MHz ISM u 868 MHz. Usa modulación LoRa de Semtech para maximizar el alcance y minimizar el consumo de energía e interferencia. Integra un DSP Semtech SX1276 y un microcontrolador de 32 bits Renesas R5F51116ADNE. El DSP SX1276 implanta la capa física usando modulación LoRa mientras que el firmware del microcontrolador RX111 implanta la pila de protocolos de red y la interface de comandos para la comunicación con el PIC18F4550. Las características principales de operación del transceptor LL-RXR-27 son las siguientes: alimentación 3.5 a 5.5 V, consumo de corriente <1uA en

reposo, 480 mA en transmisión, 40 mA en recepción, potencia máxima de transmisión 23 dBm, velocidad de transmisión RF 183 bps a 37.5 Kbps y velocidad de transmisión del UART 115,200 bps. Para la comunicación entre el PIC18F4550 y el transceptor LL-RXR-27 se usó el protocolo maestro/esclavo. El microcontrolador realiza las funciones de maestro y el transceptor LL-RXR-27 las de esclavo. El protocolo permite intercambiar paquetes de comando y paquetes de respuesta. El maestro siempre envía paquetes de comando, mientras que el esclavo siempre transmite paquetes de respuesta. La temporización del bus I²C y la implantación del protocolo maestro-esclavo las lleva a cabo la programación que se ejecuta en el microcontrolador cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 3.

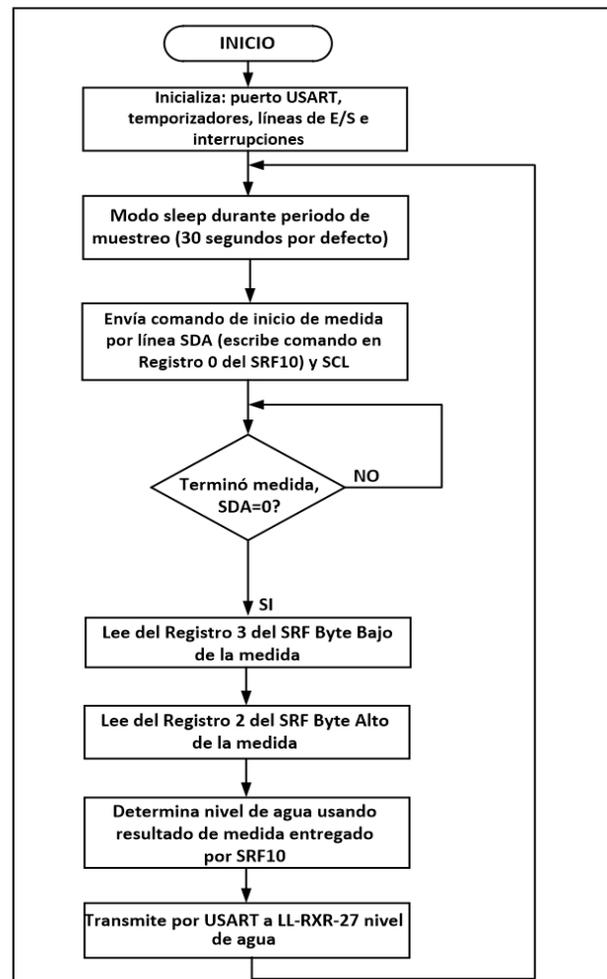


Figura 3. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador

El transceptor LL-RXR-27 de cada nodo de la red transmite el valor de nivel de agua a la puerta de enlace de la LPWAN. La puerta de enlace es modelo LL-BST-8 y

cuenta con dos puertos de red Ethernet. A través de un puerto Ethernet se conecta a la Internet y por medio del otro puerto se conecta localmente a una computadora. De esta forma, la red de medidores de rango puede ser accedida y monitoreada desde la Internet, implantando con esto la solución IoT en los tanques de almacenamiento. Para configurar y establecer el hostname de la puerta de enlace, el método de conexión a la Internet (alámbrico o inalámbrico) y los parámetros de comunicación con los nodos de la red se usa la aplicación *Prelude* de Link Labs, la cual se ejecuta en una computadora conectada a la puerta de enlace a través de un segmento de red local. *Prelude* encripta la información que envía la puerta de enlace al servidor de red.

B. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario se ejecuta en una computadora conectada, a través de la Internet, al servidor de red. El servidor de red está alojado en los servicios de nube de Amazon y su administración está bajo Link Labs. La interfaz de usuario muestra el valor de nivel de agua en litros de cada tanque en los últimos 30 segundos, como se indica en la Figura 4, y permite descargar en un archivo de texto los valores históricos. El periodo de tiempo es configurable. En el servidor de red se ejecuta la aplicación *Conductor* de Link Labs. *Conductor* es la plataforma de servicios de datos en la nube que puede accederse a través de un portal conectándose a la página web de *Conductor*. Link Labs proporciona un conjunto de APIs para acceder los servicios de *Conductor* desde una aplicación o programa. La interfaz de usuario se conecta al portal de conductor y usa estos APIs para desplegar los valores de nivel de agua en un formato más sencillo y claro que los mostrados en el portal de *Conductor*. Cada vez que una puerta de enlace Symphony Link se conecta *Conductor*, es registrada por esta aplicación, lo que permite a *Conductor* comunicarse de forma segura con cada LPWAN Symphony Link.

III. RESULTADOS

El fabricante de la puerta de enlace y transceptores LoRa indica que su alcance son 12 Kilómetros. En este trabajo la distancia del tanque de agua más lejano a la puerta de enlace son 500 metros y no se tuvo problema alguno en la comunicación en la LPWAN. Adicionalmente, se realizaron dos conjuntos de pruebas. El primero tuvo como objetivo determinar el alcance la LPWAN implantada. Para esto, se movió uno de los nodos de la red a diferentes posiciones fuera del centro de datos. El alcance logrado fue 10 Kilómetros con línea de vista y 8 Kilómetros ubicando el nodo en una posición donde existen dos edificios entre el nodo y el centro de datos. El

segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar la exactitud del medidor de distancia a diferentes temperaturas.

TANQUE	NIVEL (LITROS)	FECHA-HORA
1-1	4978	03/01/17-08:17
1-2	4988	03/01/17-08:17
1-3	1215	03/01/17-08:18
1-5	4678	03/01/17-08:18

Figura 4. Interfaz de usuario

El fabricante del medidor indica una exactitud de ± 3 centímetros a temperatura ambiente de 20°C . En estas pruebas el nivel de agua del tanque fue el mismo y se llevaron a cabo a diferentes horas del día, donde los valores de temperatura ambiente fueron de 12°C a 38°C . Se comparó la medida reportada en la interfaz de usuario con la medida en sitio, viendo que: la exactitud del fabricante se mantiene en el rango de 18°C a 22°C y disminuye o aumenta conforme lo hace la temperatura, como se muestra en la Figura 5. Esto es debido a que la velocidad del sonido aumenta con la temperatura.

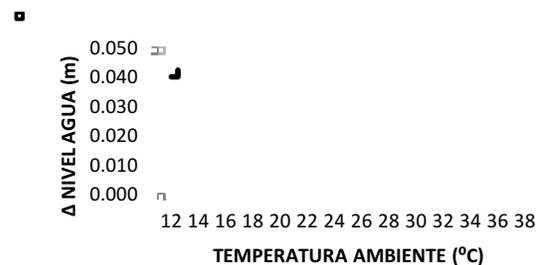


Figura 5. Exactitud del medidor de distancia SRF10

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se construyó un sistema que monitorea, desde la Internet, el nivel de agua de cuatro tanques de almacenamiento, a través de una LPWAN y una interfaz de usuario. Al usar una solución propietaria, como lo es Symphony Link, se implantó una LPWAN de forma, confiable y de costo bajo, la cual puede replicarse en otros centros de datos. La LPWAN es totalmente escalable y el diseño de los nodos de la misma permite sustituir el medidor de distancia o adicionar otro que use el bus I^2C para coleccionar información de otra variable de ambiente realizando cambios mínimos en la programación del microcontrolador. Si es necesario

aumentar el alcance de la LPWAN, se recomienda adicionar a la misma un transceptor LL-RXR-27 configurado como repetidor. El sensor de rango usado SRF10 no es inmune a la humedad, lo que puede afectar su comportamiento a mediano y largo plazo. Para solucionar esto, es necesario usar un sensor a prueba de agua como el dispositivo JSN-SR04T, el cual es un sensor ultrasónico cuya alcance son 6 metros y cuenta con una interfaz serie para conectarlo al microcontrolador de este sistema.

V. REFERENCIAS

- [27] Rose, I. y Fleischer, A. S. (2016). "Analysis of a water tank energy storage system for use in a warm water cooled data center", in Proceedings 15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 31 May-3 June, Pages: 1273-1279, Las Vegas, NV, USA.
- [28] Ricchiuti, A. L.; Barrera, D. y Urrutia, A. (2016). "Continuous Liquid-Level Sensor Based on a Long-Period Grating and Microwave Photonics Filtering Techniques", IEEE Sensors Journal, Volume: 16, Issue: 6, Pages: 1652-1658.
- [29] Getu, B. N. y Attia, H. A. (2016). "Automatic water level sensor and controller system", in Proceedings 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), 6-8 Dec., Pages: 1-4, Ras Al Khaimah, United Arab Emirates.
- [30] Chhantyal, K.; Viundal, H. y Mylvaganam, S. (2016). "Ultrasonic level sensors for flowmetering of non-Newtonian fluids in open Venturi channels: Using data fusion based on Artificial Neural Network and Support Vector Machines", in Proceedings IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), 20-22 April, Pages: 1-6, Catania, Italy.
- [31] Sámano-Robles, R.; Nordström, T. y Santonja, S. (2016). "The DEWI high-level architecture: Wireless sensor networks in industrial applications", in Proceedings Eleventh International Conference on Digital Information Management (ICDIM), 19-21 Sept., Pages: 274-280, Porto, Portugal.
- [32] Mendez, G. R.; Yunus, M. A. y Mukhopadhyay, S. C. (2012). "A WiFi based smart wireless sensor network for monitoring an agricultural environment", in Proceedings 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 13-16 May, Pages: 2640-2645, Graz, Austria.
- [33] Maqbool, S. y Chandra N. (2013). "Real Time Wireless Monitoring and Control of Water Systems Using Zigbee 802.15.4", in Proceedings 2013 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks, 27-29 Sept., Pages: 150-155, Mathura, India.
- [34] Chen, J. H.; Sung, W. T. y Lin, G. Y. (2015). "Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment", in Proceedings 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 9-12 Oct., Pages: 1161-1166, Kowloon, China.
- [35] Marais, J. M.; Bhatt, D. V. y Hancke, G. P. (2016). "A web-based swimming pool information and management system", in Proceedings 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 19-21 July, Pages: 980-985, Poitiers, France.
- [36] Chan, K. H.; Cheang, C.S. y Choi, W. (2014). "ZigBee wireless sensor network for surface drainage monitoring and flood prediction", in Proceedings 2014 International Symposium on Antennas and Propagation Conference, 2-5 Dec., Pages: 391-392, Kaohsiung, Taiwan.
- [37] Telgote, A.M.; Narayanan, V. y Dave, N. A. (2015). "Design and implementation of water environment monitoring system using GSM technology", in Proceedings 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), 4-6 Feb., Pages: 1-4, Mumbai, India.
- [38] Wixted, A. J.; Kinnaird, P. y Larijani, H. (2016). "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks", in Proceedings 2016 IEEE SENSORS, 30 Oct.-3 Nov. Pages: 1-3, Orlando, FL, USA.

VI. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Estado de México, 1962. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990.

Él 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.

M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras.

Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.



Salgado-Guzmán Gerardo. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Tapia-Vargas Víctor Noé. Cd. de México, 1949. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1988.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Tapia realiza investigación con sistemas robóticos.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.



Cosme-Aceves José Francisco. Atlixco, Puebla, México, 1958. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.

Registro De Personal De Vigilancia En Rondines Usando RfID Y LoRa

J.I. Vega-Luna¹, M.A. Lagos-Acosta¹, G. Salgado-Guzmán¹, V.N. Tapia-Vargas¹, F.J. Sánchez-Rangel¹, J.F. Cosme-Aceves¹

Resumen—Se presenta el diseño e implantación de un sistema para monitorear remotamente el paso de personal de seguridad de un centro de datos por puntos estratégicos en rondines de vigilancia. El objetivo del sistema es registrar, en un servidor ubicado en la Internet, la fecha y hora del día del paso del personal así como las coordenadas GPS de los puntos de registro. Se implantó una LPWAN con tecnología LoRa con ocho nodos y un gateway. En los puntos de registro se instaló un nodo. Los nodos constan de un lector RfID, un módulo GPS, un microcontrolador y un transceptor LoRa. Los nodos identifican los vigilantes que portan una tarjeta RfID válida y transmiten su ubicación e información de lectura de la tarjeta RfID, a través del gateway, al servidor. Operando la interfaz de usuario puede mostrarse la información transmitida por los nodos. El alcance logrado con la LPWAN son 9.9 Kilómetros con línea de vista.

Palabras claves—Centro de datos, GPS, LoRa, LPWAN, microcontrolador, RfID.

Abstract—This paper presents the design and implementation of a system to remotely monitor the passage of security personnel of a data center by strategic points in surveillance zones. The purpose of the system is to register the date and time of day of the personnel's pass as well as the GPS coordinates of the registration points on a server located on the Internet. A LPWAN with LoRa technology was implemented with eight nodes and one gateway. At the registration points, a node was installed. The nodes consist of an RfID reader, a GPS module, a microcontroller and a LoRa transceiver. Nodes identify watchers carrying a valid RfID card and transmit their location and read information from the RfID card, through the gateway, to the server. By operating the user interface, the information transmitted by the nodes can be displayed. The reach achieved with the LPWAN is 9.9 Kilometers with line of sight.

Keywords—Data center, GPS, LoRa, LPWAN, microcontroller, RfID.

VII. INTRODUCCIÓN

Un centro de procesamiento de datos (CPD), también llamado centro de datos, o data center por su equivalente

en inglés, es una instalación que concentra recursos o equipos necesarios para el procesamiento y almacenamiento de información de empresas e instituciones, así como equipos de telecomunicaciones para acceder tanto local como remotamente la información [1]. Periódicamente los centros de datos son auditados por organismos y empresas externas, para poder estar certificados y ofrecer servicios garantizados a sus clientes. Un punto importante que consideran las auditorías son los procedimientos y técnicas usados en la seguridad física. La seguridad física son los procedimientos y medidas que aseguran la integridad física de equipos instalados, incluyendo: sistemas de control de acceso, de monitoreo y control de mecanismos de variables de ambiente, de vigilancia y de suministro de energía y recursos. Los sistemas de vigilancia en el centro de datos usan cámaras de video y sensores de presencia instalados para cubrir todos los puntos de las instalaciones desde una oficina central de control y monitoreo [2]. Los sistemas de vigilancia también tienen como objetivo la seguridad perimetral e interna del centro de datos llevando a cabo rondas el personal de seguridad. Es importante contar con procedimientos que permitan registrar el paso de vigilantes por puntos estratégicos en rutas seguidas para garantizar y certificar el cumplimiento del servicio. En algunos centros de datos, instalaciones industriales, hospitales y en otros lugares donde personal de vigilancia realiza rondas periódicas, el registro del paso de vigilantes se lleva a cabo usando métodos tradicionales mecánicos donde el vigilante inserta en un reloj checador una tarjeta que registra la fecha y hora. En otros lugares se usan dispositivos electrónicos que registran el paso del personal y transmiten la información leída de un identificador a una computadora [3]. Existen en el mercado diferentes soluciones para el control de rondines y se han realizado trabajos de investigación que incorporan tecnologías recientes para registrar la ruta seguida por vigilantes. Casi todas estas soluciones y trabajos se usan en interiores o espacios cerrados [4]. Algunos de ellos usan dispositivos biométricos para registrar la persona en su ruta de vigilancia [5]. La mayor parte están basados en el uso de etiquetas RfID (Radio Frequency IDentification) para identificación o localización personas o productos. Las aplicaciones son muy variadas incluyendo patrullaje en

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México, México.* vlji@correo.azc.uam.mx.

instalaciones industriales [6], sistemas de navegación [7], reconocimiento y optimización de rutas de robots [8], sistemas de votación [9], compras y pagos en supermercados [10] y hospitales [11]-[12]. Algunas aplicaciones desarrolladas transmiten la información de la tarjeta RFID a una computadora por un segmento de red Ethernet. Otras lo hacen de forma inalámbrica, ya sea usando tecnología ZigBee o WiFi [13].

El objetivo de este trabajo fue implantar un sistema que registre en un servidor ubicado en la Internet la fecha y hora del día del paso de vigilantes por puntos estratégicos de un centro de datos, así como las coordenadas GPS de estos puntos de registro. El centro de datos es un edificio de 80x80 metros. El registro es diario y puede mostrarse, conjuntamente con un mapa de la ruta seguida, en una computadora conectada a la Internet. Los rondines de vigilancia se llevan a cabo en el interior y exterior del centro de datos y la forma de identificar al personal debe ser sencilla y confiable. Para lograr esto, se utilizaron tarjetas RFID por ser económicas y fáciles de usar. En los puntos de registro ubicados en el exterior, los lectores RFID se instalaron dentro del centro de datos y la antena del lector en la parte externa, ya que éstas son tolerantes a factores ambientales como lluvia, calor y humedad. No fue una opción usar un segmento Ethernet para transmitir la información de los lectores RFID a la computadora, debido a que en los centros de datos no está permitido o es muy difícil instalar cableado adicional o modificar el existente. No se usaron transceptores ZigBee en la implantación de este trabajo porque su alcance está limitado a 100 metros. El punto de registro más distante a la oficina de control y monitoreo está situado a 1.5 Kilómetros. No se utilizó tecnología WiFi porque su alcance es corto, inclusive más pequeño que el de ZigBee, y por el costo de transceptores y routers WiFi. Una opción viable para la comunicación de lectores RFID con el punto de concentración de información y conexión a la Internet, instalado en la oficina de control, fue implantar una red de área amplia de baja potencia (LPWAN-Low Power Wide Area Network) usando tecnología LoRa (Long Range).

El protocolo abierto LoRa fue desarrollado por LoRa Alliance para crear redes LPWAN para el mercado de IoT (IoT-Internet Of Things). LoRa define la capa física del modelo OSI, o modulación inalámbrica, para realizar el enlace de comunicación de larga distancia con transceptores de radio de baja potencia que permiten transmitir pequeñas cantidades de información a baja velocidad y lograr mayor tiempo de vida de baterías. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa se les conoce como LoRaWAN y se usan en aplicaciones máquina a máquina (M2M-Machine-to-Machine) y por operadores de redes inalámbricas que usan el espectro sin licencia para

comunicar dispositivos IoT a través de su red. Las LoRaWAN proporcionan mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares existentes. Muchos operadores de redes celulares complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que se integran a la infraestructura existente para ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías. Usando LoRaWAN pueden implantarse soluciones de IoT sin usar de tecnologías de transmisión inalámbrica tradicionales como WiFi o celular. Las redes LoRaWAN usan arquitectura de estrella y los nodos establecen el enlace inalámbrico de baja frecuencia con uno o más puntos de acceso o gateways conectados a la Internet. Los gateways transmiten información a un servidor de red central, ubicado en la nube, usando una conexión IP estándar. Para maximizar la duración de la batería de dispositivos finales y capacidad de la red, el servidor central LoRaWAN administra la velocidad para cada dispositivo. Con un gateway o estación base LoRa se pueden cubrir ciudades completas o cientos de kilómetros cuadrados. La capacidad de una LoRaWAN es de miles de nodos. Existen diferentes proveedores de transceptores y gateways LoRa para desarrollar LPWAN. Varias ciudades de Estados Unidos y Europa cuentan con operadores de LoRaWAN públicas, similares a las redes celulares existentes en casi todo el mundo, que permiten conectar una LPWAN a un servidor ubicado en la Internet y crear aplicaciones IoT. En Latinoamérica no existe este tipo de operadores hasta hoy, por lo que una opción para conectar una LPWAN a la Internet es empleando Symphony Link. Symphony Link es una especificación alterna a LoRaWAN, es un protocolo estandarizado desarrollado por Link Labs para usuarios que necesitan comunicación inalámbrica de larga distancia con rendimiento no disponible en LoRaWAN. Symphony Link proporciona transceptores y gateways LoRa donde la comunicación es más segura que una LoRaWAN, ya que realiza reconocimiento de todos los paquetes de datos, a diferencia de una LoRaWAN que usa reconocimientos limitados. El uso de repetidores en una red permite expandir el rango de la misma aumentando también la latencia. La operación de una red Symphony Link no requiere identificador de red ni membresía a LoRa Alliance, lo cual puede costar hasta \$20,000 USD por año. Symphony Link no interfiere con LoRaWAN y viceversa. Se puede desarrollar una LPWAN para IoT adquiriendo los transceptores necesarios, uno para cada nodo de la red, y el gateway Symphony Link conectado a Internet. Los nodos intercambian información, a través del gateway, con un servidor de red, ubicado en los servicios de nube de Amazon, administrado por Link Labs.

En este trabajo se implantó una LPWAN Symphony Link

compuesta por ocho nodos y el gateway. La LPWAN reporta al servidor de red el paso de un vigilante por los ocho puntos de registro ubicados en el centro de datos. Cada nodo de la LPWAN lee la tarjeta RFiD del vigilante y transmite el identificador obtenido, conjuntamente con la fecha, hora y coordenadas GPS del nodo, al gateway. En la interfaz de usuario, que se ejecuta en una computadora personal conectada a Internet, se muestra la información enviada por cada nodo de la red. Las ventajas y aportaciones del sistema aquí presentado son las siguientes: la comunicación usada en la red de lectores RFiD es inalámbrica y por tanto no interfiere con el cableado del centro de datos, la tecnología inalámbrica usada es de reciente creación con alcance de varios Kilómetros. No necesita instalarse una computadora para comunicarse desde la Internet a la LPWAN, ya que se usa el servidor proporcionado en Symphony Link. Finalmente el sistema desarrollado resuelve una necesidad real, conectando un LPWAN a la Internet sin usar una LPWAN pública.

VIII. DESARROLLO

La metodología usada para el desarrollo del sistema consistió en dividirlo en dos partes: la LPWAN y la interfaz de usuario. Se diseñaron los nodos de la LPWAN usando los componentes más confiables y económicos, y se implantó la interfaz de usuario que accede la información del servidor de red. En la Figura 1 se muestra el diagrama funcional del sistema.

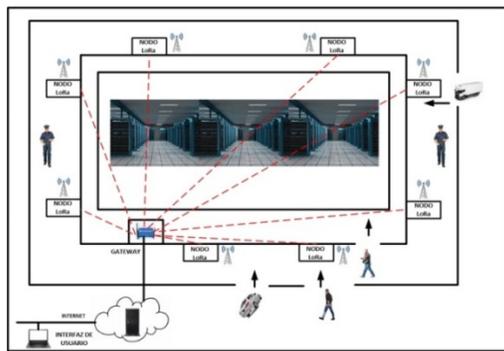


Figura 1. Diagrama funcional del sistema implantado

C. La LPWAN

La LPWAN está formada por ocho nodos y el gateway. Cada nodo se compone de un microcontrolador, un lector RFiD, un módulo GPS y un transceptor LoRa, como se indica en el diagrama de bloques de la Figura 2. El microcontrolador de los nodos de la red fue el PIC18F8722. Es un dispositivo que cuenta con 3 temporizadores, un puerto serie SPI, un puerto I²C Maestro y 2 Puertos EUSART. El microcontrolador usa los puertos EUSART1, EUSART2 e I²C para comunicarse

con el transceptor LoRa, con el módulo GPS y con el lector RFiD, respectivamente.

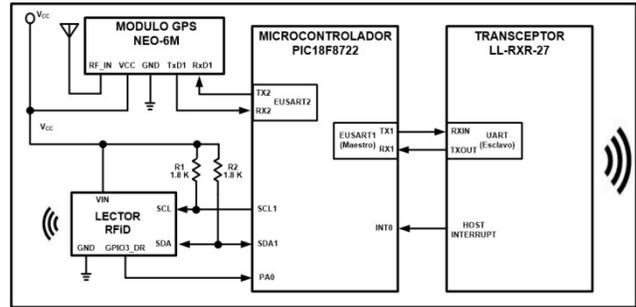


Figura 2. Diagrama de bloques de los nodos de la LPWAN

El programa que se ejecuta en el microcontrolador inicia configurando los Temporizadores 0, 1 y 2 para generar la señal de reloj de los puertos anteriores. A continuación, genera en memoria RAM el mensaje para reinicializar al lector RFiD. El módulo GPS y el transceptor LoRa no necesitan reinicializarse al encenderlos. Posteriormente, el programa entra a un ciclo continuo en el que ejecuta: la rutina que espera el UID (Unique IDentifier) leído de una tarjeta RFiD, la rutina que obtiene las coordenadas GPS de localización del nodo de la LPWAN y la rutina que transmite el UID y coordenadas GPS al transceptor LoRa. Estas acciones ejecutadas por el microcontrolador se indican en el diagrama de flujo de la Figura 3.

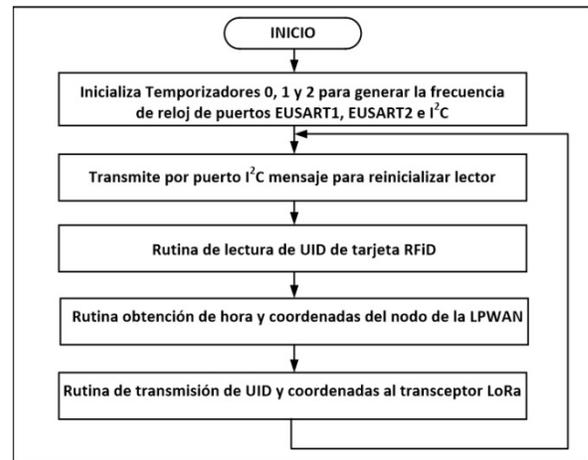


Figura 3. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador

Para la lectura de las tarjetas RFiD se utilizó el circuito SkyeModule Gemini. Este circuito se alimenta con 5 V, cuenta con un puerto I²C y puede configurarse para usar una antena externa o la antena integrada al módulo. El módulo SkyeModule Gemini se configuró para usar una antena externa de 13.56 MHz y alcance de 4 metros conectada a la terminal RX_EXT. El lector RFiD se comunica con el microcontrolador a través del bus I²C, por lo que las terminales SDA y SCL del SkyeModule Gemini

se conectaron a las terminales del mismo nombre del puerto I²C del microcontrolador. El microcontrolador es el maestro y el SkyeModule Gemini es el esclavo. La frecuencia de la señal de reloj del bus I²C requerida por el SkyeModule Gemini es 100 Khz. La dirección del lector RFiD es 0x7F, por defecto en el bus I²C del dispositivo. El SkyeModule Gemini puede acceder a tarjetas RFiD que usan diferentes estándares de identificación. La transmisión de información entre el microcontrolador y SkyeModule Gemini se lleva cabo usando el protocolo propietario SkyTec, el cual funciona con intercambio de mensajes de solicitud y respuesta. Las solicitudes que puede ordenar el microcontrolador al SkyeModule Gemini son las siguientes: reinicializar el lector, lectura del UID de una tarjeta RFiD, bloquear o deshabilitar permanentemente una tarjeta RFiD y establecer el password de una tarjeta. En el desarrollo de este sistema solo se utilizaron las primeras dos solicitudes. El comando de lectura de UID tiene varios modos de funcionamiento, el usado aquí fue el modo auto-detección. Este modo indica al SkyeModule Gemini que lea automáticamente cualquier tarjeta colocada en su campo de detección y active la terminal de salida GPIO3_DR, conectada a la entrada PA0 del microcontrolador, al realizar la lectura. A continuación se indican, usando pseudocódigo, las tareas que realiza el microcontrolador en la rutina de lectura del UID de la tarjeta RFiD:

1. Inicio
2. Transmite por puerto I²C mensaje de lectura de UID.
3. ¿Se activó la entrada PA0? No, continúa probando en 3. Si, pasa a 4.
4. Lee por el puerto I²C mensaje de respuesta.
5. ¿Código de respuesta=exitoso? No, pasa a 2. Si, continúa.
6. Extrae del sexto campo del mensaje, el UID de la tarjeta.
7. Fin.

Cuando el microcontrolador solicita la lectura del UID de una tarjeta genera en memoria RAM el mensaje indicado en la Figura 4 y lo transmite por el puerto I²C.

STX	LONGITUD MENSAJE	BANDERAS	COMANDO	TIPO UID
02	0006	0020	0101	0000

Figura 4. Mensaje solicitud de lectura de UID

El primer campo de este mensaje es el inicio de transmisión (STX, 0x02), el segundo campo es la longitud del mensaje en bytes a partir del tercer campo, el tercer campo son banderas indican que el transmisor y receptor no usan verificación de redundancia cíclica, el campo de comando indica lectura de UID con auto-detección y el quinto campo indica que no importa el estándar usado por el UID, siempre y cuando sea uno de los soportados por el SkyeModule Gemini. El módulo SkyeModule Gemini

responderá con un mensaje como el mostrado en el ejemplo de la Figura 5.

STX	LONGITUD MENSAJE	CODIGO DE RESPUESTA	TIPO DE UID	LONGITUD UID	UID
02	0012	0101	8200	000C	BC3A090934A267542A060106

Figura 5. Mensaje de respuesta a una solicitud de lectura de UID

Este mensaje de respuesta se compone de seis campos: el primer campo es el valor de STX, el segundo campo es la longitud del mensaje, el tercer campo es el código de respuesta, exitoso o fallido, el cuarto campo es el estándar usado por el UID de la tarjeta, en este ejemplo la tarjeta usa el estándar ISO18000-6C, el quinto campo es la longitud en bytes del UID y el último campo es el UID leído de la tarjeta. A continuación, el microcontrolador extrae del mensaje de respuesta el UID de la tarjeta y explora el puerto EUSART2 para obtener la hora y coordenadas de ubicación del nodo de la LPWAN. En el puerto EUSART2 se encuentra conectado un módulo GPS modelo GY-GPS6MV2. Este módulo contiene un receptor GPS U-Blox NEO 6M, una antena de cerámica y un regulador de 5 V. El receptor GPS cuenta con un puerto serie UART cuyas características operacionales por defecto son las siguientes: velocidad de transmisión 9.6 Kbps, 8 bits para el dato, un bit de parada y sin paridad. No se modificaron estas características y las terminales Rx y Tx se conectaron a las terminales TX2 y RX2, respectivamente, del puerto EUSART2 del microcontrolador. El receptor GPS transmite cada segundo la hora y coordenadas de su ubicación a través de un mensaje que sigue el protocolo NMEA. El protocolo NMEA es una especificación eléctrica y de intercambio de información, definida por la National Marine Electronics Association. Este protocolo cuenta con varios tipos de mensajes. El mensaje NMEA usado por el módulo GPS para indicar la hora y ubicación, se denomina GPGGA y significa Global Positioning System Fix Data. El mensaje está compuesto por 18 campos, entre los cuales se encuentran la hora y ubicación. El pseudocódigo siguiente indica las tareas que realiza el microcontrolador en la rutina de lectura de coordenadas GPS:

1. Inicio
2. ¿Mensaje recibido por el puerto EUSART2? No, continúa probando en 2. Si, pasa a 3.
3. Lee mensaje de 18 campos y 80 caracteres ASCII.
4. Extrae del mensaje los valores de hora, latitud, longitud y altitud.
5. Fin.

A continuación se muestra el ejemplo de un mensaje GPGGA recibido por el microcontrolador: **\$GPGGA,210204.000,1954.7459,N,9917.3098,W,1,10,1.2,2265.0,M,-34.2,M,,0000*5E0D0A.**

El microcontrolador extrae de este mensaje la siguiente información: hora de lectura 21:02:04 UTC, latitud 19 grados 54.7459' Norte, longitud 99 grados 17.3098' Oeste

y altitud 2265.0 metros sobre el nivel del mar. Esta información, conjuntamente con el UID de la tarjeta RfID, es transmitida por el microcontrolador al transceptor LoRa a través del puerto EUSART1. El transceptor LoRa empleado fue el circuito LL-RXR-27 de Symphony Link. La comunicación entre el PIC18F8722 y el transceptor LL-RXR-27 usa el protocolo maestro-esclavo. El microcontrolador realiza las funciones de maestro y el transceptor LL-RXR-27 es el esclavo. El protocolo permite intercambiar paquetes de comando y paquetes de respuesta. Las terminales RXIN y TXOUT del LL-RXR-27 se conectaron a las terminales TX1 y RX1 del puerto EUSART1 del microcontrolador el cual fue configurado para trabajar a 9.6 Kbps. Cuando el microcontrolador ejecuta la rutina que solicita al transceptor LL-RXR-27 la transmisión de información ejecuta las acciones indicadas en el siguiente pseudocódigo:

1. Inicio
2. Transmite por puerto EUSART1 paquete de comando indicando la transmisión de: UID de tarjeta RfID, hora y coordenadas GPS.
3. Espera paquete de respuesta con reconocimiento del paquete anterior.
4. ¿Mensaje reconocido? No, continúa en 4. Si, pasa a 5.
5. Fin.

En la Figura 6 se muestra el ejemplo de un paquete de comando, enviado por el microcontrolador al transceptor LL-RXR-27, para transmitir el UID, hora y coordenadas GPS.

PREÁMBULO	INICIO TRAMA	COMANDO	NO. DE PAQUETE	LONGITUD PAQUETE	DATOS DEL PAQUETE
0F0F0F0F	C4	12	01	001A	45DEA231,210204.000,1954,7459,N,9917.3098,W,2265.0,M

Figura 6. Paquete de comando para transmitir por RF

Los campos de este paquete son los siguientes: el preámbulo son 4 bytes con valor de 0F, el inicio de trama es un byte cuyo valor es C4, el campo de comando, con valor igual a 12, indica transmisión de datos por RF, el número de paquete es un byte, la longitud del mensaje se expresa con dos bytes y es la cantidad de bytes a transmitir y finalmente se indican los datos a transmitir. En la Figura 7 se muestra el ejemplo de un paquete de respuesta enviado por el LL-RXR-27 al microcontrolador, indicando el reconocimiento y transmisión del paquete número anterior, el 01.

INICIO TRAMA	COMANDO	NO. DE PAQUETE	ACK/ NACK	LONGITUD PAQUETE	DATOS DEL PAQUETE
C4	12	01	00	0001	00

Figura 7. Paquete de respuesta enviado por el transceptor LL-RXR-27

Usando la aplicación *Prelude* de Link Labs se establecieron los números de serie de transceptores LL-RXR-27 que debe reconocer el gateway. Esta aplicación se ejecuta en una computadora conectada al gateway a través de un segmento de red local.

D. La interfaz de usuario

En la Figura 8 se muestra la interfaz de usuario, la cual se realizó en Visual Basic y Python 3.6.0 y se ejecuta en una computadora conectada, a través de la Internet, al servidor de red.



Figura 8. Interfaz de usuario con la fecha y horas registradas

Permite seleccionar un miembro del equipo de vigilancia y mostrar el identificador de su tarjeta RfID, la fecha, hora y coordenadas de los nodos de la LPWAN donde ha pasado la persona durante el día. La interfaz de usuario puede mostrar el mapa satelital de los nodos de la red que registraron el paso de la persona y descargar en un archivo esta información de otros días almacenada históricamente en el servidor. Esta interfaz accede a la aplicación *Conductor* que se encuentra en el servidor de Link Labs. *Conductor* proporciona la biblioteca *conductor.py* que contiene APIs para acceder la información enviada por los nodos de la LPWAN al servidor. Para establecer la comunicación con el servidor web de *Conductor* se usó el módulo *socket* de Phyton. Los APIs se invocan desde el objeto *ConductorAccount*. El programa en Phyton ejecuta el siguiente código para acceder los mensajes transmitidos al servidor por un nodo en un intervalo de tiempo:

```
import conductor
account = conductor.ConductorAccount('usuario',
'password')
node = account.get_module('$301$0-0-0-952345782')
messages = node.get_messages_time_range(start_time y
stop_time)
```

IX. RESULTADOS

Se realizaron dos grupos de pruebas. El primer grupo de pruebas se realizó para determinar el alcance de la LPWAN. El fabricante de los transceptores LoRa indica que su alcance son 12 Kilómetros con línea de vista. El nodo de la red más distante al gateway se instaló a 750 metros, por lo que a esta distancia no se presentaron problemas de comunicación en la LPWAN. En el segundo grupo de pruebas se ubicaron algunos nodos de la red en diferentes posiciones del centro de datos. El alcance logrado fue 9.9 Kilómetros con línea de vista, 7.9

Kilómetros ubicando el nodo en una posición donde existen dos edificios entre el nodo y el centro de datos y 6.9 Kilómetros con tres edificios. La ubicación de un nodo puede determinarse sin necesidad de un módulo GPS, sin embargo, se solicitó que el sistema implantado reporte las coordenadas GPS de los puntos que registraron el paso del personal de vigilancia en su rondín, información que es requerida por las entidades que auditan el centro de datos.

X. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El control de rondines de seguridad en áreas específicas e importantes de un centro de datos es fundamental. En este trabajo se obtuvo un sistema sencillo, fácil de operar y mantener para resolver una necesidad específica y real. El sistema integra tecnología inalámbrica de transmisión que no interfiere con la operación del centro de datos. Al usar una solución propietaria, como lo es Symphony Link, se implantó una LPWAN de forma sencilla, confiable y de costo bajo, la cual puede replicarse en otros centros de datos u otro tipo de instalaciones como hospitales y escuelas. Una mejora a esta aplicación es que los nodos de la red sean portátiles y llevados por el personal de vigilancia. Esta alternativa es más costosa que el sistema aquí desarrollado pero se puede determinar con precisión la ubicación y ruta seguida por cada persona.

XI. REFERENCIAS

- [39] El-Mir, I.; Seong-Kim, D. y Haqiq, A. (2015). "Security modeling and analysis of an intrusion tolerant cloud data center", *Third World Conference on Complex Systems (WCCS)*, pp. 1-6.
- [40] Lontsikh, P. A.; Karaseva, V. A. y Kunakov, E. P. (2016). "Implementation of information security and data processing center protection standards", *2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS)*, pp. 138-143.
- [41] Chang, V. y Ramachandran, M. (2015). "Towards Achieving Data Security with the Cloud Computing Adoption Framework", *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 9, Issue: 1, pp. 138-151.
- [42] Büyükçorak, S.; Erbas, T. y Kurt, G. K. (2014). "Indoor localization applications", in *Proceedings 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1239-1242.
- [43] Belhadi, Z.; Fergani, L. y Fergani, B. (2014). "RFID tag indoor localization by Fingerprinting methods", in *Proceedings 4th International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems (VITAE)*, pp. 1-5.
- [44] Chen, T.L.; Hsiao, T. C. y Chen, S. C. (2013). "Patrol management system applying RFID to petrochemical industry", in *Proceedings IEEE International Conference of IEEE Region 10*, pp. 1-4.
- [45] Sammouda, R. y Alrjoub, A. (2015). "Mobile blind navigation system using RFID", in *Proceedings 2015 Global Summit on Computer & Information Technology (GSCIT)*, pp. 1-4.
- [46] Zhao, K.; Zhou, Y. y Song, Z. (2016). "A grid method for robot path recognition based on RFID technology", in *Proceedings 12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, pp. 2181-2185.
- [47] Naik, D. V. (2015). "Smart wireless authenticating voting machine", in *Proceedings 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, pp. 785-788.
- [48] Chandrasekar, P. y Sangeetha, T. (2014). "Smart shopping cart with automatic billing system through RFID and ZigBee", in *Proceedings International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014)*, pp. 1-4.
- [49] Osaimi, A. A.; Kadi, K. A. y Saddik, B. (2017). "Role of radio frequency identification in improving infant safety and the extent of nursing staff acceptance of RFID at King Abdulaziz medical city in Riyadh", in *Proceedings 2017 International Conference on Informatics, Health & Technology (ICIHT)*, pp. 1-7.
- [50] Li, X.; Zhou, Y. y Ai, C. (2014). "Smart Entrance Guard Control Based on RFID Card and ZigBee Authorization", in *Proceedings 2014 Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, pp. 589-592.
- [51] Shieh, H. L.; Huang, C. y Lyu, F.S. (2016). "An Emergency Care System Using RFID and Zigbee Techniques", in *Proceedings 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, pp. 65-68.

XII. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Estado de México, 1962. Ingeniería Electrónica, 1985, Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Él labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es: aplicaciones de microcontroladores.

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



Lagos-Acosta Mario Alberto. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es redes de computadoras.

El Ing. Lagos realiza investigación en seguridad informática.



Salgado-Guzmán Gerardo. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Tapia-Vargas Víctor Noé. Cd. de México, 1949. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1988.

Él labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es: lenguajes de descripción de hardware.

El Ing. Tapia realiza investigación con sistemas robóticos.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, 1987, Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999.

Él labora actualmente en de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es: lenguajes de descripción de hardware.

El M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.



Cosme-Aceves José Francisco. Atlixco, Puebla, México, 1958. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985.

Él labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos.

Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino

E. Machado-Díaz¹, H. Coto-Fuentes¹

Resumen— Los sistemas de adquisición de datos son indispensables en el modelado matemático de sistemas de control, pues permiten obtener la curva característica por métodos experimentales. Con el objetivo de desarrollar un sistema que permita las mediciones de voltaje y la posterior obtención de dichos modelos, se utilizó una aplicación visual en Python y se diseñó un protocolo basado en comandos a través del puerto serie con una placa Arduino DUE encargada de realizar el muestreo. La interfaz cuenta con una gráfica que se actualiza cada segundo y otra que grafica un número determinado de muestras a un periodo de muestreo establecido por el usuario. Las muestras tomadas son almacenadas en un fichero Excel con el fin de permitir analizarlas con otros softwares especializados. Del trabajo realizado se concluyó que el uso de herramientas libres permite implementar sistemas de adquisición de datos de manera sencilla y económica.

Palabras claves—Adquisición de datos, Arduino, Python.

Abstract— Data acquisition systems are indispensable in the mathematical modeling of control systems. They let to obtain the characteristic curve by experimental methods. For the development of voltage measurements, we used a visual application in Python and a design of commands for its serial port communication with an Arduino DUE board that let to measure variables to help in obtaining the model of a control system. The interface has a graph that update every second and another that plot a certain number of samples to a sampling period established by the user. The samples taken are stored in an Excel file in order to allow them be analyzed with other specialized software. From the work carried out, we concluded that the use of free tools allow realize data acquisition systems in a simple and economic way.

Keywords—Data Acquisition, Arduino, Python.

XIV. INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha incrementado el uso de controladores digitales en sistemas de control [1]. Se utilizan para alcanzar el desempeño óptimo de los sistemas y que tengan la máxima productividad.

La tendencia actual de controlar los sistemas en forma digital en lugar de analógica se debe principalmente a la disponibilidad de computadoras digitales de bajo costo y a

las ventajas de trabajar con señales digitales en lugar de señales analógicas.

A. Muestreo de señales

La señal de tiempo discreto es aquella que tiene valores o está definida sólo en los puntos de tiempo discreto $t = t_n$, donde n sólo toma valores enteros. La gráfica de una señal de tiempo discreto siempre estará en términos de los valores de t_n contra la variable de tiempo entera n .

Una de las formas más comunes en las que surgen las señales de tiempo discreto es muestreando señales analógicas. Suponga que una señal $x(t)$ se aplica a un interruptor electrónico que se cierra brevemente cada T segundos. Si el lapso durante el cual el interruptor se cierra es mucho más pequeño que T , la salida del interruptor puede considerarse como una señal de tiempo discreto $x[t]$ que es una función de los puntos de tiempo discreto. La señal de tiempo discreto resultante se conoce como versión muestreada de la señal continua y a T se le conoce como periodo de muestreo [2].

Según el teorema de muestreo de Nyquist – Shannon, para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo sea como mínimo el doble de la máxima frecuencia a muestrear, sin embargo en términos prácticos el doble no es suficiente, entre mayor sea el número de muestras y más alta la frecuencia de muestreo se obtendrá una señal con más fidelidad [3].

Los dispositivos de muestro y retención se emplean de manera extensa en los sistemas de control digital y de datos muestreados. Son dispositivos que convierten una señal analógica en un tren de pulsos de amplitud modulada o en una señal digital, efectuando las tareas de cuantización y codificación. Así mismo mantiene o congela el valor del pulso o de la señal durante cierto tiempo [4].

B. Python

Python es un lenguaje de programación multiplataforma de código libre poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel, así como un enfoque simple pero efectivo en la programación orientada a objetos [5].

Es un lenguaje de programación que actualmente se utiliza en el ámbito ingenieril por sus librerías para ciencia e ingeniería, las que permiten resolver distintas ecuaciones

¹Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico N 1555 Sur Periférico Gómez – Lerdo Km. 14.5 C.P. 35150 Cd. Lerdo. Durango. Eduardo.madied@gmail.com

y obtener gráficas muy parecidas a entornos de desarrollo más completos y complejos como MATLAB.

Se pueden desarrollar interfaces gráficas de usuario complejas utilizando el módulo Tkinter combinadas con los módulos Scipy (ciencia e ingeniería), Sympy (matemáticas simbólicas) y Matplotlib (gráficas) que permitan realizar aplicaciones de código libre potentes sin la necesidad de un software especializado con altos costos en licencias.

Las características de Python lo vuelven una herramienta ideal para aquellas personas que no tienen un conocimiento amplio en el desarrollo de software, pero poseen mínima experiencia en programación, siendo un lenguaje fácil de aprender y con basta documentación tanto en libros como en la Red. Al tener una consola interactiva, permite experimentar o manipular resultados sin la creación de un script [6].

Actualmente Python ha aumentado considerablemente su popularidad debido a ser el principal lenguaje de programación utilizado en mini ordenadores como lo es la Raspberry Pi. Se han hecho proyectos combinando el lenguaje con diversas tarjetas de código libre como lo es Arduino. Ejemplos de ellos son sistemas de riego automáticos donde se obtienen lecturas de sensores y se guardan en una nube digital con el fin de monitorear las variables por internet [7], así como sistemas de instrumentación virtual remota con el fin de elaborar prácticas de control de procesos en una plataforma web [8].

Debido a la facilidad de programación del lenguaje Python así como Arduino, cada vez es más frecuente el uso de estas herramientas en la docencia para brindar a los alumnos de nivel medio superior de competencias que puedan ser útiles al momento de estudiar una carrera. Ejemplos de ellos son sistemas robóticos basados en Python y Arduino a nivel secundaria que son de bajo costo y pueden ser construidos por los mismos docentes y alumnos, brindando de mejor equipamiento a la institución educativa [9].

Sin embargo, no solo se han utilizado las herramientas libres para el uso industrial, existen diferentes aplicaciones en medicina como la descrita en [10] que permite medir señales fisiológicas como lo son la temperatura corporal para que sean procesadas y analizadas a un bajo costo.

XV. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A continuación, se presenta la metodología implementada para la elaboración del proyecto.

A. Adquisición de datos y protocolo de comunicación en Arduino.

Para la adquisición de datos se optó por utilizar la plataforma Arduino debido a que es de código abierto y mantienen una gran popularidad, por lo que tiene una

amplia documentación y tutoriales que permiten su manejo por casi cualquier persona involucrada en el desarrollo electrónico. Existen una gran variedad de placas Arduino, para este proyecto se utilizó una placa Arduino DUE pues presenta mejores características que una placa Arduino Uno para la adquisición y procesamiento de datos.

Se realizó la programación para la adquisición de datos por medio de un sensor ultrasónico HC-SR04, debido a que es uno de los sensores más populares, y la lectura de las entradas analógicas de la placa Arduino.

Debido a que la comunicación entre el Arduino y la aplicación en Python se realiza por comunicación serie, es necesario diseñar un protocolo de comandos que permitan el envío de instrucciones entre un medio y otro, con el fin de evitar la pérdida de información y tener instrucciones establecidas que puedan utilizarse en diferentes aplicaciones dependiendo de lo que se requiera.

Existen diferentes formas de realizar el protocolo, para este caso se utiliza una metodología basada en la librería brindada por los microcontroladores PSOC de Cypress mediante separadores en la trama [11].

El sistema de comandos es una cadena de texto que es enviada por el puerto serie al Arduino conformada por dos tramas, la primera es el comando y la segunda el parámetro a almacenar, separados entre ellas por un carácter establecido como separador (“@”) y posteriormente un símbolo de fin de trama (“/”). Un ejemplo de cadena de texto es el siguiente: Comando@parámetro/

Los comandos que pueden ser reconocidos se guardan en un *Array* y los parámetros en otro. De acuerdo a la posición del comando en el arreglo, es el índice de su parámetro. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de los arreglos utilizados para esta aplicación.

```
int DATA[10];
const String CMD[]= {"SetSamples","SetTime",
"StartSample"};
byte NUM_CMD = 2;
```

Figura 1. Ejemplos de comandos

El arreglo “DATA” es donde se guardan los parámetros y el arreglo “CMD” es donde se almacenan los comandos. “NUM_CMD” corresponde al número de comandos programados que serán n-1 debido a que el índice comienza en 0. Cada que se agrega un comando es necesario aumentar esta variable para poder iterar.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo utilizado para el reconocimiento de comandos y el almacenamiento de parámetros.

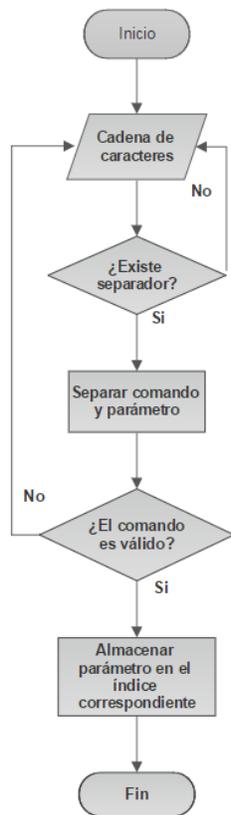


Figura 2. Diagrama de flujo para reconocimiento de comandos

Una vez almacenado el valor del parámetro en el arreglo. Éste no cambia hasta que sea ingresado de nuevo o hasta que la placa Arduino sea reiniciada, permitiendo acceder a él o cambiarlo las veces que sea necesario.

B. Diseño de la Interfaz Visual en Tkinter

La interfaz fue diseñada utilizando el paquete Anaconda que instala Python 3.5, así como las librerías más comunes para su uso científico y el IDE Spyder. La Figura 3 muestra el ejemplo básico de una ventana en Tkinter.

```

#Se importa la librería
import tkinter as tk
#Se crea la ventana
top = tk.Tk()
top.mainloop()
  
```

Figura 3. Ejemplo básico de aplicación

El primer paso es importar el módulo o la librería Tkinter, posteriormente se crea un objeto de ventana que corresponderá a la ventana principal. Para que el código de la aplicación funcione en forma cíclica es necesario colocar el método “mainloop” que permite tener en un

ciclo infinito a la aplicación. La Figura 4 muestra el resultado obtenido con el código anterior.

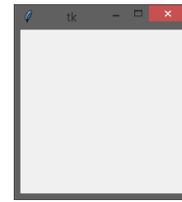


Figura 4. Dibujo de la ventana principal

Los elementos como botones, cajas de texto, también llamados widgets, son dibujados mediante código. Existen dos tipos de formas de trabajar los widgets o elementos de ventana: mediante uso de rejilla, en donde la ventana se utiliza como tabla y se especifica el número de columna y de fila, o en forma de pila que permite dibujar un elemento y posteriormente elegir en qué posición será dibujado el siguiente. Para esta aplicación se utiliza el método de pila, ya que es más fácil trabajar con él si no se tiene un diseño previo en una cuadrícula de la aplicación.

```

import tkinter as tk
def funcion():
    texto.configure(text="Hola mundo")

top = tk.Tk()
top.geometry("100x100")
texto = tk.Label(top, text="Texto")
texto.pack(padx=10,pady=15,side="top")
boton = tk.Button(top,text="boton",command=funcion)
boton.pack(padx=10,pady=10)

top.mainloop()
  
```

Figura 5. Ejemplo de widgets

En el código de la Figura 5 se muestra un ejemplo que permite utilizar un botón para realizar una acción. El método *geometry* permite establecer las medidas en pixeles de la ventana principal, posteriormente cuando se crea un elemento de ventana es necesario colocar los diferentes argumentos de cada uno. El primer argumento corresponde al nombre de la ventana en la cual se va a dibujar el elemento, seguido de diferentes tipos que pueden ser el texto por defecto, el color o el fondo.

Una vez declarado el elemento se utiliza el método *pack()* que lo dibuja en la ventana, si se declara el elemento pero no se coloca esta instrucción, éste no se mostrará. Este método puede trabajar con diferentes argumentos como lo son la tolerancia entre cada eje y el argumento *side*, permite decirle a la aplicación en qué posición será dibujado el siguiente elemento con referencia al elemento creado.

En los elementos que pueden ser manipulados por el usuario, como los botones, es necesario programar una función que será ejecutada cada que sea presionado el botón. El nombre de la función a ejecutar será el argumento *command* en la declaración del objeto. La Figura 6 muestra el resultado del código mostrado.



Figura 6. Ejemplo de widgets

C. Recolección de muestras con la Interfaz

Para el uso de la comunicación serial en Python es necesario utilizar el paquete Pyserial instalado por defecto al utilizar el paquete Anaconda. De igual forma se ha utilizado la entrada analógica A0 de la placa Arduino Due, en la cual se tienen que tener los cuidados necesarios al momento de colocar la señal a muestras pues ésta no puede sobrepasar los 3.3V que son el voltaje de trabajo de la tarjeta Arduino Due. En la Figura 7 se muestran las instrucciones básicas para el manejo del puerto serial con Python.

```
import serial
#Abrir el puerto de comunicación
arduino = serial.Serial('COM3',9600)
texto = input("Ingresa una cadena: ")
arduino.write(texto.encode('ascii'))
arduino.readline() #leer hasta un salto de línea
```

Figura 7. Instrucciones de puerto serie

Se importa la librería y se crea un objeto de tipo serial donde se presentan dos argumentos principales, el puerto serie al cual se encuentra conectado el dispositivo, y la velocidad en baudios a la que se va a realizar la comunicación.

Para el envío de datos se debe codificar la cadena de texto en un formato válido para el envío de la información. Al tener una cadena de texto se le aplica el método *encode()* y como argumento la codificación *ascii*, si esto no se realiza la información enviada no corresponderá a la cadena de texto establecida.

En la recepción de datos existe el método *readline()* que permite leer el buffer del puerto serie hasta que exista un retorno de línea, en el caso de la cadena enviada por el Arduino es necesario colocar un salto de línea cada que se envía una muestra.

Debido a los tipos de datos en Python, la cadena recibida viene acompañada por caracteres especiales que

no permiten la conversión del dato directo de cadena a tipo entero. La cadena recibida tiene el formato: `b'Dato_numerico\r\n'` por lo que es necesario solamente dejar el dato numérico, para ello se utilizó el algoritmo que se muestra en la Figura 8 que permite obtener la cadena de datos de interés y guardarla como muestra. Como se observa en el formato, siempre se tienen 3 caracteres antes de la muestra y 5 después de ella por lo que el dato es la cadena entre esos índices.

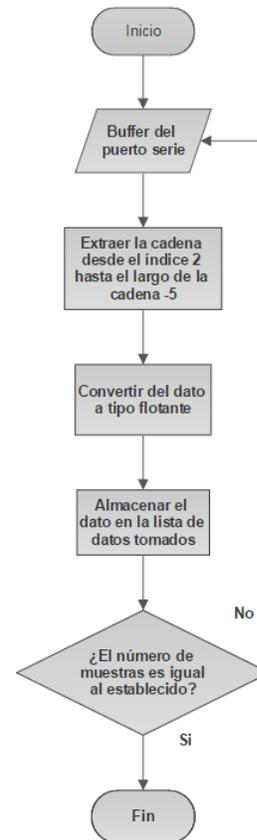


Figura 8. Diagrama de flujo para la conversión del dato

Los datos obtenidos son guardados en listas de Python que pueden iterarse para posteriormente graficarlos o almacenarlos en el fichero Excel. Para no saturar el buffer del puerto serie, el arreglo del tiempo es generado de forma manual utilizando los parámetros dados en la entrada de texto de la interfaz como se muestra en la Figura 9.

```
T_Muestreo = float(T_Muestreo/1000)
T_Max = float(samples)*T_Muestreo
for x in range(0,Num_Muestras):
    self.segundos.append(float(T_Muestreo*x))
```

Figura 9. Creación de la lista del tiempo

XVI. RESULTADOS

La interfaz visual consta de 3 ventanas principales: el menú principal mostrado en la Figura 10, el cual contiene los botones para la elección de las características del programa, como es la gráfica animada y el muestreo.



Figura 10. Menú principal de la interfaz

En la ventana de Live Plot se presenta la gráfica animada utilizando la librería Matplotlib que puede verse en la Figura 11, tiene una caja de opciones donde se muestran los puertos COM disponibles, así como los botones para realizar la conexión, el inicio de muestreo, pausa de la gráfica y reanudación.

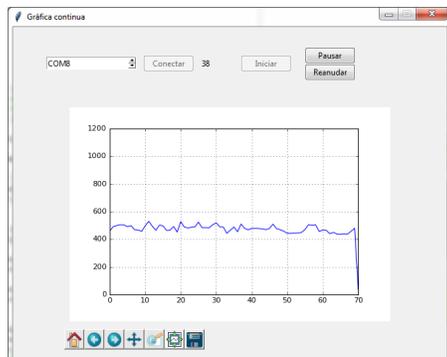


Figura 11. Ventana de gráfica animada

El tiempo de refrescamiento de la gráfica es de un segundo, por lo que se utiliza para muestras lentas, esto debido a las limitaciones de la librería. Así mismo tiene una Toolbox que permite manejar la gráfica, hacer acercamientos y guardar como imagen de formato PNG la vista actual con el fin de servir para documentar las muestras. La gráfica toma 50 muestras que son las que se observan, después de ellas se elimina la última muestra almacenada y se cambia por la muestra actual.

La opción de adquisición de datos se muestra en la Figura 12 donde se observa una gráfica de 50 muestras con un tiempo de muestreo de 100ms de datos aleatorios del convertor digital – análogo de la placa Arduino Due.

La ventana cuenta con el botón de conectar, entradas numéricas donde se colocan el número de muestras y el tiempo de muestreo necesario, así como el botón de enviar que comienza el muestreo y exportar, que regresa el archivo Excel con las muestras tomadas.



Figura 12. Ventana de adquisición de datos

En la Figura 13 se presenta un ejemplo de una gráfica con muestras aleatorias almacenada en formato PNG que utilizarse para su análisis o en la documentación de los experimentos.

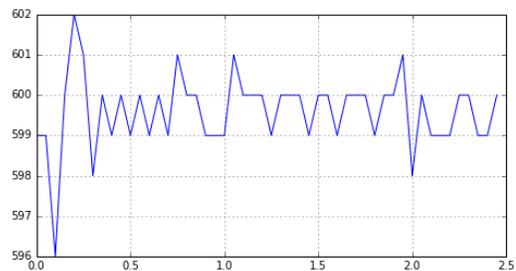


Figura 13. Ejemplo de gráfica en PNG

XVII. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La adquisición de datos es muy importante cuando se quiere conocer el modelo matemático de un sistema de control o para tener un control de muestras de sensores o actuadores. Actualmente existen sistemas que realizan éstas tareas o permiten programar interfaces visuales como lo son LabView o Matlab, sin embargo, ambas tienen un alto costo de licencia de uso que no puede ser pagada por la mayoría de las personas, por lo que el uso de herramientas libres como Arduino y Python presenta una buena alternativa.

La placa Arduino Due es una buena alternativa cuando se requiere medir señales a bajo nivel o se requiere una resolución mayor a la de un Arduino Uno u otra placa

común, así mismo trabaja a una velocidad mayor y tiene un mejor procesamiento. Sin embargo, ya que el sistema se comunica mediante protocolo serial, se pueden desarrollar los sistemas de comandos para diferentes plataformas que cuenten con esta característica como lo son los microcontroladores PIC de Microchip o PSOC por mencionar algunos.

El uso de un protocolo de comandos es una de las partes más complicadas en la programación de este tipo de interfaces, pero es necesaria para el buen funcionamiento de ésta ya que existe menos pérdida de información o confusión si la trama enviada de un dispositivo a otro no llega completa. Actualmente se trabaja en el apartado de sintonización de controladores mediante el método Ziegler-Nichols.

XVIII. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de Lerdo por la formación profesional y en especial a la División de Posgrado por la ayuda y asesorías brindadas en este proyecto.

XIX. APÉNDICES

A. Código para la exportación de datos a Excel utilizando XLWT

```
wb = xlwt.Workbook()
ws = wb.add_sheet("Hoja 1")
for i, lista in enumerate(self.datos):
    ws.write(i,0,lista)
for j, lista2 in enumerate(self.segundos):
    ws.write(j,1,lista2)
wb.save("Muestras.xls")
```

B. Código para la obtención de muestras en Arduino.

```
for (int i=1; i<=DATA[i]; i++)
{
    Serial.println(analogRead(A0));
    delay(DATA[2]);
}
```

```
Serial.println("$");
DATA[3]=0;
```

XX. REFERENCIAS

- [1] K. Ogata, *Sistemas de control en tiempo discreto*, Mexico: Prentice Hall, 1996.
- [2] E. Kamen, *Fundamentos de señales y sistemas usando la Web y MATLAB*, México: Pearson Educación, 2008.
- [3] K. Janschek, *Mechatronic System Design: Methods, Models, Concepts*, United States: Springer, 2012.
- [4] B. Kuo, *Sistemas de Control Digital*, México: Grupo Editorial Patria, 2007.
- [5] G. v. Rossum, *El tutorial de Python*, Argentina: Python Software Foundation, 2009.
- [6] G. Borrell, «Python como entorno de desarrollo científico,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2008.
- [7] G. Escalas, «Diseño y desarrollo de un prototipo de Riego automático controlado con Raspberry Pi y Arduino,» Universidad Politécnica de Calatufia, España, 2014.
- [8] E. Machado, «Prácticas de control de procesos utilizando instrumentación virtual remota,» Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México, 2016.
- [9] J. Vega, «Entorno docente con Arduino y Python para Educación,» *Colegio Ntra. S.a Sagrado Corazón*, 2016.
- [10] J. Arechalde, «Analizador de señales fisiológicas portable basado en plataformas low-cost,» *Trabajos Académicos-Escuela de Ingeniería de Bilbao*, 2016.
- [11] Cypress, «Cypress,» Cypress Perform, 27 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.cypress.com/file/50321/download>. [Último acceso: 15 Febrero 2017].

XXI. BIOGRAFÍA



Machado Díaz Eduardo. Nació en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en Mecatrónica y Automatización del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en el año de 2017. Actualmente cursa la Maestría en Ingeniería Mecatrónica en el mismo instituto.

El ingeniero ha trabajado en proyectos de instrumentación virtual remota y diseño de interfaces. Sus áreas de interés son la instrumentación, la domótica y la automatización.



Hesner Coto Fuentes. 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.

Sistema De Automatización Para El Control De Las Condiciones Ambientales En Cultivo De Microalga *Chlorella*

Y.K. Beltrán-Cediel¹, A.M. Quiñones-García², J. Vargas³

Resumen— La ponencia presenta el desarrollo y la implementación de un prototipo electrónico e informático que permite el monitoreo y la supervisión de un cultivo de microalgas *Chlorella*, esto con el objetivo de potenciar su crecimiento y en consecuencia aprovechar sus propiedades de manera que se puedan convertir en una alternativa sostenible para dar solución a problemáticas de tipo social y ambiental. Con el fin de asegurar un ambiente propicio para su cultivo el sistema electrónico presenta la medición de las variables de luminosidad, densidad óptica y temperatura haciendo uso de tecnología de bajo costo. Además, se empleó hardware libre, el lenguaje de programación Processing, la implementación de los protocolos de comunicación 1-wire, I2C y sistemas de visualización virtual. La información recopilada por el sistema de instrumentación mediante los sensores se almacenó en archivos ASCII, estos permitieron un uso eficiente de memoria en los sistemas microcontrolados. Como resultado se obtuvo un sistema de monitoreo continuo en tiempo real y un control automático ante situaciones no paramétricas del cultivo, también se programó una interfaz gráfica de usuario para acceder en tiempo real a la información y el registro del proceso.

Palabras claves—Automatización, Interfaz gráfica de usuario, Microalgas, *Chlorella*, CO₂, control, instrumentación electrónica, Sistemas de control.

Abstract— The papers presents and development and implementation of a Electronic prototype and computer which allows monitoring and the supervision of a microalga *Chlorella* culture, this with the objective of enhancing their growth and consequently take advantage of its properties, so that they can become a sustainable alternative to solve problems of social and environmental type. In order to ensure an environment suitable for its culture the electronic system presents the measurement of the variables such as luminosity, optical density and temperature making use of technology of low cost. In addition, free hardware was used,

the programming language Processing, the implementation of 1-Wire communication protocols, I2C and virtual visualization systems. The information collected by the instrumentation system using the sensors was stored in ASCII files, these allowed an efficient use of memory in the microcontroller systems. As a result we obtained a continuous real-time monitoring system and automatic control in situations non-parametric methods of the culture, was also programme a graphical user interface to access in real time the information and the registration of the process.

Keywords— Automation, *Chlorella*, CO₂, control, control systems, electronic instrumentation, graphical user interface, microalga.

I. INTRODUCCIÓN

Las microalgas son un grupo unicelular que ofrece ventajas como alta eficiencia fotosintética, alta tasa de crecimiento y alta producción de biomasa comparada con otros cultivos energéticos [1]. Tienen la capacidad de crear y hacer fotosíntesis con diferentes fuentes de nutrientes como las sales minerales, en condiciones autotróficas y sustancias orgánicas (como estiércoles y aguas residuales), en condiciones mixotróficas, además, algunas microalgas pueden crecer en condiciones heterotróficas usando carbono orgánico en ausencia de luz, el CO₂ lo pueden obtener de gases de escape industriales, de la atmósfera o fijo en forma de carbonatos solubles, dicho esto, es de resaltar que las microalgas poseen una ventaja adicional que consiste en que pueden adaptarse a diferentes ecosistemas y procesos biotecnológicos [2].

Por otra parte, aun cuando el uso de los combustibles fósiles ha contribuido al desarrollo del mundo también se han convertido en el principal factor de deterioro del medio ambiente emitiendo gases que aumentan el efecto invernadero y en consecuencia el calentamiento global, siendo su papel tan importante, es momento de pensar en alternativas que puedan ayudar a reducir el daño que ya ha sido causado. Por ello, en los últimos años se ha empezado a investigar acerca de fuentes alternativas de energía (renovables), entre las que se encuentran las microalgas ya que presentan ventajas tales como un rendimiento de aceite mucho mayor que cualquier cultivo convencional, tienen una huella ecológica pequeña, se requiere una superficie muy reducida para cubrir la demanda actual de diésel de petróleo y son excelentes captadoras de CO₂ [3].

¹Yury Katherine Beltrán Cediel (katherinebeltran@ieee.org)

²Ángela María Quiñones García (angelaquinonesgarcia@ieee.org)

³Javier Andrés Vargas Guativa (javier.andres.vargas@unillanos.edu.co)
Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Ingeniería Electrónica, Km 12 Vía Apiay Vereda Barcelona C.P. 1745.
Villavicencio, Meta, Colombia.

Dada su importancia y desempeño como generador de energía en condiciones adecuadas se habla de la producción de biocombustible como alternativa para solventar el efecto negativo en la actualidad.

Estos nacieron ante la necesidad de generar energías alternativas y poder sustituir el uso de combustibles fósiles [4] y además por las periódicas crisis del petróleo y el denominado efecto invernadero [5]. El uso de microalgas para la producción de biodiesel ha surgido como una opción promisoriosa sin embargo aún debe vencer retos como el costo de producción de biomasa, que involucra la optimización de medios, selección y manipulación de cepas y el diseño de fotobiorreactores [6].

Parte del objetivo del trabajo es evaluar la estrategia de adaptación y crecimiento en condiciones artificiales para mejorar la calidad y la eficiencia de la microalga *Chlorella* controlando los parámetros más incidentes y regulando una serie de variables seleccionadas en un sistema de instrumentación por medio de la adquisición de datos en un microcontrolador.

Las principales variables que se deben considerar en el cultivo de microalgas son luz, temperatura, pH, CO₂, agitación, densidad, nutrientes, zooplancton pastoreador y depredadores y oxígeno disuelto [7].

Los sensores nos permiten obtener información el estado de una variable o parámetro, los encontramos en todas las actividades de los seres humanos como son el control industrial de procesos, automóviles, aviones, dispositivos médicos, electrodomésticos, entre otros, formando parte esencial de nuestro bienestar [8]. En el desarrollo de este trabajo se usaron diferentes sensores que junto con un sistema de adquisición de datos permitieron extraer la información del entorno para su posterior procesamiento y análisis. El desarrollo de este tipo de tecnologías de bajo costo es importante para el mercado por su fácil accesibilidad económica y la funcionalidad y confiabilidad de tareas que fácilmente puede ser optimizadas [9]. Con el fin de minimizar costos en la generación de proyectos se puede acudir a software de código abierto, pues este permite obtener códigos fuente que se encuentran disponibles para que los programadores puedan verlo, leerlo, modificarlo y redistribuirlo sin las típicas restricciones de derecho de autor [10], de manera con las bases obtenidas en línea y las contribuciones individuales se puedan optimizar diferentes procesos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Características del medio de cultivo y selección de

los parámetros a medir.

El crecimiento de las microalgas está determinado por un balance adecuado de nutrientes y condiciones ambientales. Es preciso identificar las variables más importantes, su rango de valores óptimos y su interacción con los demás, ya que generalmente los niveles óptimos se definen en función de valores constantes u otros parámetros [11].

Las variables más importantes según la literatura consultada se lista a continuación:

1. Luz: el nivel de luminosidad es importante porque a través de la fotosíntesis se alcanza la máxima tasa de crecimiento específica para cada especie, si se sobrepasa ese punto se llega a la fotoinhibición que se puede resumir en resultados perjudiciales para la célula e incluso la muerte [12].
2. Temperatura: la producción algal aumenta proporcionalmente con la temperatura, si se sobrepasan las condiciones ideales aumenta la respiración y la fotorrespiración reduce la productividad, la temperatura óptima se encuentra entre 28° y 35°, su control depende de si es un sistema cerrado o abierto.
3. Nutrientes: el nitrógeno es el nutriente más importante (después del carbono) y se incorpora como nitrato (NO₃⁻) o como amonio (NH₄⁺). El fósforo es fundamental para procesos como formación de ácidos nucleicos y transformación de energía, su contenido en las microalgas es menor del 1%, pero su deficiencia limita el crecimiento [7].
4. Mezclado – aireación: incrementa la producción, incide principalmente en dos aspectos: incrementa la frecuencia de exposición de las células a la luz y favorece la transferencia de masa entre los nutrientes y la microalgas [12].

B. Diseño de los circuitos necesarios para la adquisición de los datos

Uno de los objetivos fue medir la densidad a partir del nivel de absorbancia de la microalga y así determinar su crecimiento, esto se logró por medio de un diodo infrarrojo como emisor y un fotodiodo opt101 como receptor, los circuitos fueron elaborados en las herramientas Multisim y Labcenter electronics .

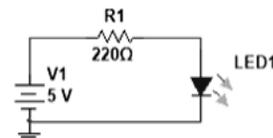


Figura 1. Conexión del diodo infrarrojo

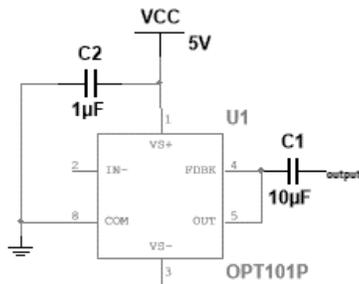


Figura 2. Conexión del fotodiodo opt101

Como se ha dicho la productividad aumenta proporcionalmente a la temperatura y ante el cambio climático es necesario asegurarse de mantener esta variable en un rango óptimo, por lo que se implementó un circuito que permitió al usuario conocer en cualquier momento la temperatura del cultivo. En la figura 3 se observan las conexiones necesarias para el funcionamiento del sensor digital DS18B20 de Dallas Semi Conductors.

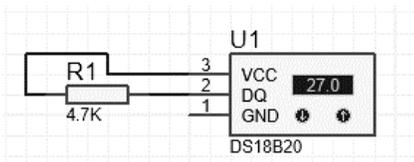


Figura 3. Conexión del sensor de temperatura DS18B20

No hay que descartar que existan temperaturas bajas ya que estas también pueden afectar el crecimiento, por tal razón se implementó un sistema de calefacción que constó de un bombillo de filamento incandescente, este es ideal dado que su eficacia para iluminar es muy baja, convirtiendo en luz visible en torno al 15% de la energía consumida y el resto se transforma en radiación ultravioleta e infrarroja [13], otorgando la calidez que sea necesaria al cultivo.

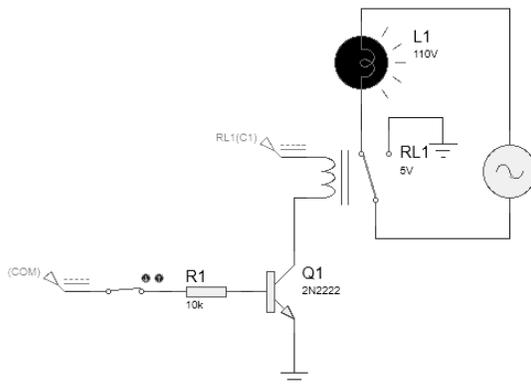


Figura 4. Circuito para el accionamiento de una tira de luz led

Es necesario supervisar y controlar la cantidad de luz que llega al cultivo de microalgas, para este propósito se usó el módulo BH1750, este es un sensor digital que permite medir la intensidad de luz, dispone de un conversor A/D de 16 bits, su unidad de medida es el lux y su rango de medida es de 0 a 65535lx (Cusi Vaca & Sánchez Morocho, 2016), su conexión se puede hacer directamente a un microcontrolador. En caso de que la luz que esté en contacto con el cultivo no sea suficiente, se añadirá una fuente de luz artificial proporcionada por una cinta LED, que será accionada con el circuito descrito en la figura 4.

Por último se necesitó un dispositivo que permitiera obtener de manera ordenada toda la información capturada por los sensores, se eligió para dicha tarea el microcontrolador Arduino, pues es de código abierto (open-source), está basado en hardware y software flexible y fácil de usar, permite afectar el entorno mediante el control de luces, motores y otros artefactos, los proyectos allí desarrollados se pueden comunicar con software en ejecución como Processing y además es de bajo costo [14].

C. Construcción del prototipo

El cultivo de la microalga chlorella se hizo con fines experimentales, se usaron los circuitos y sensores ya descritos y en cuanto al recipiente se empleó uno de vidrio. Antes de implementarlo se realizó un diseño en la herramienta SketchUp que permite crear modelados 3D, este programa es de uso gratuito, de fácil instalación y además cuenta con la posibilidad de publicar en Internet los archivos generados, de manera que cualquier persona pueda acceder a ellos [15].

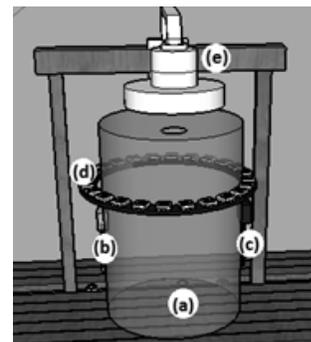


Figura 5. Diseño en 3D de la estructura, (a)recipiente, (b)diodo infrarrojo, (c)opt101, (d)cinta de leds, (e)lámpara.

D. Desarrollo de la interfaz gráfica

Cuando los datos son capturados y leídos por el microcontrolador Arduino solo pueden ser visualizados

mediante el monitor de puerto serie; esta interfaz es demasiado simple y está pensada para pruebas y experimentos de manera rápida, por ende es necesario trasladar los datos a otra plataforma que permita un diseño más amigable con el usuario.

La herramienta que se eligió fue Processing pues permite crear sistemas visualmente atractivos y tiene una rápida conexión con Arduino a través del puerto serial.



Figura 6. Interfaz, (a)presentación, (b)valores sensados, (c)instrucciones de uso, (d)condiciones ideales para el crecimiento de la chlorella, (e)fotografías

En la figura 6(c) se brindan algunas instrucciones al usuario para que esté en la capacidad de realizar las conexiones y poner en marcha el sistema, en 6(d) se hace una pequeña introducción al cultivo de microalgas para que una persona ajena al tema pueda interpretar la funcionalidad de cada variable sensada y en 6(e) se visualizan imágenes obtenidas en el desarrollo del presente trabajo. El proceso de adquisición de datos se realiza a través del microcontrolador Arduino y usando los protocolos de comunicación respectivos para cada sensor, evaluando por medio de processing la información a través del puerto serial visualizada en la interfaz 6(b).

En cuanto al tiempo de muestreo la temperatura y la luminosidad son sensados constantemente, mientras que la densidad óptica solo una vez por día y en horas de la noche para evitar interferencias con otras fuentes de luz.

III. RESULTADOS

El proceso para la creación del sistema de automatización para la microalga chlorella se llevó a cabo en un laboratorio con iluminación ambiental, el sensor de luminosidad permitió obtener curvas como la observada en la figura 7 donde se observa que entre las 6 y 19 horas del día hay una fuente natural de luz que llega al cultivo, con esto fue posible establecer la necesidad de activar fuentes externas de luz de manera automática, mejorando

las condiciones óptimas del cultivo las 24 horas del día.

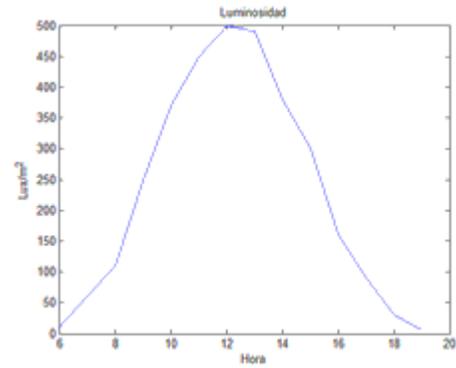


Figura 7. Curva del sensor de luminosidad

La temperatura se caracteriza por ser un parámetro muy constante, sin embargo, es necesario su supervisión pues el cambio climático extremo en ciertas horas puede alterar de manera negativa el crecimiento de las microalgas. A través del sensor DS18B20 se recopiló información durante 24 horas, resultado observado en la figura 8.

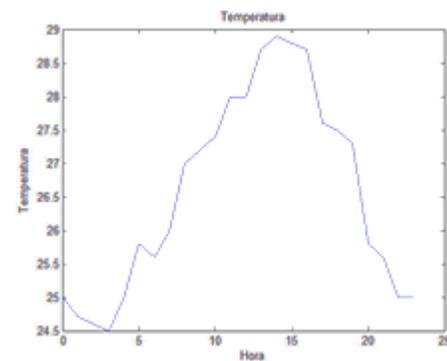


Figura 8. Curva del sensor de temperatura

La adición de un bombillo sobre la cubierta del sistema cerrado hizo parte del control como una herramienta para solventar temperaturas demasiado bajas dado que este transforma el 80% de su energía en calor, convirtiéndose en un medio eficiente y de bajo costo. Finalmente se tuvo una estimación de los valores de acuerdo a la ubicación adecuada de cada sensor para la medición de las condiciones de crecimiento del alga, el resultado final del prototipo se visualiza en las Figuras 9 y 10, con los sensores y un sistema de control básico pero eficiente para caracterizar la influencia de los resultados obtenidos en el experimento.

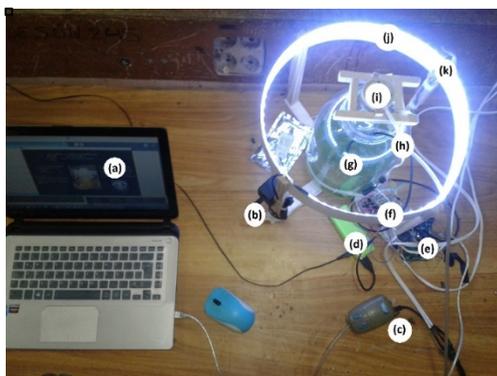


Figura 9. Diseño final del sistema de control e instrumentación (a)interfaz, (b)adaptador cinta de leds, (c)compresor, (d)batería de alimentación para el Arduino, (e)microcontrolador Arduino, (f) circuito, (g)recipiente, (h)sensor de temperatura y tubo del compresor, (i)bombillo incandescente, (j)cinta de leds, (k)sensor de lux

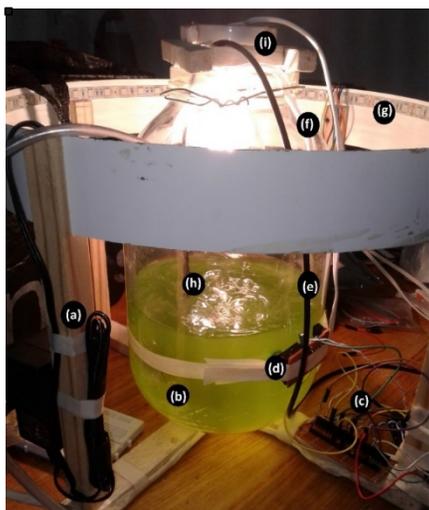


Figura 10. Diseño final, (a)adaptar de 12v, (b)chlorella, (c)circuito, (d)sensor opt101, (e)sensor de temperatura, (f)tubo del compresor, (g)cinta de leds, (h)diodo infrarrojo, (i)bombillo incandescente.

En general el sistema de control e instrumentación con algunas pequeñas modificaciones podría mantenerse para los diferentes tipos de cultivo (abierto o cerrado) y biorreactores, pues los parámetros que fueron supervisados son imprescindibles independientemente del método empleado.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La interactividad de la interfaz de visualización permitió monitorear los valores sensados y controlados en un ambiente cerrado de las microalgas.

La usabilidad de la interfaz permitió la activación y manipulación sin intervención física del usuario y

apropiando el uso de tecnologías de manera sencilla.

El control de parámetros (variables) sobre las microalgas se hace necesario, especialmente, para ambientes con valores extremos de temperatura y deficiencia de luz donde se requiere ejercer un control inmediato con el fin de garantizar la supervivencia de las microalgas.

Se suministró agitación con un compresor a la microalga para evitar que se sedimenten y permitir que todas las células reciban luz durante su crecimiento.

El estudio y trascendencia de los sistemas de control e instrumentación en microalgas tiene muchas aplicaciones en cuanto a solución de aguas contaminadas, residuales, extracción de aceite, uso en acuicultura, proteínas de consumo humano y parte de la dieta sana del consumo humano.

Existen otras variables importantes para mantener las condiciones adecuadas en el cultivo de microalgas, tales como: pH, salinidad, pureza del agua y oxígeno, variables que se puede abordar en un prototipo escalable que cuente con los instrumentos adecuados para la confiabilidad de los datos.

V. REFERENCIAS

- [1] Šoštariè, M.; Golob, J.; Bricelj, M.; Klinar, D.; Pivec, A. (2009) "Studies on the Growth of *Chlorella vulgaris* in Culture Media with Different Carbon Sources," *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, vol. 4, pp. 471-477.
- [2] Ortiz, M.; Cortés, C.; Sánchez, J.; Padilla, J. y Otero, A. (2012) "Evaluación del crecimiento de la microalga *Chlorella sorokiniana* en diferentes medios de cultivo en condiciones autotróficas y mixotróficas," *Orinoquia*, vol. 16, pp. 11-20.
- [3] Loera Quezada, M.M. y Olguin, E.J. (2010) "Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades," *Latinoam Biotecnol Amb Algal*, pp. 91-116.
- [4] Salinas Callejas, E. y Gasca Quezada, V. (2009) "Los biocombustibles," *El Cotidiano*, pp. 75-82.
- [5] Cortés Marín, E.; Suárez Mahecha, H. y Pardo Carrasco, S. (2009) "Biocombustibles y autosuficiencia energética," *Dyna*, pp. 101-110.
- [6] Fernández Linares, L.C.; Montiel Montoya, J.; Millán Oropeza, A. y Badillo Corona, J.A. (2012) "Producción de biocombustibles a partir de microalgas," *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, pp. 101-115.
- [7] Hernández Pérez, A. y Labbé, J.I. (2014) "Microalgas, cultivo y beneficios," *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, pp. 153-173.
- [8] Reverter, F. y Pallás Areny, R. (2005) *Direct Sensor to microcontroller Interface Circuits*, Barcelona, p.71.
- [9] Vargas, J.; López Velásquez, J.A. y Conde Cárdenas, L. (2014) "Sistema de Instrumentación y Control para Tanques de Almacenamiento de Agua Potable," *Revista Ingeniare*, pp.69-84.
- [10] Waring, T. y Maddocks, P. (2005) "Open Source Software implementation in the UK public sector: Evidence from the field and implications for the future," *International Journal of Information Management*, pp. 411-428.
- [11] Plasencia Álvarez, Juan. y Durán Altisent, J.M. (2012) "Cultivo de microalgas (*Chlorella Sorokiniana*) con iluminación mediante LEDs," *Pregrado, Dept. Producción Vegetal. Fitotecnia.*, Univ. Politécnica de Madrid.
- [12] Catalá Esteve, L. (2013) "Contribución al estudio del

crecimiento y las posibilidades del aprovechamiento termoquímico de las microalgas *nannochloropsis gaditana* y *nannochloropsis oculata*,” Ph.D, Instituto de Ingeniería de Procesos Químicos de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante.

- [13] Ortuño Sánchez, M.F.; Gallego Rico, S.; Márquez Ruiz, A.; Beléndez Vázquez, A. y Pascual Villalobos, I. (2016) “Iluminando con LEDs,” Revista Española de Física, pp. 9-12.
- [14] Azúa Barrón, M.; Vázquez Peña, M.A.; Arteaga Ramírez, R. y Hernández Saucedo, R. (2017) “Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino,” Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, pp. 1-12.
- [15] Gavino, S.; Fuertes, L. y Defranco, G. (2012) “Recursos Digitales para el Aprendizaje del Dibujo Tecnológico,” Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, pp. 60-65.

macrypt de la universidad de los Llanos, además ejecuta labores de docencia en la Universidad Cooperativa de Colombia, ha ocupado cargos en el Centro de Investigación, Docencia y Consultoría Administrativa, en el Instituto Insecept, Instituto Politécnico Agroindustrial, Electro Industrial del Meta, Instituto SYSPRO e Instituto Centro de Sistemas. Sus líneas de investigación son: investigación científica aplicada a la ingeniería civil, automatización industrial, instrumentación y sensorica, y TIC en educación.

Ing. Vargas, miembro de la rama IEEE, pertenece a Industry Applications Society. Recibió una Mención de servicios distinguidos por su identidad institucional categoría superior por parte del Centro de Investigación, Docencia y Consultoría Administrativa en el año 2013 y en el año 2006 recibió un reconocimiento por su desempeño docente por parte del Instituto SYSPRO.

VI. BIOGRAFÍA



Quiñones García Ángela María. Nacida en Chaparral, Tolima en Colombia, el 22 de julio de 1996. Es estudiante de noveno semestre de ingeniería Electrónica en la Universidad de los Llanos.

Ella actualmente labora como auxiliar docente de Ecuaciones Diferenciales y es estudiante investigadora del grupo de Estudio EYSI de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad de los llanos en Villavicencio, Meta Colombia. Es investigadora teniendo como temas de interés la Instrumentación Industrial, Automatización, y sistemas de potencia y energía.

Est. Quiñones, miembro de la rama IEEE, pertenece a Industry Applications Society y Power and Energy Society.



Beltrán Cediel Yury Katherine. Nacida en Mariquita, Tolima Colombia, el 15 de mayo de 1996. Es estudiante de noveno semestre de ingeniería Electrónica en la Universidad de los Llanos.

Ella actualmente es estudiante investigadora del grupo de Estudio EYSI de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad de los llanos en Villavicencio, Meta Colombia. Sus temas de interés son automatización e instrumentación industrial y sistemas de potencia y energía.

Est. Beltrán, miembro de la rama IEEE, pertenece a Industry Applications Society y Power and Energy Society.



Vargas Guativa Javier Andrés. Nacido en Villavicencio, Meta Colombia, el 4 de octubre de 1983. Egresado de la Universidad de los Llanos como Ingeniero electrónico en el año 2007 en Villavicencio, Meta Colombia, Especialista en Mecatrónica Industrial de la Universidad Central en el año 2016 en Bogotá, Colombia, Especialista en pedagogía y docencia universitaria de la Universidad la Gran Colombia en el año 2010 en Bogotá, Colombia, obtuvo su grado de Maestría en administración y planificación educativa de la Universidad Metropolitana de Educación Ciencia y Tecnología en el año 2012 en Panamá y actualmente es Candidato a Doctor en ciencias de la Educación en esta misma universidad.

El actualmente labora como profesor investigador del grupo

Automatización de microscopio digital mediante servomotor para autoenfoco

Pablo Reyes¹, Héctor Quiriarte¹, Santiago Tello-Mijares^{1,*}, Jesús Linares¹.

Resumen—Este trabajo presenta la automatización de un microscopio Micro-Science, mediante el diseño en NX y fabricación en torno de un acoplador para un servomotor Power Pro MG995, y lograr el autoenfoco adecuado con el objetivo de capturar imágenes de una muestra biológica. Además se comparan dos de los principales métodos de autoenfoco: utilizando como medida de enfoco la Varianza (V); y como algoritmos de auto-enfoco Búsqueda Global (Global Search, GS) y Búsqueda del pico más alto (Hill climb search, HCS). Presentando mejores resultados el método GS-V.

Palabras claves—Diseño en NX, método de Autoenfoco, Varianza, Búsqueda Global, Búsqueda del pico más alto.

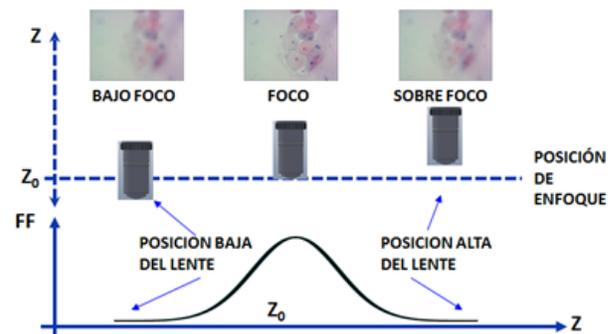


Figura 1. Método de Autoenfoco, posición de la lente del microscopio.

XXII. INTRODUCCIÓN

Un enfoque correcto es una característica esencial de calidad para las imágenes adquiridas en un sistema de visión artificial [1], así como un paso crítico en la captura automática de imágenes microscópicas [2]. El contexto de este trabajo es automatizar un microscopio que capture cientos de imágenes a partir de una muestra de Coprinus mushroom set c.s. [1].

Un método de AF implica dos operaciones: 1) la medida o el valor del nivel de enfoco en una imagen que se evalúa como una función de la posición o separación de la lente, generando así una función de enfoco (FF, Focus Function); 2) el algoritmo de búsqueda que mueve la lente tratando de encontrar el mejor valor de la FF [5] (Figura 1). Los sistemas de AF han sido ampliamente discutidos en las referencias del estado del arte [1, 2, 4]-[22].

Los trabajos desarrollados se han ocupado de lidiar ya sea con la evaluación de diferentes medidas de enfoco [1, 2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15] o determinando los algoritmos de AF óptimos [4, 5, 8, 9, 16, 17, 20, 21, 22]. Algunos de estos trabajos se han centrado en las imágenes microscópicas [1, 2, 6, 7, 10, 11, 18, 19]. Estos trabajos han considerado el movimiento del eje Z en el microscopio para el AF, pero no han tomado en cuenta o discutido la aplicación del escaneo de la lente en los ejes

XY para capturar imágenes de forma secuencial.

La organización de este artículo es: sección 1 se presenta el estado del arte de sistemas autoenfoco para microscopios; en la sección 2 el diseño y fabricación del acoplador, la implementación de los métodos de autoenfoco *Global search* con varianza (GS-V) y *Hill climb search* con varianza (HCS-V); la sección 3 presenta las pruebas y resultados de los métodos de autoenfoco para la adquisición de imagen; y la última sección se presenta la conclusión.

XXIII. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección se describe el trabajo realizado mediante la metodología propuesta: diseño y fabricación del cople para el microscopio y servomotor utilizando NX; algoritmos de AF propuestos *Global Search*-Varianza y *Hill Climb Search*-Varianza.

A. Diseño y fabricación

La Figura 2 muestra el acoplador diseñado en el software Siemens NX, en este estudio se propone maquinar la pieza en nylon por la facilidad de maquinado y resistencia a la torsión, el código G de maquinado fue tomado del mismo software arriba mencionado, en la Figura 3 se puede ver el diseño de la pieza y el montaje de la misma en el microscopio así como la unión con el servomotor, se realizaron las pruebas correspondientes y el resultado se puede ver en la Figura 4, el microscopio ya armado con el servomotor.

¹Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, 35150 Cd Lerdo, Durango, México. * jtello@itslerdo.edu.mx.

B. Sistema de intercomunicación

La Figura 5 muestra el sistema para adquirir y posicionar el servo con Arduino. La intercomunicación se lleva a cabo de la siguiente manera: la computadora se comunica al Arduino; el Arduino le manda una señal al servomotor; el Servomotor mueve la lente del microscopio; la cámara obtiene una imagen; la cámara que está conectada a computadora, esta analizará la imagen; analizada la imagen se repite el proceso hasta obtener una mejor imagen, o sea una Nueva Varianza que sería su valor máximo de esta.

C. Función de enfoque

Las medidas de enfoque o funciones reportadas en el estado del arte incluyen diferenciación de imagen, profundidad de picos y valles, contraste de la imagen (enfoques estadísticos), basado en el histograma y las medidas de correlación, como se explica en [2, 7, 8]. De acuerdo con el dominio, las medidas de enfoque también se pueden dividir en medidas espaciales y de frecuencia. Las medidas espaciales incluyen operador Laplaciano, operador de Sobel, y enfoques estadísticos, que pueden determinar la nitidez con respecto a la información de borde o magnitud del gradiente de la imagen. Y las del dominio en la frecuencia, se puede incluir la Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés), la DCT, o la Transformada Discreta Wavelet (DWT, por sus siglas en inglés), que pueden determinar la nitidez mediante la evaluación de los componentes de alta frecuencia de la imagen [9].

En este trabajo se propone analizar el comportamiento de la mejor y las más referenciada medida o función de enfoque en el dominio espacial, la varianza. Que cumple con las propiedades deseables de las funciones de enfoque: el valor máximo corresponde a la mejor posición de enfoque, a ambas no les afecta casi ningún máximo local y ruido, y son bastante robustas ante la variación de la textura en el objeto de análisis [10].

La Varianza (2) es una función estadística básica que evalúa la varianza de la luminancia en la imagen con respecto a su valor medio (1). En [11] se evaluaron 11 funciones que se centran en el análisis de una cuadrícula en un microscopio electrónico, evalúan las 11 funciones en base a la anchura del pico y el valor máximo y NV logra los mejores resultados. En [7] realizan una comparación de 13 funciones de enfoque diferentes para evaluar la nitidez o el contraste, se encontró que la auto-correlación y NV fueron medidas de enfoque óptimas para aplicaciones de microscopía de fluorescencia.

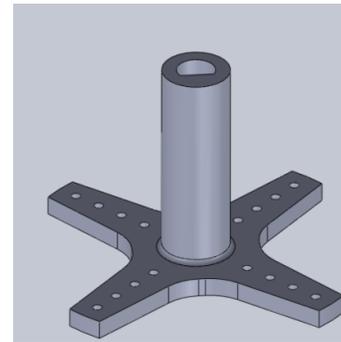


Figura 2 Pieza propuesta

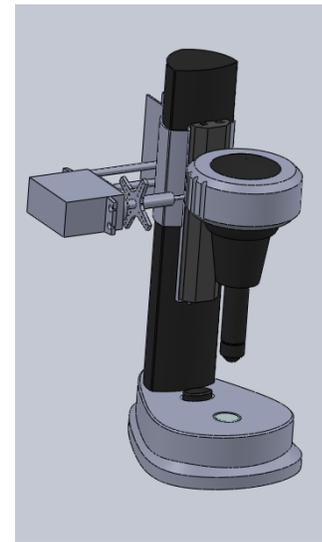


Figura 3 Montaje de pieza



Figura 4. Microscopio.

$$\mu = \frac{1}{HW} \sum_{x=1}^H \sum_{y=1}^W (i(x,y)) \quad (1)$$

$$NV = \frac{1}{HW\mu} \sum_{x=1}^H \sum_{y=1}^W (i(x,y) - \mu)^2 \quad (2)$$

En [2] comparan 16 medidas de enfoque que se centran en enfocar una imagen de 10 frotis de muestras de sangre y muestras de Papanicolaou (que está cerca de nuestro dominio de aplicación), concluyendo que la varianza de imagen posee el mejor rendimiento general y sugiriendo que la Varianza normalizada sería la medida de enfoque óptimo para todas las aplicaciones de microscopía. En la misma dirección, [12] informa que de un estudio exhaustivo comparando 18 medidas de enfoque, la Varianza normalizada proporciona el mejor rendimiento global, y [13] llegó a la conclusión que la varianza presentó un mejor poder de discriminación y un mayor rango de posibles valores, siendo una magnitud o medida más interesante para la determinación de enfoque.

D. Algoritmos de enfoque

Ahora se discutirá sobre los dos algoritmos de auto-enfoque BSA, en base al funcionamiento de la función de enfoque con respecto a la posición de la lente. Básicamente los algoritmos BSA se pueden dividir en los de búsqueda global y los algoritmos de cadenas numéricas. Todos ellos asumen de alguna manera que a pesar de que la medida enfoque óptimo en el enfoque automático (tipo pasivo) que los algoritmos BSA dependen no sólo de las características de la cámara, sino también del objeto de la imagen que se está analizando [19], en general, un máximo de la función de enfoque se produce en la posición central de la lente (Z0) discutido en [20].

Búsqueda Global (GS): Este es el algoritmo BSA más intuitivo. El algoritmo GS primero mueve la lente hasta una posición límite predeterminada, que otorga una imagen borrosa, a continuación, la lente se mueven en el eje Z por el servomotor hasta el otro extremo, mientras que la función de enfoque se calcula para cada paso o posición. Finalmente, la lente vuelve a la posición para la cual la función de enfoque se corresponde con el nivel óptimo de enfoque, es decir, a su máximo. La principal ventaja es que no hay posibilidad de obtener falsamente un máximo local, ya que todas las posiciones de enfoque se examinan [21].

En la Figura 6 se observa el funcionamiento del método implementado: en el primer paso verifica que la cámara se

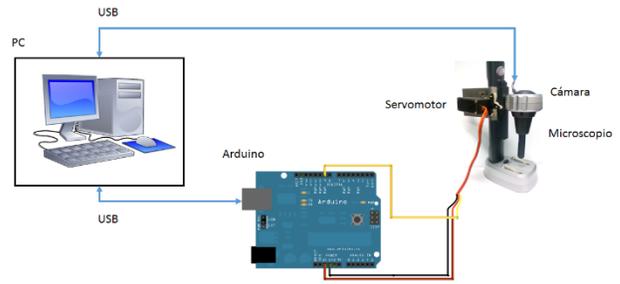


Figura 5. Sistema de intercomunicación.

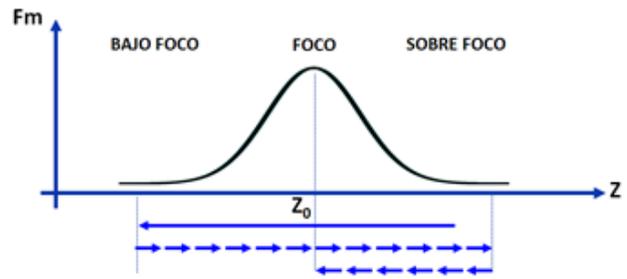


Figura 5. GS-V.

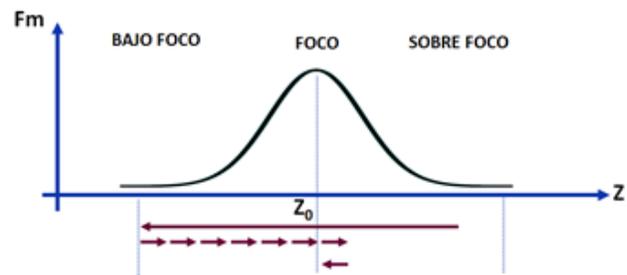


Figura 6. HCS-V.

encuentre encendida, de no estarlo envía un mensaje para que se encienda; el segundo paso para este método fue posicionar el servo a 50 grados, medir la función de enfoque mediante la varianza NV, y graficar, además de tomar el valor de NV como medida inicial del valor máximo; el siguiente paso es que entra a un ciclo for para mover el servo de la posición 70 grados a 110 grados; en cada paso o iteración se moverá el servo, se obtendrá el valor de NV, y se graficará, además se realizará una comparación entre el valor actual de la varianza NV y el valor anterior máximo NVmax; si este nuevo valor de NV es mayor que el anterior valor NVmax toma el valor de la varianza; una vez terminado este ciclo for el siguiente paso es regresar a buscar la imagen mejor enfocada utilizando otro ciclo for para encontrar nuevamente el valor máximo NVmax.

Las desventajas son que el tiempo de búsqueda es demasiado largo y, más crítica, que el enfoque habitual para asignar valores de la función de enfoque con la

posición de la lente y, finalmente, se mueve la lente a la posición de la máxima función de enfoque que conduce a imprecisiones, como la posición almacenada podría no corresponder a la mejor imagen enfocada, debido al efecto de la vibración en configuraciones de alta magnificación de rango medio.

Búsqueda del Pico de Mas Alto (HCS): Se desarrolló para la búsqueda rápida, se puede encontrar como HCS [10], Búsqueda del Pico (PS, por sus siglas en inglés) [17] o Búsqueda del Escalón Subida (MCS, por sus siglas en inglés) [23], Búsqueda Modificada del Pico de Subida Rápido (CS, por sus siglas en inglés) [24]. Similar a GS, primero mueve la lente hasta el límite de una posición predeterminada, y a continuación se inicia la búsqueda y la evaluación de la función de enfoque, suponiendo que esta función es creciente, y tan pronto como la función disminuye, se detiene la búsqueda y vuelve a la posición del máximo valor de la función de enfoque.

En la Figura 7 se observa el funcionamiento del método HCS implementado: en el primer paso verifica que la cámara se encuentre encendida, de no estarlo envía un mensaje para que se encienda; el segundo paso para este método fue posicionar el servo a 50 grados, medir la función de enfoque mediante la varianza NV, y graficar, además de tomar el valor de NV como medida inicial del valor máximo; el siguiente paso es que entra a un ciclo for para mover el servo de la posición 70 grados a 110 grados; en cada paso o iteración se moverá el servo, se obtendrá el valor de NV, y se graficará, además se realizará una comparación entre el valor actual de la varianza NV y el valor anterior máximo NVmax; a diferencia del método GS aquí se hace un análisis de la curva mediante la diferencia entre la varianza actual y el valor máximo de la varianza anterior (DIFF=NV-NVmax), esta diferencia sirve para saber cuándo la curva empieza a decaer; si este valor DIFF es menor que 10 entonces se rompe el ciclo for y empieza el nuevo ciclo; siendo el siguiente paso regresar a buscar la imagen mejor enfocada utilizando otro ciclo for para encontrar nuevamente el valor máximo NVmax.

El inconveniente, como se esperaba, es que la forma de la función podría no ser la media máxima debido al *backlash*.

XXIV. RESULTADOS

El experimento realizado consiste en la prueba de los 2 métodos de AF, para una muestra de portaobjetos de Coprinus mushroom set c.s.

Los resultados para cada operación de enfoque y método incluyen la imagen final enfocada, que es generalmente diferente para cada método, la evolución de la posición del eje Z en la lente y el valor de la función de

enfoque cuando el servomotor mueve la lente.

La Figura 6 y Figura 7 ilustran la evolución para cada uno de los métodos específicos de enfoque analizados mediante la Interfaz gráfica desarrollada, que son 2 métodos de enfoques consecutivos en el eje Z: para cada paso del servomotor la primera fila muestra la posición de la lente de Z; la segunda fila de gráficas es utilizando la Varianza como función de enfoque, estas muestras el valor de la función de enfoque (FF Value) a lo largo del autoenfoco. Con el fin de comparar de manera justa, anterior a cada operación de enfoque, la lente es posicionada en una posición fija mediante el servo (POS=50).

La Tabla 1 incluye los resultados cuantitativos para las 10 operaciones obteniendo las 20 imágenes enfocadas.

Con el fin de evaluar la calidad final de la imagen enfocada se evalúa su valor medio (STD μ) y la desviación (STD σ). También se muestra la longitud de la trayectoria recorrida por la lente (ΔZ) para cada método, y el valor de la función de enfoque de la imagen enfocada finalmente adquirida.

Los datos del cuadro indican: que el algoritmo de GS obtiene los resultados más precisos y estables (véanse las dos primeras columnas); que la medida NV funciona bien para obtener imágenes con un contraste máximo; que el algoritmo HCS es más rápido, pero también el menos preciso.

TABLA 1
MEDIA DE LOS RESULTADOS POR CADA MÉTODO AF.

MÉTODO	Media del valor final de los resultados				
	STD μ	STD σ	NS	ΔZ	FF
GS-V	0.9141	0.1348	316.38	1261.52	0.8408
HCS-NV	0.8677	0.1721	131.4	521.6	0.6965

XXV. CONCLUSIÓN

En conclusión, se describe dos métodos de AF para capturar automáticamente las secuencias de imágenes enfocadas de microscopios. Los métodos utilizan la medida de enfoque con dos algoritmos de búsqueda que almacena la mejor imagen mejor enfocada ya que revisa el eje Z con velocidad constante y precisa gracias a la aplicación del servomotor, por lo tanto, logrando la preservación de los dispositivos mecánicos y evitando el efecto de la vibración en configuraciones de alta magnificación de rango medio, incluyendo como resultado la prevención del efecto de backlash en el eje Z ya que es el de mayor impacto para el uso posterior de las imágenes adquiridas.

XXVI. REFERENCIAS

- [52] Redhead SA, Vilgalys R, Moncalvo J-M, Johnson J & Hopple, JS Jr. *Coprinus Pers. and the disposition of Coprinus species sensu lato*. *Taxon* 50(1): 203-241. 2001.
- [53] Liu, X. Y., Wang, W. H., & Sun, Y. (2006, August). Autofocusing for automated microscopic evaluation of blood smear and pap smear. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 4718-4721). IEEE.
- [54] Geusebroek, J. M., Cornelissen, F., Smeulders, A. W., & Geerts, H. (2000). Robust autofocusing in microscopy. *Cytometry*, 39(1), 1-9.
- [55] Plissiti, M. E., Nikou, C., & Charchanti, A. (2011). Automated detection of cell nuclei in Pap smear images using morphological reconstruction and clustering. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 15(2), 233-241.
- [56] Luo, J., Sun, L., Wu, K., Chen, W., & Fu, L. (2010). Multi-parameter fusion algorithm for auto focus. *Chinese Optics Letters*, 8(6), 580-583.
- [57] Chang, C. H. (2005). *Auto Focus Using Adaptive Step Size Search and Zoom Tracking Algorithm*. Doctoral dissertation, Master Thesis, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University.
- [58] Santos, A., Ortiz de Solorzano, C., Vaquero, J. J., Pena, J. M., Malpica, N., & Del Pozo, F. (1997). Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis. *Journal of Microscopy*, 188(3), 264-272.
- [59] Liu, X. Y., Wang, W. H., & Sun, Y. (2007). Dynamic evaluation of autofocusing for automated microscopic analysis of blood smear and pap smear. *Journal of microscopy*, 227(1), 15-23.
- [60] Chen, C. Y., Hwang, R. C., & Chen, Y. J. (2010). A passive auto-focus camera control system. *Applied Soft Computing*, 10(1), 296-303.
- [61] Choi, K. S., Lee, J. S., & Ko, S. J. (1999). New autofocusing technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 45(3), 820-827.
- [62] Groen, F. C., Young, I. T., & Lighthart, G. (1985). A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms. *Cytometry*, 6(2), 81-91.
- [63] Sun, Y., Duthaler, S., & Nelson, B. J. (2005, August). Autofocusing algorithm selection in computer microscopy. In *Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 70-76). IEEE.
- [64] [13] Fernández, P. R., Lázaro, J. L., Gardel, A., Cano, Á. E., & Bravo, I. (2009). A Focusing Method in the Calibration Process of Image Sensors Based on IOFBs. *Sensors*, 10(1), 47-60.
- [65] Baina, J., & Dublet, J. (1995, July). Automatic focus and iris control for video cameras. In *Image Processing and its Applications, 1995., Fifth International Conference on* (pp. 232-235). IET.
- [66] Char, M., Nyeck, A., & Tossier, A. (1991). Focusing criterion. *Electronics Letters*, 27(14), 1233-1235.
- [67] Lee, S. Y., Park, S. S., Kim, C. S., Kumar, Y., & Kim, S. W. (2006, January). Low-power auto focus algorithm using modified DCT for the mobile phones. In *Consumer Electronics, 2006. ICCE'06. 2006 Digest of Technical Papers. International Conference on* (pp. 67-68). IEEE.
- [68] Xu, X., Wang, Y., Tang, J., Zhang, X. & Liu, X. (2011). Robust automatic focus algorithm for low contrast images using a new contrast measure. *Sensors*, 11(9), 8281- 8294.
- [69] Zhao, Q., Luo, X., Zhou, N., & Wu, J. (2012). Multiple and color images compression-encryption schemes with balanced qualities based on the multiple-order discrete fractional cosine transform. *Chinese Optics Letters*, 10(s1), 11006.
- [70] Subbarao, M., & Tyan, J. K. (1998). Selecting the optimal focus measure for autofocusing and depth-from-focus. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 20(8), 864-870.
- [71] Lin, K. C. (2010). Microscopic autofocusing using regional monotonous variations of multiple focal value measures. *Journal of Electronic Imaging*, 19(2), 023012- 023012.
- [72] Russell, M. J., Bester, A. & Douglas, T. S. (2005). Autofocusing a smart microscope for the detection of tuberculosis in sputum smears. *Proceedings of the Sixteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa*, 183-191.
- [73] Kehtarnavaz, N., & Oh, H. J. (2003). Development and real-time implementation of a rule-based auto-focus algorithm. *Real-Time Imaging*, 9(3), 197-203.
- [74] Ooi, K., Izumi, K., Nozaki, M., & Takeda, I. (1990). An advanced autofocus system for video camera using quasi condition reasoning. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 36(3), 526-530.
- [75] He, J., Zhou, R., & Hong, Z. (2003). Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching technique for digital camera. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 49(2), 257-262.

XXVII. BIOGRAFÍA

Pablo Reyes. Es alumno de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Lerdo, México. Actualmente se encuentra realizando su residencia profesional como diseñador industrial para la empresa Industrias de Linamar S.A. de C.V., Gómez Palacio, Durango, México. Su interés está en el diseño industrial y la manufactura avanzada.

Héctor Quiariarte. Estudió en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica desde septiembre de 1985 hasta junio de 1990, obtuvo el grado en Ingeniería Eléctrica y Mecánica en abril de 1992. Actualmente cursa la especialización Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Participo en el desarrollo de proyectos de fuente de alimentación y de una impulsión de la velocidad de la corriente directa para motores de la corriente directa. Actualmente es profesor de inglés en la escuela primaria Ricardo Flores Magón.

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

Jesús Linares. Recibió su grado de Ingeniero Industrial en Producción del IITL, Torreón Coahuila, México. Actualmente trabaja en la obtención del grado de la maestría en ciencias de Ingeniería Industrial del IITL. Tiene el puesto de profesor investigador titular A del departamento de Ingeniería Industrial en el ITSL, Lerdo Durango, México. Ha sido asesor de titulación desde 2002 a la fecha y coordinador interno CACEI. Su interés está en la Manufactura avanzada.

Balanceo de líneas en Servicio de Partes-Prototipos aplicando List-Scheduling

A solicitud de la empresa, este artículo ha sido eliminado

Evaluación y Caracterización de molinetes con LabView

J. Martínez-Navarro

Resumen—En este documento se trata de mostrar como objetivo principal la forma como se realizan las caracterizaciones de medidores de flujo conocidos como molinetes electromecánicos y la evaluación de equipos electrónicos con display los cuales son utilizados para medir la velocidad y calcular el gasto en canales abiertos y ríos, para realizar el cobro del agua a los usuarios que utilizan canales de riego para regar sus áreas de agricultura.

Cuando se mide la velocidad en los ríos y el gasto tiende a provocar un desbordamiento, esta información de velocidad y gasto permite tomar decisiones preventivas en caso de una posible inundación.

También se menciona de este sistema la aplicación en la evaluación de equipos, medidores de flujo los cuales tienen una tecnología actualizada y proporcionan la velocidad directamente en un display, por lo que se requiere de verificar su comportamiento antes de aplicarlos en el campo.

Para realizar este modelo se tomaron en cuenta las necesidades que tenía el cliente, analizar las diferentes opciones para cumplir con los requerimientos solicitados, que estuviera de acuerdo el cliente y establecer un cronograma de trabajo.

Con esto se logró un canal anular que funciona en forma automatizada y después se comparó los resultados obtenidos de diferentes medidores de flujo, con un Laboratorio de Canadá acreditado con lo cual se dio por bueno el modelo de caracterización, ya que los resultados eran muy similares.

Palabras claves— Molinete, Caracterización, Labview, Aforo de ríos.

Abstract— This paper aims to show the main purpose of the characterization of flow meters known as electromechanical windlasses and the evaluation of electronic equipment with display which are used to measure the velocity and calculate the expenditure on open channels and rivers, to collect water from users who use irrigation canals to irrigate their agricultural areas.

When speed is measured in the rivers and the expense tends to cause an overflow, this information of speed and expense allows to make preventive decisions in case of a possible flood.

Also mentioned of this system is the application in the evaluation of equipment, flow meters which have an updated technology and provide the speed directly in a display, so it is necessary to verify their behavior before applying them in the field.

In order to carry out this model, the client's needs were taken into account, the different options were analyzed to meet the requirements, the customer was in order and a work schedule was established.

This achieved an automated annular channel and then compared the results obtained from different flow meters, with an accredited Canada Laboratory, which gave a good characterization model, since the results were very similar.

Keywords— Mechanical Windlass, Characterization, Labview, Capacity of rivers or channels.

XXXV. INTRODUCCIÓN

El agua ha representado un factor imprescindible para todo ser viviente en este planeta y se utiliza en el hogar, comercio, en la industria y sobre todo en la agricultura.

Hace algunos años la caracterización de estos medidores se realizaban en un canal recto, ante la desaparición de las instalaciones, el IMTA propuso la construcción de un canal anular, el cual ante la gran demanda fue necesario aplicar las herramientas de computación, para realizar estas caracterizaciones y evaluación de medidores de flujo, que cuentan ya con contadores electrónicos. Estas caracterizaciones deberían ser con el mínimo error posible, o sea con una alta precisión y en forma rápida.

En este sentido, se desarrolló el interfaz gráfica para el canal anular para alcanzar el objetivo deseado de las caracterizaciones con un error mínimo, ya que se ha podido comprobar, que no es más del 1%. Aprovechando la infraestructura del sistema también, se aplica en la evaluación de equipos de medición de flujo, los cuales son utilizados por empresas particulares para realizar aforos en canales abiertos y ríos.

XXXVI. DESARROLLO DEL SISTEMA

Para llevar a cabo el desarrollo del interfaz gráfica fue necesario tomar en cuenta la información que manejaba

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnauac 8532 Col. Progreso C.P. 62550 Jiutepec Morelos.

² javiermn@tlaloc.imta.mx.

cada uno de los mecanismos, listar las partes que estarían dentro del sistema y en consecuencia definir el interfaz gráfica:

Conceptos

Los molinetes son sistemas electromecánicos [6] utilizados para medir la velocidad del flujo del agua, consisten en un sistema de 6 conos o copas ver Figura 1, los cuales son impulsados por el flujo del agua.

Internamente tienen un mecanismo de espirales que se cierra por cada vuelta completa que da el disco de copas. Dado su carácter mecánico, cada molinete tiene su propia característica de respuesta.

La señal de los molinetes sería transmitida desde los brazos hacia la caseta de control por medio de escobillas colocadas en el eje central



Figura. 1. Medidor de velocidad electromecánico modelo Price

En la Figura 2 se muestra el esquema completo del sistema.

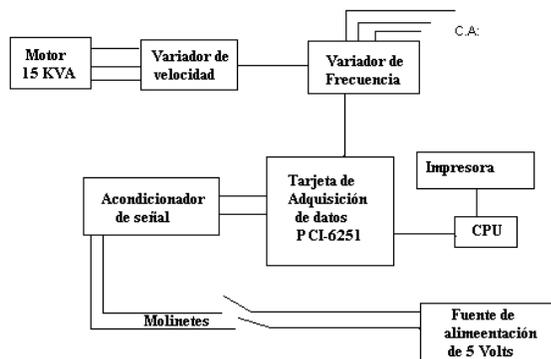


Figura 2.- Esquema del sistema.

Componentes involucrados

En seguida se hace una descripción de cada uno de ellos:

A. Tarjeta DAQ

Es una tarjeta PCI 6251 de multifunción analógica, digital, de entrada y salida de tiempo, puede ser usado para automatización de máquinas y control de procesos monitoreo de equipos de niveles y control de instrumentación electrónica.

La tarjeta se instala dentro de la computadora en uno de los SLOTS y se configura vía de interfaz gráfica y la conexión de jumper según las condiciones que el usuario requiera.

Cuenta con librerías para facilitar la comunicación que son necesarios para medir las señales. sección puede tener tantas subsecciones como sea conveniente

Es una tarjeta de multifunción analógica, digital, de entrada y salida de tiempo, puede ser usado para automatización de máquinas y control de procesos monitoreo de máquinas de niveles y control de instrumentación electrónica.

La tarjeta se instala dentro de la computadora en uno de los SLOTS y se configura vía de interfaz gráfica y la conexión de jumper según las condiciones que el usuario requiera.

Cuenta con librerías para facilitar la comunicación que son necesarios para medir las señales.

B. Variador ABB

El variador de frecuencia con capacidad de 1 a 75 HP, cuenta con un display y unas llaves para control del panel, también con un menú donde es opcional el manejo, ya sea en forma manual o automática

Un puente de diodos convierte la potencia casi enteramente en potencia activa El factor potencia de desplazamiento es aproximadamente mayor de 0.98 prescindiendo de la velocidad o carga de los motores conectados.

Una tarjeta del control del motor maneja la etapa inversora y monitorea la operación del ACS 500.

Esto contiene un panel de control de un display [2] con un teclado. Un bloc de terminales para conexiones de control externo es también localizado en la tarjeta de la interfase de control.

La tarjeta interfaces de control comúnmente es conectada a la tierra del chasis a través de una resistencia de 10 Megohms.

C. Computadora

La cual es una estación de trabajo nos permite correr el programa desarrollado en Labview 16 y conectar la tarjeta de adquisición de datos PCI - 6251.

D. Tarjeta DAQ de acondicionador de señal

Fue necesario considerar una tarjeta que filtrara [5] la señal del molinete debido a que es muy ruidosa, como se muestra en la f Figura 3.

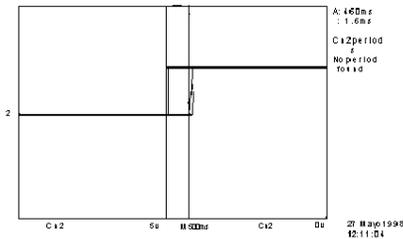


Figura 3.- Señal ruidosa del medidor de flujo

Por lo que se colocó un filtro y una protección antes del circuito de PCI por medio de un opto acoplador

E. Fuente de alimentación

La fuente de 5 volts 0.5 Amper es para alimentar la señal a los medidores de flujo.

F. Caja de velocidades

Se integró una caja de velocidades de auto, que esta armada a base de engranes y que por su estructura nos permite controlar el movimiento del motor de 15 kv.

III REQUERIMIENTOS DEL INTERFAZ GRÁFICA

A. Pedir una identificación

B. Presente un menú de opciones ver Figura 4.

- Caracterizar
- Consulta de base de datos
- Dar de baja o alta
- Registrar cada caracterización

C. Realizara el proceso de caracterización, filtrando la señal

D. Llevar a cabo los cálculos necesarios

E. Obtener la ecuación de caracterización

F. Resultados

- Datos del cliente
- Gráfica del resultado
- Tabla para el cálculo directo para vadeo y para cable.

El interfaz gráfica se realizó en ambiente del LabView 16 consiste [1] en aproximadamente 74 subrutinas y el cual se presenta en seguida.



Menú principal

A. Proceso de caracterización

En donde se le asigna clave, No. de registro y se va interactuando con diferentes pantallas realizando lo siguiente:

- a) Se ingresa a una base de datos donde se puede seleccionar el expediente de un molinete ya calibrado, o se puede dar de alta uno nuevo.
- b) Se proporcionan los datos del molinete nuevo y datos del mantenimiento y fecha de ingreso.
- c) Da una carátula para actualizar los datos de la ecuación de ajuste, con los 12 rangos de velocidad, numero de pruebas y cuantos segundos por prueba dice que tarda.
- d) Si tenemos otro molinete si es (no) pasa a la carátula donde vaciara la información.
- e) Al iniciar empieza la actualización de datos de numero de pulsos en los 12 rangos de velocidad en m/s que son: 0.148, 0.402, 0.530, 0.657, 0.912, 1.167, 1.422, 1.676, 1.931, 2.186, 2.441 y 2.696.
- f) Una vez que se termina el recorrido de las 12 velocidades, se le da Aceptar datos y se imprime, se obtienen cuatro hojas que contienen lo siguiente:

Hoja 1 Datos del cliente, mantenimiento realizado, datos de la ecuación y personas responsables del servicio.

Hoja 2 Valores de los parámetros (m), (b) de la ecuación y su gráfica la cual se muestra en la Figura 5.

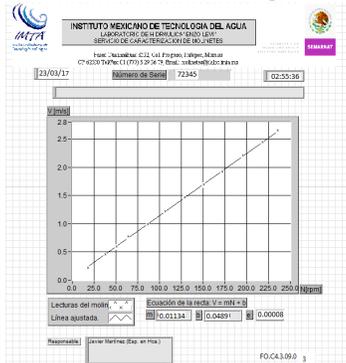


Figura. 5 Gráfica de caracterización de un molinete

Hoja 3 Tabla ya calculada para aplicarla directamente en el campo y obtener la velocidad, para el caso de vadeo con varilla.

Hoja 4 Tabla para vadeo con cable en suspensión la cual tiene un factor de corrección por las condiciones en que se lleva a cabo el aforo.

La ecuación que nos permite calcular las tablas de hojas tres y cuatro son en base a la ecuación (1) obtenida por el sistema y es la siguiente:

$$V = m N + b \tag{1}$$

- V = velocidad
- m = pendiente
- N = Revoluciones/tiempo
- b = constante

B. Configurar Sistema

Con esta opción se varían los datos de los rangos de velocidad y tiempo de aviso de error.

C. Consulta de información

Con esta opción se puede ver información de molinetes calibrados y editarlos e imprimirlos nuevamente.

D. Generar reporte anual

E. Salir del sistema

Se termina toda la sesión.

IV EVALUACIÓN DE MEDIDORES DE FLUJO

La evaluación de medidores de flujo en la actualidad se requiere, ya que se han introducido en el mercado medidores de flujo con otro tipo de tecnologías como son;

electromagnéticos, de Propela, Ultrasónicos los cuales se requiere verificar su funcionamiento periódicamente ya que son aplicados para la medición de velocidad y cálculo del gasto en Tuberías, Canales y ríos.

La forma de verificarlos es comparando sus lecturas de velocidad que dan en su display contra lo que nos da el sistema en las velocidades ya programadas mencionadas anteriormente.

Con los datos obtenidos se llena un reporte con lo cual el cliente comprueba que su medidor de flujo está trabajando correctamente.

En seguida se muestra tipos de equipos que se han evaluado y sus características.



Figura 7. Medidor Global Water

Con este medidor Figura 7 se puede medir velocidad [4] de corrientes en ríos, canales y laboratorios. La unidad está integrada con un LECTOR digital a prueba de deshechos, varilla telescópica y almacenamiento de mediciones (dataloger). lecturas de velocidad en pie/s, m/s.

Los rangos de velocidad que se pueden medir son de 0.1 a 6.1 M/s.



Figura 8. Medidor OTT con molinete horizontal

Este medidor de flujo funciona por medio [3] de un reed swich integrado en el cuerpo del molinete, tiene una forma aérea dinámica para ofrecer menos resistencia al paso del agua construido de latón y cuenta con una hélice, como se

ve en la Figura 8. Los impulsos generados son prácticamente sin potencia y para generarlos está colocado un imán por lo cual en cada vuelta que da la hélice, proporciona un pulso, dicho generador está montado en forma hermética al agua y a la presión. Esto garantiza mediciones exactas, incluso en aguas contaminadas y químicamente agresivas.

La tensión aplicada al molinete no debe exceder de 9 volts., los rangos de medición son de (0.1 a 10 m/s).

Cuenta con su contador electrónico teniendo el display una resolución de milésimos, se alimenta con una batería de 9

zumbador.

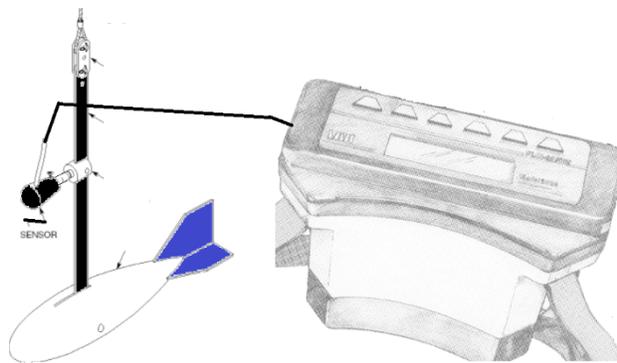


Figura. 8 Medidor MARSH-McBIRNEY con molinete electromagnético

Este medidor de Figura 8 funciona en forma electromagnética, [5] los rangos de velocidad son de (0 a 6 m / s) es posible medir el nivel donde se está midiendo, lo realiza por medio de un diafragma y mide Presión absoluta, los rango son de (0 a 3.05 m.), nivel mínimo de agua es de 3.18 cm, las dimensiones del sensor son (11,9 cm de largo x 4,3 cm de ancho x 6,3 cm de altura), la máxima longitud del cable varía hasta 30.5 m., el tipo de batería que usa son de Litio y son recargables, dura hasta 18 horas o 6 periodos de una hora de uso continuo, consta de un display que es legible bajo la luz del sol directa.

V RESULTADOS

El sistema completo se muestra en Figura 6 en la parte central se encuentra el motor que es controlado por el variador de frecuencia, en los extremos son colocados los equipos para obtener su caracterización o evaluación todo

esto control se realiza desde una caseta donde esta toda la instrumentación electrónica, computadora e impresora donde se obtienen los documentos requeridos.



Figura. 6 Canal para caracterizar ó evaluar medidores

Este modo de realizar caracterizaciones por medio del canal anular no es común, sin embargo los resultados se han comparado con las caracterizaciones de un laboratorio certificado internacionalmente, como es el laboratorio de Canadá Centre for Inland Waters obteniendo resultados semejantes. Como se muestra en la figura 7.

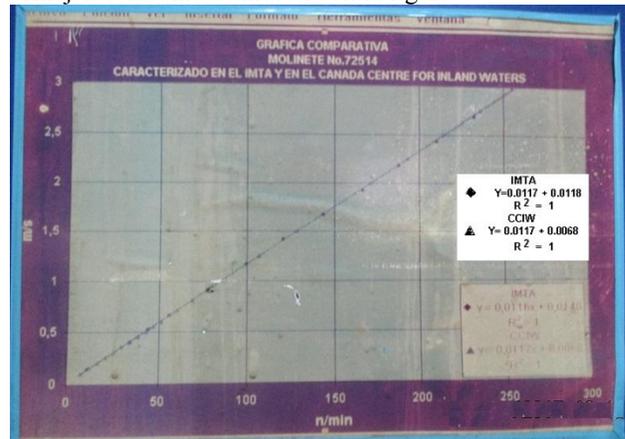


Figura. 7 Comparación de caracterizaciones del canal anular contra el Laboratorio Canadá Centre for Inland Waters.

Con lo que podemos decir que este interfaz gráfica está operando dentro de las condiciones aceptables por lo que se tratara de lograr la certificación de todo el Sistema.

VI. CONCLUSIÓN

El desarrollo de este interfaz gráfica es una innovación de la tecnología para caracterizar y evaluar medidores de flujo en tiempos cortos y con mayor precisión y confiabilidad.

Con este sistema a la fecha se han caracterizado más de 11000 medidores de flujo y evaluado 250.

Con esto se cumple el objetivo de lograr caracterizaciones de alta precisión y en menor tiempo y la verificación de medidores de flujo que cuentan con nuevas tecnologías.

Este modo de realizar caracterizaciones por medio del canal anular no es común, sin embargo, los resultados se han comparado con las caracterizaciones de un laboratorio certificado internacionalmente, como es el laboratorio de Canadá Centre for Inland Waters obteniendo resultados semejantes.

Con lo que podemos decir que este interfaz gráfica está operando dentro de las condiciones aceptables por lo que se tratara de lograr la certificación de todo el Sistema.

VII. REFERENCIAS

- [83] National Instrument G Programing Reference Manual. 1998. AUSTIN, TEXAS,
- [84] ABB Ajustable frequency ENE-1995. México. Páginas 2.5. – 4.2
- [85] Representaciones Mexicanas de Maquinaria y Equipo Instrucciones de manejo de Molinete Universal C31. Abr-1997. Páginas 2 - 10
- [86] Global Water Manual de usuario 1999, Páginas 14 -18.
- [87] MARSH-McBIRNEY Manual de Instrucciones de medidor de flujo Modelo 2000 -1990 Meryland Páginas 2 - 8
- [88] .SOMI XIII OCT-1998 Congreso instrumentación Página 64

VIII. BIOGRAFÍA



Martínez Navarro Javier, México D.F., 27 de octubre de 1944.

Ing. En Comunicaciones y Electrónica, ESIME, México D.F, 1969.

Maestría en Computación CINVESTAV, México D.F, 1982.

Maestría en Mecatrónica, Universidad del Sol, Morelos, México, 2010.

El actualmente labora en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en Jiutepec Mor. México se ha dedicado a la verificación y mantenimiento de medidores de flujo e investigación sobre la instrumentación aplicada.

El a participado como ponente en varios congresos dentro de estas investigaciones a obteniendo a la fecha el reconocimiento de un Módulo de Utilidad aplicado a las mediciones de flujo.

Manipulación de entradas y salidas digitales del servo amplificador Ultra 3000 de Allen Bradley usando MatLab y Arduino.

J.E Tarango Hernández¹, N. Alvarado Tovar², V. E. Manqueros Áviles³

Resumen— Este artículo presenta la metodología por medio de la cual se puede manipular las entradas y salidas digitales de un servoamplificador ultra 3000 de la marca Allen Bradley para el movimiento de un servomotor de la misma marca. Parte de este trabajo es el desarrollo de una GUI en Matlab que en conjunto con Arduino enviará – recibirá las señales digitales de las entradas y salidas del servo amplificador, y de esta manera poner en funcionamiento un servo motor. Para la interacción entre Arduino y el servo amplificador, se desarrolló una etapa de acondicionamiento.

Palabras claves— Matlab, servomotor, servoamplificador, Arduino.

Abstract— This article presents the methodology by means of which the digital inputs and outputs of a Ultra 3000 servo amplifier of the Allen Bradley can be manipulated for the movement of a servomotor of the same brand. Part of this work is the development of a GUI in Matlab that in conjunction with Arduino will send - receive the digital signals of the inputs and outputs of the servo amplifier, and in this way start a servo motor. For the interaction between Arduino and the servo amplifier, a conditioning stage was developed.

Keywords— Matlab, servomotor, servoamplificador, Arduino.

XXXVII. INTRODUCCIÓN

Dada la importancia de los servomotores no solo en el ámbito industrial, sino también en la docencia e investigación, es importante que las universidades cuenten con plataformas o prototipos que contengan este tipo de dispositivo que permitan un mejor desempeño en todos los ámbitos.

Matlab y Arduino son plataformas de software y hardware ampliamente utilizadas en área educativa e investigación, que en conjunto pueden interactuar para el

manejo de hardware más especializado como los servosistemas empleados en la industria.

El control de un servo sistema es uno de los más importantes y ampliamente utilizados sistemas de control, cualquier maquina o pieza de un equipo que tenga partes giratorias, contendrá uno o más sistemas de control [1]. Los servomotores son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales, educativas y de investigación. Por ejemplo, para el desarrollo de un prototipo de maquina cosedora de bolsa trasera [2], alimentador para prensa automática [5] y para una estación de trabajo educativa [4], en las que se emplearon servo amplificadores Ultra 3000 de Allen Bradley. En el desarrollo de un prototipo que se han empleado para desarrollar un prototipo de mesa cortadora de plasma se emplearon servo amplificadores SureServo de Automation Direct [5]. Mientras que para el control de movimiento de un robot paralelo de 3 grados de libertad se emplearon servo amplificadores ServoStar 603 de Kollmorgen [6].

El Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) cuenta con algunos servos sistemas, por ejemplo de la marca Allen Bradley, sin embargo no se tiene una plataforma completa que involucre estos elementos. Por lo que, el trabajo presentado en este artículo, es parte de la labor que se está desarrollando en el ITSL para tener una plataforma que involucre estos dispositivos ampliamente usados en la industria e investigación y desarrollo tecnológico.

El presente trabajo contiene las siguientes secciones: la sección de fundamentos teóricos muestra los principales conceptos; la sección de descripción técnica, en la cual se muestran los datos técnicos de los principales elementos; la sección de metodología muestra la metodología empleada; en la sección de resultados se muestran los resultados obtenidos, y finalmente la sección de conclusiones.

XXXVIII. FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Servomotores

Un servomotor es un motor de corriente continua que incorpora un sensor para conocer su posición o velocidad, También puede incorporar un engrane para disminuir su velocidad y aumentar su fuerza. Los servomotores con

¹J.E. Tarango Hernández (Eduardo_TarangoHdz@hotmail.com).

²N. Alvarado Tovar (nalvarado@itslerdo.edu.mx)

V.E Manqueros Áviles (emanqueros@itslerdo.edu.mx)

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Dpto. de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Av Tecnológico S/N Col Periférico, Cd. Lerdo, Dgo. CP 25150

encoder absoluto pueden detenerse en cualquier posición deseada, utilizados para regular el ángulo de la luz de los faros de un coche, por ejemplo. También permiten hacer movimientos precisos de un elemento móvil de una máquina. Existen servomotores de pequeño tamaño, que incorporan un circuito electrónico que interpreta una señal entregada, haciendo girar el motor hasta una posición concreta. En la industria es más habitual que el servomotor solamente incorpore el motor y el encoder, siendo un regulador externo el que procese la información.

Poseer el conocimiento necesario en servomotores, permitirá que se aproveche al máximo las funcionalidades de un motor, siendo más precisos en su movimiento, en los grados que gira, en la presión que ejerce, el tiempo, etc. [7]

B. Servoamplificador

El servoamplificador engloba todos los componentes necesarios para la conversión de la señal de consigna en los medios apropiados para poder modular el trabajo del servomotor. Frecuentemente se utiliza el nombre de modulador para definir este componente o conjunto de componentes, ya que no solamente se trata de un dispositivo amplificador, sino que incorpora elementos que le permita comparar y acondicionar señales de entrada, así como elementos para conformar o adecuar la señal de salida para gobierno de los servoactuadores empleados.[8]

C. Plataforma Arduino

Arduino forma parte del concepto de Hardware y Software libre y está abierto para uso y contribución de toda la sociedad. Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos, y consiste básicamente en una placa microcontrolador, con un lenguaje de programación en su entorno de desarrollo que soporta la entrada y salida de datos y señales. Desarrollada sobre una biblioteca que simplifica la escritura de la programación en C/C ++ [9].

D. Acondicionamiento de señal

Los elementos que conectan el sistema electrónico con su entorno, sensores y actuadores, no están previstos en general para ser conectados directamente al núcleo del sistema, normalmente un procesador digital. Las etapas de acondicionamiento de señal hacen compatibles dichas conexiones [10].

E. Matlab.

Matlab es un potente lenguaje diseñado para la computación técnica. El nombre proviene de Matrix Laboratory, dado que el tipo de dato básico que gestiona es una matriz (array). Matlab puede ser utilizado en computación matemática, modelado y simulación, análisis y procesamiento de datos, visualización y representación de gráficos, así como para el desarrollo de algoritmos [11].

XXXIX. DESCRIPCION TECNICA DE LOS ELEMENTOS

A. Servoamplificador ultra 3000 de allen bradley

Los Servomotores Digitales Ultra 3000 soportan una sencilla indexación independiente, así como un movimiento integrado de varios ejes. Combinan rendimiento y flexibilidad para capturar y calcular posiciones de alta velocidad Este dispositivo cuenta con un indicador de siete segmentos que indica el estado de encendido, tiene tres conectores, un DB9 para la comunicación serial, uno más con quince pines para la retroalimentación del motor, el ultimo el cual contiene cuarenta y cuatro pines entre los cuales se encuentran las entradas y salidas. Además, cuenta con bornes para la conexión de un bus de corriente directa, bornes para la entrada de corriente alterna para el suministro de energía eléctrica al dispositivo, por ultimo están los bornes de conexión para el motor (Figura 1) [12].

B. Servomotor MPL – A420P – ML244A

Las características de este tipo de servomotores es que son motores sin escobillas de baja inercia, torque continuo 2 a 10.20 N-velocidad 5000 rpm, múltiples opciones de retroalimentación, alimentación con 230 V. Las Características son sus torques altos, tamaños reducidos, alta proporción torque inercia (Figura 1) [13].

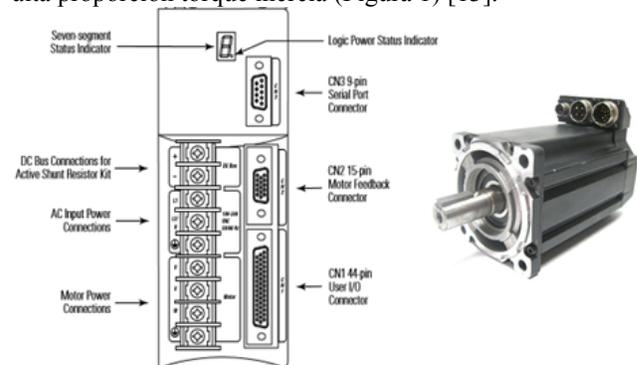


Figura # 1 Servo amplificador y servomotos.

C. Software Ultraware.

Es una interfaz gráfica de usuario que permite configurar, programar y verificar el funcionamiento de los servoamplificadores y servomotores. Este software cuenta con el espacio de trabajo que consta de las áreas predefinidas como lo son a Workspace Windows, Client Área, Output Windows, Main Menubar, Set of Toolbars, Status Bar [14].

D. Arduino uno

La placa está equipada con un convertidor USB a serie para permitir la compatibilidad entre el PC host y los sistemas de comunicaciones serie a bordo del procesador ATmega328. El UNO R3 también está equipado con

varios pequeños LED de montaje en superficie para indicar la transmisión en serie (TX) y la recepción (RX) y un LED adicional para el uso del proyecto [15].

E. Acondicionamiento de señal

Las entradas digitales del servoamplificador requieren una alimentación de 24VCD, sin embargo, la salida del Arduino solo proporciona 5VCD, sin embargo, este voltaje es suficiente para excitar un diodo de opto acopladores 4N26. En la Figura 2 se muestra el diagrama a bloques de los elementos para el acondicionamiento de señal.



Figura # 2 Diagrama a bloques para el acondicionamiento de señal.

IV METODOLOGÍA.

En esta sección se muestra la metodología para el desarrollo de este trabajo. La figura 3 muestra el diagrama a bloques de los elementos principales.

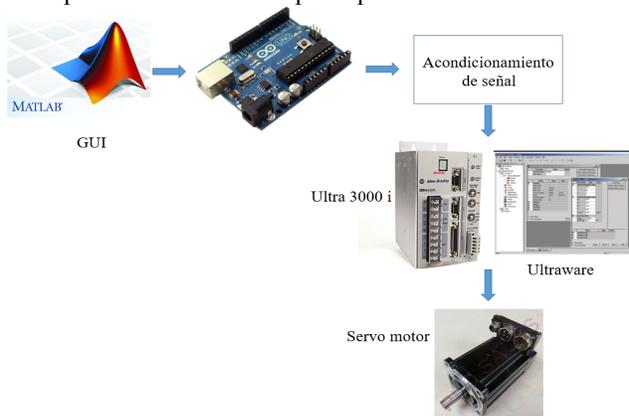


Figura # 3 Diagrama a bloques.

A. Instalación eléctrica.

En la Figura 4 se muestra el diagrama eléctrico empleado para la alimentación principal y protección del servo amplificador y servo motor.

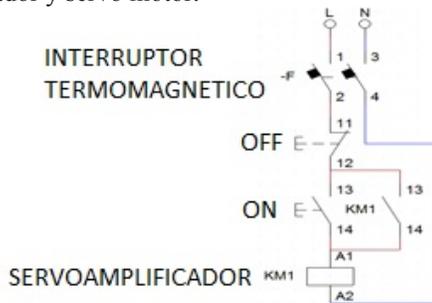


Figura # 4 Diagrama eléctrico de control.

B. Configuración del Servo amplificador Ultra 3000i.

Para el correcto funcionamiento deseado del servo amplificador, este debe ser configurado usando el software

Ultraware. A continuación se describen las principales características a configurar:

Comunicación.

La Figura 5 muestra la conexión de la PC con el software Ultraware conectada por medio de un cable serial al puerto serial del servo amplificador.

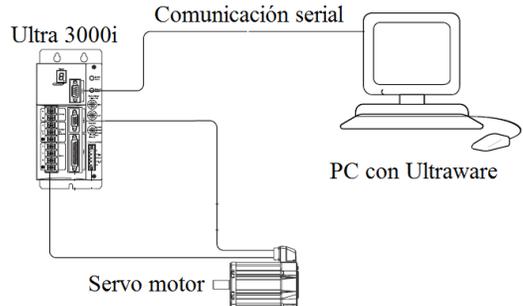


Figura # 5 Conexión PC – Ultra 3000i.

Una vez encendido correctamente el Ultra 3000i y además de haber ejecutado el Ultraware, el servo drive es detectado aparecerá la siguiente Figura.

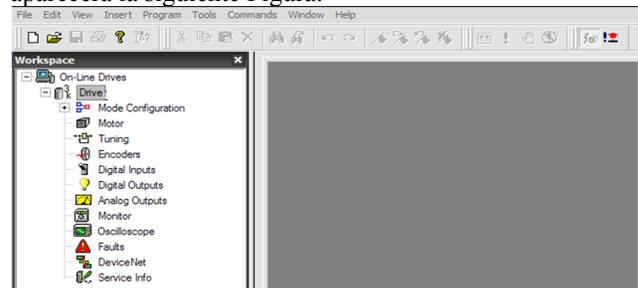


Figura # 6 Ultra 3000 i detectado

Selección del servo motor

El Ultraware contiene una base de datos en la cual vienen diferentes modelos de motores. La selección del motor que se va emplear en la aplicación es parte del proceso de configuración, por lo que se debe de seleccionar el motor correcto y modificar los parámetros necesarios para su mejor desempeño (Figura 6).

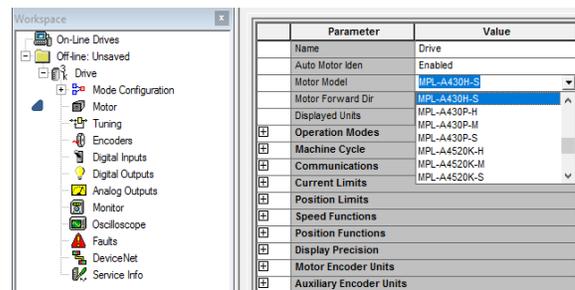


Figura # 6 Selección y configuración del servo motor

Configuración de entradas digitales.

Para la configuración de las entradas es necesario seleccionar la opción correspondiente en la ventana del Workspace como se muestra en la Figura 7.

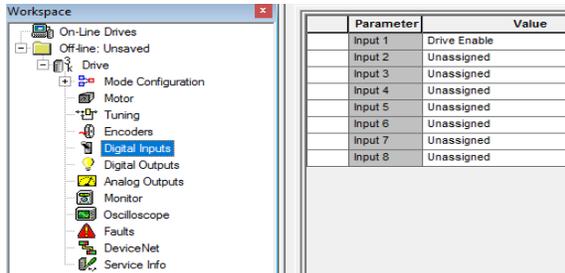


Figura # 7 Configuración de entradas digitales.

Las entradas digitales tienen diferentes modos de configuración, como por ejemplo Define Home, Define Position, Drive Enable, Fault Reset, Fault Reset, Presets, entre otros.

Para el caso de la configuración de las entradas en modo de Preset es necesario seleccionar el modo en 3 entradas digitales deseadas, y además elegir el modo de operación en el dispositivo. En la Figura # 8 se muestra la selección del modo Preset y sus opciones.

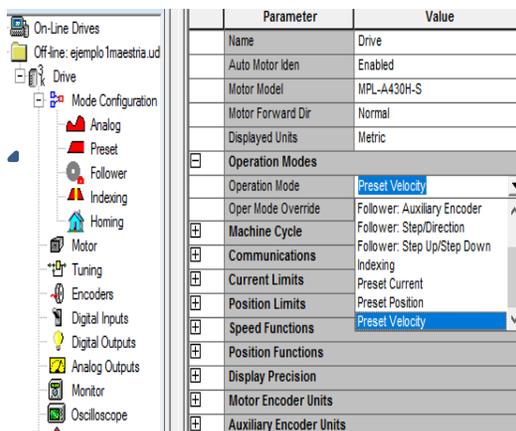


Figura # 8 Selección del modo Preset del servo amplificador.

En el modo Preset, en el servo amplificador se pueden seleccionar 3 diferentes presets: posición, velocidad y corriente. Se tienen hasta 8 presets, los cuales se seleccionan por medio de la combinación binaria de 3 entradas digitales. La Figura 9 muestra la ventana de configuración de los valores que pueden tomar los presets.

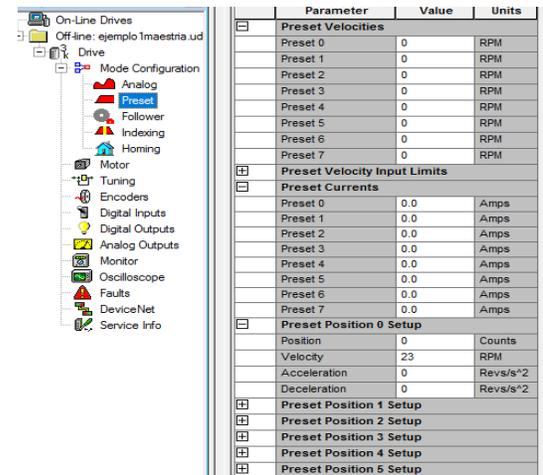


Figura # 9 Configuración de los Presets.

Configuración de salidas digitales.

Para la configuración de las salidas digitales es necesario seleccionar en el dispositivo esta opción, este tipo de servoamplificador solo cuenta con cuatro salidas digitales las cuales pueden ser configuradas en cualquiera de 20 opciones, tal como se muestran en la figura 10.

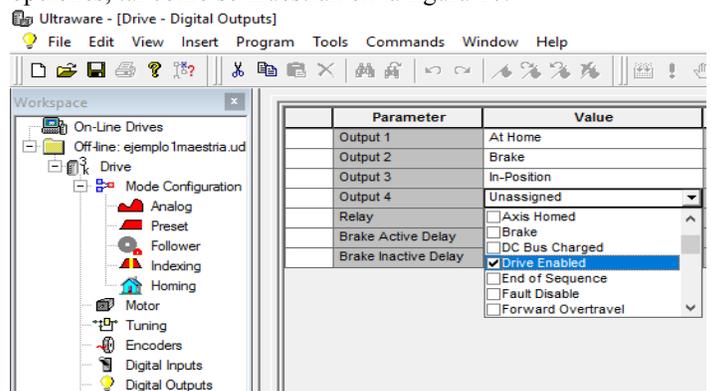


Figura # 10 Configuración de salidas Digitales.

C. Desarrollo GUI en Matlab.

Por medio del comando GUIDE se abrirá una ventana en la que el usuario comenzará a crear la interfaz, esta ventana proporciona una barra de herramientas y una variedad de elementos gráficos para el diseño. En esta ocasión solo se hará uso de ocho push button para activar una salida del Arduino, que una vez conectada a su etapa de acondicionamiento activará las entradas digitales del servoamplificador.

Cada elemento grafico contiene un inspector de tareas en el cual se personaliza cada uno de los elementos según sean requeridos siendo su tamaño, posición en la pantalla, tamaño de letra de texto del nombre que aparece en el elemento, color, entre otros, pero el más importante al momento de programar es el nombre o etiqueta que se le da al elemento. El siguiente código es parte del utilizado

para algunos del botón, por ejemplo el botón de Enable y el Reset:

```
% BOTON DE ENABLE
function ENA_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E;
if E.digitalRead(3)==0
    E.digitalWrite(3,1);
    w='Input 1 OFF'
    set(handles.directa,'string',w);
else
    E.digitalWrite(3, 0);
    w='Input 1 ON'
    set(handles.directa,'string',w);

% BOTON RESET
function RES_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E;
if E.digitalRead(4)==0
    E.digitalWrite(4,1);
    w='Input 2 OFF'
    set(handles.directa,'string',w);
else
    E.digitalWrite(4, 0);
    w='Input 2 ON'
    set(handles.directa,'string',w);
```

Para la comunicación con el arduino es importante conocer el puerto en el que está conectado el dispositivo, para poder seleccionar el COM adecuado. En el código que se muestra continuación permite la comunicación entre Matlab y Arduino. También se observa que en el mismo código se configuran las salidas del arduino.

```
function proyecto_GUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
clear E;
delete(instrfind({'Port'}, {'COM26'}));
% El código de arriba cierra el puerto si está ocupado
global E;
E = arduino ('COM26');
E.pinMode(8, 'OUTPUT');
E.pinMode(9, 'OUTPUT');
E.pinMode(13, 'OUTPUT');
```

D. Arduino

Para la comunicación del arduino y Matlab se cargó un driver ya diseñado [16].

E. Acondicionamiento de señal.

La etapa de acondicionamiento de la señal empleada para conectar el Arduino con las entradas digitales se muestra en el diagrama de la figura 11.

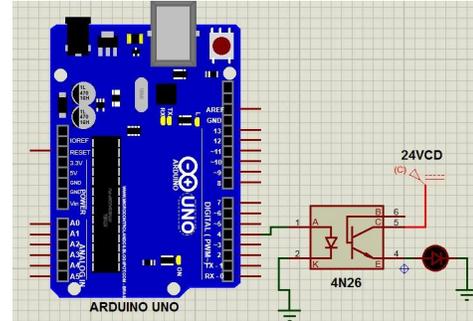


Figura # 11 Diagrama de conexión para el acondicionamiento de señal.

V RESULTADOS

A. Instalación Eléctrica

Se desarrolló un prototipo en el cual se montaron cada uno de los elementos en una base de madera, quedando conectados cada uno de los pines de estradas y salidas digitales en clemas, la protección del sistema la cual consta de un interruptor termo magnético y la botonera para accionar manualmente las entradas digitales (Figura 12).



Figura # 12 Prototipo de control de un Servomotor.

B. Modos de operación de las entradas y salidas digitales

Por medio del Ultraware se realizó la configuración de entradas y salidas digitales del servo amplificador. Se probaron cada una de las configuraciones que se proporcionan, se comprobó la configuración de los presets en el modo de corriente, velocidad y posición.

C. GUI Matlab –Arduino

Se diseñó la interfaz en Matlab (Figura 13) la cual se

comunica con Arduino y con la instalación de una etapa de acondicionamiento se logró controlar el movimiento de los servomotores con la ayuda de la computadora.

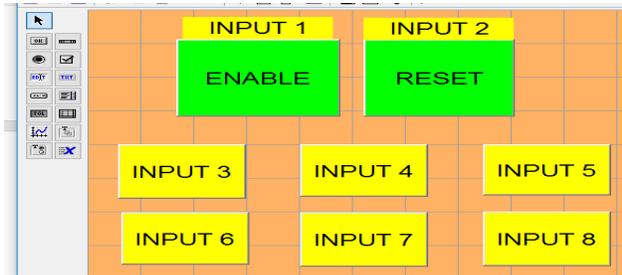


Figura # 16 Interfaz desarrollada.

VI DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Es importante conocer acerca del funcionamiento de los servoamplificadores. La configuración de entradas y salidas digitales permite poder manipular la velocidad, posición y torque de un servomotor, además de controlar dichas entradas por medio de una interfaz gráfica.

VII AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por brindarme la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente y los docentes por brindarme todo el apoyo para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rodríguez, J.A. (2011), "Análisis y desarrollo de un servoamplificador para motores sin núcleo para medición de viscosidad", Centro Universitario, Querétaro, Qro.
- [2] Alvarado Tovar, N, Gámez Vargas, A., Cordero Escamilla, A.J, García Silva, J.J. y Burciaga Pérez J.A. (2010). "Diseño e Implementación de prototipo para máquina cosedora de bolsa trasera de pantalón", in Proceedings IEEE Sección México, Reunión de Verano de Potencia, RVP-AI/2010-GIN-02.
- [3] González Viñez, J.C. (2015) "Actualización de alimentador para prensa automática", tesis de ingeniería, Universidad Tecnológica de Querétaro.
- [4] Godoy Rodríguez, L. (2009) " Estación de trabajo Ultra 3000", tesis de ingeniería, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, IPN.
- [5] García Galindo, J. A. (2016) "Implementación de un sistema de control para una mesa cortadora de plasma de placa", tesis de especialista de ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.
- [6] Alvarado, N, Llama Leal, M. A., Wenger, P., Pámanes, J.A y Moreno, H.A. (2006). "Control de servomotores para un Robot Paralelo de 3 grados de libertad mediante el empleo de un arduino controlador multiejes", VIII Congreso Mexicano de Robótica, COMRob 2006.
- [7] Nieto, E. (2013). "Mantenimiento industrial práctico", FidesTec.p. 83

- [8] Miguilanez, J.M(s.f). "Electrónica básica para TMA's", pp 247-248
- [9] Caicedo, A. (2017). *Arduino para principiantes*. 2nd ed, Copyright, pp5-6.
- [10] Pallàs, R. (1993). "Adquisición y distribución de señales", Barcelona: Marcombo, pp 86-87.
- [11] Gilat, A. (2006). "Matlab: una introducción con ejemplos prácticos". Barcelona: reverte, pp 1-3.
- [12] *Integration Manual*, Rockwell Automation Publication 2098-IN005C-EN-P — March 2008
- [13] *Design Guide*, Rockwell Automation Publication GMC-RM008A-EN-P - September 2011
- [14] *Ultraware Software*, Rockwell Automation Publication 2098-UM001G-EN-P - February 2011
- [15] Barrett, S. (2012). *Arduino Microcontroller: Processing for Everyone*, 2nd ed, pp 3 copyright.
- [16] Giampiero Campa, Copyright 2013 The MathWorks, Inc.

D. BIOGRAFÍA



J.E. Tarango Hernández nació en Gómez Palacio Durango, el 27 de septiembre de 1993. Obtuvo la licenciatura en Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango, México en el año 2016. El J.E. Tarango Hernández actualmente labora en Fabricaciones Especializadas S.A de C.V en el ejido San Sebastián Durango, México, en el cual tiene el puesto de electromecánico en el área de mantenimiento.



M.C. Noé Alvarado Tovar. 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 sus estudios 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.



Manqueros Avilés Víctor Edi. Nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de Diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001, Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango.

Actualmente trabaja como docente e Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, dentro de la división de posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 10 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.

Optimización De Sistemas De Enfriamiento En Autotransformadores De Potencia Para La Eficiencia Energética

M. Pineda Belmontes^{1,*}, A. Tinoco Alcazar², A. Zarate Sanchez².

Resumen— Dentro de este trabajo se presenta una estrategia de reducción del consumo de energía en subestaciones eléctricas mediante la automatización del sistema de enfriamiento de aire forzado en bancos de autotransformadores de potencia, se presentan las acciones realizadas en tres subestaciones eléctricas cuyos bancos de transformación son de una capacidad de 100 MVA y se utilizan en el proceso de transmisión del sistema eléctrico nacional en la zona de transmisión Camargo. Así mismo se presenta el impacto que tiene esta estrategia en términos de consumo de energía en dichas subestaciones.

Palabras claves— Automatización, Autotransformador Eficiencia Energética, Sistemas SCADA.

Abstract— This paper shows a strategy for the reduction of electrical consume in electrical substations by air forced cooling system automation in power autotransformers, activities in three autotransformer banks with a capacity of 100MVA that are part of the national electrical system in Camargo transmission zone are also presented; finally, the impact of this strategy in such substations are presented in consum terms.

Keywords— Automation, Autotransformer, Electrical Efficiency, SCADA Systems.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objetivo la reducción del consumo de energía eléctrica. Para la reducción de este consumo es necesaria la implementación de proyectos que permitan la vinculación entre la innovación tecnológica y el uso eficiente de la energía eléctrica mediante la aplicación de la tecnología. La eficiencia energética es un factor de gran importancia en el sector energético, ya que en este siempre se busca aprovechar en mayor medida la energía disponible, evitando las pérdidas, ya que existe una gran cantidad de mecanismos por los cuales se desaprovecha la energía eléctrica [1], es por eso que en los últimos años surgen

cada vez más proyectos que buscan, mediante el uso de nuevas tecnologías, la reducción del consumo de energía eléctrica en algunos de los procesos principales o inclusive en algunos subprocesos que existen dentro de éste sector.

Dentro de la transmisión de energía eléctrica el proceso de transformación es uno de los más importantes, ya que este permite elevar la tensión de la energía generada para poder transmitirla con un nivel menor de pérdidas. En el proceso de transformación existe un subproceso que ayuda a mejorar la eficiencia de este, ya que incrementa la capacidad de carga del autotransformador o transformador, según sea el caso, este subproceso es el sistema de enfriamiento del transformador, sin embargo, en ocasiones este sistema cumple con su función a costa de un consumo desmedido de energía que podría no ser muy considerable en relación a la cantidad de energía que pasa por el proceso de transformación, pero si lo es cuando se repite en varios bancos de transformación y cuando se revisa el costo de las actividades del proceso de transmisión.

Es debido a la problemática de consumo de energía que presenta este pequeño proceso que dentro de la CFE se ha propuesto ejecutar acciones que permitan la reducción de este consumo mediante la modernización y el uso de tecnología en este proceso [2].

II. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La regulación de la temperatura en un autotransformador es de suma importancia en términos de eficiencia energética, ya que conforme la capacidad del autotransformador para autorregularla disminuye, las pérdidas de energía se incrementan [3], [4].

Es común que en transformadores de gran potencia se recurra a un sistema de enfriamiento de aire forzado para reducir este problema [4], sin embargo, en algunas ocasiones estos sistemas no tienen una adecuada regulación debido a cuestiones tecnológicas o a desgaste de los elementos que lo conforman. En estas situaciones se requiere hacer una intervención a dicho sistema, ya sea con la modernización de algunos de sus elementos, el uso de tecnologías que aporten mayor confiabilidad o ambas.

El presente proyecto se realiza en tres bancos de transformación de 230/115 kV con una capacidad de 100 MVA en tres diferentes subestaciones de la zona de transmisión Camargo.

¹ CFE Transmisión, Gerencia Regional de Transmisión Norte, Zona de Transmisión Camargo, Carretera Camargo-la Perla km 12.5, Cd. Camargo, Chihuahua. C.P. 33700. mario.pineda@dt.cfe.mx

² CFE Transmisión, Gerencia Regional de Transmisión Norte, Calle Guanaceví No. 131, Parque Industrial Lagunero, Gómez Palacio, Durango, C.P. 35070.

A. Definición del sistema de enfriamiento de aire forzado

El sistema de enfriamiento de los autotransformadores tratados en este trabajo es del tipo ONAF en el que los devanados del autotransformador están sumergidos en un tanque que contiene aceite mineral como refrigerante, el cual circula por convección dentro del tanque así como por un grupo de radiadores los cuales se ubican a los costados del tanque, en estos se montan ventiladores para hacer circular aire a través de ellos, a esta última parte se le denomina sistema de enfriamiento de aire forzado, este sistema consta de un grupo de ventiladores que son accionados a un nivel de temperatura definido reduciendo en menor tiempo la temperatura del aceite. La Figura 1 muestra los elementos del sistema de enfriamiento mencionado.

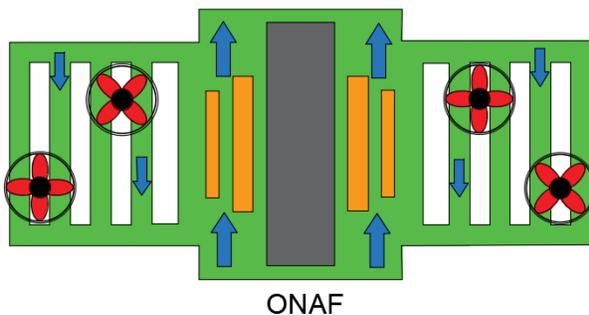


Figura 1. Representación gráfica del sistema de enfriamiento del autotransformador.

B. Modernización de ventiladores y monitores de temperatura

En los autotransformadores es necesaria la medición de temperaturas del aceite y del devanado debido a que son un parámetro para la ejecución de otras tareas. Estas temperaturas se obtienen de la parte superior del tanque mediante un sensor de temperatura PT100 el cual consiste en un elemento de platino que incrementa su resistencia (Ω) conforme se incrementa la temperatura. Dichas señales se envían al monitor de temperatura correspondiente, que está montado sobre el autotransformador para poder disponer de la medición. En este caso los elementos para la medición de temperatura habían alcanzado su tiempo de vida disminuyéndose así la confiabilidad de las señales proporcionadas, además en algunos casos la medición de temperatura solo podía verificarse de manera local, debido a lo anterior se optó por su reemplazo, se realizó el cambio del sensor de temperatura por uno del mismo material, así también, se reemplazaron medidores analógicos.

La Figura 2 muestra algunos de los elementos retirados en

los autotransformadores de la zona.



a)



b)

Figura 2. Elementos retirados a) Monitor de temperatura, b) Ventiladores.

En el caso del sistema de aire forzado los ventiladores utilizados se conectan en un arreglo que puede consistir en una o varios grupos denominados pasos. Existen arreglos denominados de un paso, en los que se agrupan todos los ventiladores para entrar en funcionamiento al detectar un incremento en la temperatura, o bien se utilizan arreglos denominados de dos pasos en los que un grupo de ventiladores funcionan para reducir un incremento leve en la temperatura, sin embargo, si este grupo no logra reducirla se activa un segundo grupo que ayude disminuirla. El sistema de aire forzado con el que contaban los autotransformadores de este trabajo constaba únicamente de un paso por lo que para cualquier

incremento de la temperatura funcionaban todos los ventiladores, aunado a esto los ventiladores al igual que los monitores de temperatura habían excedido su tiempo de vida lo cual traía consigo un funcionamiento ineficiente que se reflejaba en un mayor consumo de energía y una reducción muy baja de la temperatura durante su funcionamiento. Es por esta razón que se realizó la modernización de los ventiladores y se habilitaron dos pasos en los casos donde la instalación lo permitió.

En la Figura 3 se muestran los elementos instalados los cuales constituyen la modernización de los elementos primarios de este sistema, en el inciso a) se muestran los monitores de temperatura instalados sobre el autotransformador. En el inciso b) se observan los ventiladores montados sobre los radiadores del autotransformador.



a)



b)

Figura 3. Elementos instalados a) Monitor de temperatura
b) Ventiladores.

C. Instalación de monitor de transformador

Como parte de este proyecto se contempla el uso de tecnologías existentes que aseguren un mejor desempeño del sistema de enfriamiento por lo que se contempla la instalación de un equipo monitor de transformador el cual permite obtener y procesar información del estado del autotransformador únicamente suministrando señales de tensión, corriente y temperatura [5]. El dispositivo utilizado es un equipo SEL-2414 mostrado en la Figura 4.



Figura 4. Monitor de transformador utilizado.

Una vez instalados los elementos primarios del sistema de enfriamiento (monitores de temperatura y ventiladores), se realizó la instalación de dicho monitor, para esta actividad se tendió cableado para la obtención de señales de temperatura provenientes de cada uno de los monitores de temperatura instalados en el autotransformador, los cuales fueron obtenidos en señal resistiva (RTD) ya que el monitor de transformador cuenta con un grupo de entradas destinadas a este tipo de señales. Así mismo se realizó la integración de las señales de tensión y corriente provenientes de los TP de bus y TC del autotransformador respectivamente, ambas del lado secundario.

Dentro de este proyecto se contempla un gabinete de campo el cual protege tanto al equipo como al cableado de los agentes del ambiente que pueden ocasionar un mal funcionamiento o una reducción acelerada del tiempo de vida del cableado y el equipo. Este gabinete se instaló en un punto intermedio del banco de transformación evitando que el monitor del autotransformador quede lejano de alguna de las fases que componen el banco. La alimentación de este gabinete se hace en 127 VCA para alimentar equipo auxiliar del gabinete como iluminación, resistencias calefactoras o contactos disponibles para servicio en sitio del equipo, y 129 VCD para el monitor

del autotransformador, lo anterior para asegurar su funcionamiento mediante bancos de baterías aun y cuando se pierda la alimentación de CA. La Figura 5 muestra la instalación del monitor de temperatura, en esta imagen se puede ver también la instalación del distribuidor de fibra óptica de este gabinete el cual se abordará en la siguiente sección.



a)



b)

Figura 5. Instalación del monitor de transformador a) vista frontal del equipo b) vista posterior del equipo

La configuración del equipo se realiza mediante el software del fabricante, y está conformada en 2 grupos de funciones, el primero se compone de una lógica de automatización para el encendido de los ventiladores la cual consiste a su vez en dos modos de funcionamiento, automático y manual, el modo automático consta de un grupo de variables digitales que se activan con la elevación de la temperatura de devanado en cada una de las fases que integran el banco de transformación, las cuales a su vez activan una salida correspondiente a la fase que ha sobrepasado el umbral establecido. Este umbral se determina según lo establecido en [6] donde se determinan los parámetros para el funcionamiento del sistema de enfriamiento, esto es 55°C para el arranque del paso 1 y 65° para el arranque del paso 2. El modo manual se establece como una herramienta para el mantenimiento y pruebas del sistema de enfriamiento, ya que este permite arrancar y parar los ventiladores en cualquier momento sin importar las condiciones de temperatura, esto se realiza mediante el panel frontal del equipo en el cual se configuraron mandos en los botones de este para arrancar directamente los ventiladores, así mismo en este panel se configuran señales visibles que indiquen el estado del sistema de enfriamiento, esto es indicación del modo automático/manual y de funcionamiento de los pasos del sistema (paso 1 y paso 2) las cuales se encienden cuando se encuentran activos como se observa en la Figura 4.

La segunda función del equipo consiste en un grupo de señales digitales que se activan a través de la medición de la temperatura y constituyen las alarmas preventivas que se envían a control supervisorio para reportar las condiciones de temperatura del transformador a fin de prevenir un disparo debido al incremento de esta, este grupo de alarmas se configuran según lo establecido en [6] para cada una de las fases, esto es una alarma de temperatura de aceite 65°C y una alarma de temperatura de devanado a 95°C, estas alarmas preventivas otorgan un margen de acción que permite la aplicación de medidas para la reducción de la temperatura evitando alcanzar los 105°C a los que se produce el disparo del interruptor del lado secundario. Se configuran también algunas alarmas generales complementarias, para los casos de pérdida de alimentación y problemas en el sistema de enfriamiento las cuales ayudan a mantener en óptimo funcionamiento dicho sistema.

Con las señales de potencial y corriente provenientes de los TP y TC respectivamente se activa una serie de funciones con las que cuenta el equipo, las cuales otorgan información relacionada con el desgaste del aislamiento en el interior del autotransformador, así como, la reducción del tiempo de vida de este provocada por incrementos de temperatura.

D. Integración al sistema SCADA

Las subestaciones de este proyecto cuentan con un sistema SCADA el cual permite el monitoreo tanto local como remoto de las condiciones operativas de la misma, así mismo, permiten el telecontrol de estas instalaciones, dado lo anterior la integración del monitor de transformador a este sistema se vuelve necesaria debido a que como se mencionó anteriormente las condiciones de operación del transformador están en este equipo. La comunicación entre el monitor de transformador y el servidor SCADA se realiza mediante la red LAN de cada una de las subestaciones. La integración a la red LAN del monitor de transformador consiste en un cable de fibra óptica rematado en un distribuidor óptico en cada extremo, uno en el gabinete de campo y otro en la caseta de control de la subestación, para así mediante jumpers de fibra óptica hacerlo llegar en un extremo al equipo y en otro extremo a un switch de la instalación. Lo anterior constituye el enlace físico del equipo y se muestra en la Figura 6.

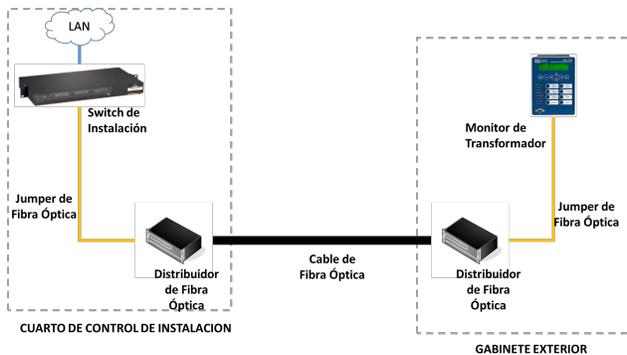


Figura 6. Diagrama de Interconexión del Monitor de Transformador a la Red LAN.

Concluido el enlace físico del equipo se realizó el enlace mediante un protocolo de comunicación, para lo cual se eligió el protocolo DNP3 el cual permite el intercambio de información entre equipos mediante una arquitectura maestro-esclavo con una estructura definida en los datos enviados, que le da robustez y fiabilidad a la información transmitida. Dicho enlace requiere la configuración del equipo donde se le indiquen parámetros de comunicación, tipo de información solicitada y estructura de la información. Esta configuración se realizó en los equipos SEL-2414 conforme a lo especificado en [5] para establecerlo como un equipo “esclavo”, de igual forma el servidor SCADA se preparó para fungir como dispositivo “maestro”.

La información recolectada en el servidor SCADA se hace llegar a la consola de control local en la que se desarrollaron diferentes desplegados para la información,

esto dependiendo de las posibilidades de cada una de las consolas. La Figura 7 muestra los desplegados de algunas de las consolas de este proyecto en ellas se puede ver el monitoreo en tiempo real de la temperatura en el autotransformador, así como algunos indicadores de alarma para el incremento de temperatura.

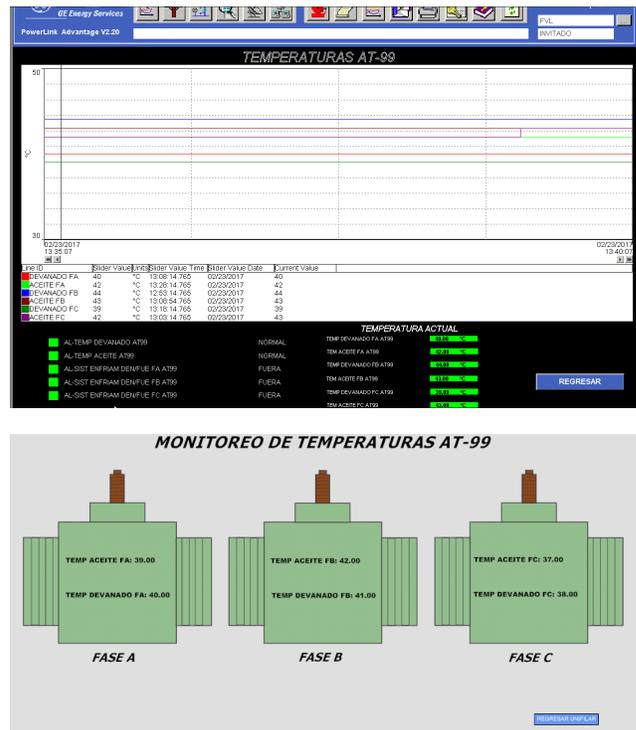


Figura 7. Desplegados de consolas de control local

De la misma forma que en las consolas de control local la información es enviada a las instancias de control supervisorio donde es recolectada para ser utilizada con fines de la operación de la red del sistema eléctrico nacional. El envío de esta información a nivel superior establece también una medida preventiva que asegura un mejor funcionamiento ya que de existir un fallo o un funcionamiento anormal el centro de control reportará de manera inmediata para la revisión de éste.

III. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presenta una evaluación comparativa del consumo y características del sistema de enfriamiento en las instalaciones incluidas en este proyecto. Para fines prácticos durante este apartado se asigna un número como identificador para cada autotransformador.

A continuación, las Tablas I y II muestran algunas características de los ventiladores anteriores y los actuales instalados en los autotransformadores de este proyecto.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES ANTERIORES

AT	No Ventilador	Caudal m ³ /h	Capacidad HP	I Amp	Años de uso
UNO	40	8112	0.5	2.5	27
DOS	24	8112	0.5	2.5	20
TRES	30	8112	0.5	2.5	20

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES ACTUALES

AT	No Ventilador	Caudal m ³ /h	Capacidad HP	I Amp	Años de uso
UNO	40	13800	0.5	1.8	1
DOS	24	13800	0.5	1.8	1
TRES	30	13800	0.5	1.8	1

En primera instancia se ve el número de ventiladores instalados en cada banco de autotransformadores este número varía dependiendo de la estructura de los radiadores, se observa también el caudal en m³/h, esto es la cantidad de aire que puede hacer pasar por los radiadores para refrigerar el aceite, este parámetro es muy importante ya que como se mencionó se trata de la cantidad de material refrigerante (en este caso el aire) que se hace pasar para reducir la temperatura este está determinado por las capacidades del motor empleado (dato de placa). Finalmente se muestran características eléctricas del motor las cuales dan pie a las lecturas de consumo que se tienen, finalmente se observa el tiempo de uso en el que sobresalen los equipos anteriores los cuales tenían 20 años o más en funcionamiento.

Las diferencias en relación a los datos del caudal entre los ventiladores existentes y los actuales muestran que estos últimos incrementan aproximadamente el 60% del caudal cuya importancia ya ha sido mencionada, además se observa que este incremento lo hace con un motor que tiene un consumo nominal de corriente menor.

Dada la comparativa anterior es notorio en los datos proporcionados por estas tablas que los ventiladores instalados tienen características que pueden conseguir la reducción de la temperatura en un menor tiempo lo cual impacta directamente en el consumo ya que el sistema de enfriamiento tendrá menos horas de uso, es decir, no funcionara de forma continua, lo anterior se puede comprobar en la comparativa de las tablas III y IV donde se presentan datos de consumo del sistema de enfriamiento. En esta se puede observar como la demanda en todas las instalaciones se ha reducido esto debido a las características eléctricas de los nuevos ventiladores los cuales funcionan de una forma más eficiente, el consumo anual se redujo también ya que con la automatización del sistema de enfriamiento, este solo funciona cuando es requerido y realiza su función en un menor tiempo como lo muestra la columna de horas de uso.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ANTERIOR

AT	Demanda kW	Horas de uso anual	Consumo anual kW/h
UNO	38.06	5040	191822
DOS	22.84	5040	115093
TRES	28.55	5040	143867

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ACTUAL

AT	Demanda kW	Horas de uso anual	Consumo anual kW/h
UNO	27.40	3528	96678
DOS	16.44	3528	58007
TRES	20.55	3528	72509

Finalmente es importante recalcar que los consumos anuales del sistema de enfriamiento se redujeron en promedio al 50% en todas las instalaciones, lo que a su vez se traduce en una reducción en el costo del proceso de transmisión en términos económicos y en un ahorro de energía en términos de sustentabilidad.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron las estrategias seguidas para la modernización de los elementos del sistema de enfriamiento de autotransformadores en tres instalaciones diferentes, así mismo, se describió la integración de tecnologías que le dan una mayor flexibilidad a este sistema y a su vez permiten mantenerlo en un funcionamiento óptimo.

Dentro de este trabajo se comprueba que la inversión en la modernización de equipo de sistemas alternos al autotransformador puede tener un gran impacto tanto en su funcionamiento como en los costos del proceso de transmisión. Así también muestra como al integrar diversas tecnologías en estos proyectos se puede tener un monitoreo en todos los niveles de operación, además se puede obtener información del estado de materiales internos de difícil acceso en el autotransformador que podrían prevenir un fallo mayor o en su caso ayudar a dictaminar la causa de alguna falla.

Finalmente este trabajo constituye una práctica que puede ser replicada en sistemas de igual o menor capacidad, la cual ayude al uso eficiente de la energía eléctrica y por consecuencia al ahorro de la misma.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Comisión Federal de Electricidad quien dentro del programa de ahorro de energía del sector eléctrico (PAESE) y por medio de la gerencia de transmisión norte otorga las facilidades para la realización de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] Benedict, E.; Collins, T.; Gotham, D.; Hoffman, S.; Karipides, D.; Pekarek, S.; and Ramabhadran, R., (1992) "*Losses in Electrical Power Systems*", ECE Technical Reports. Paper 266. Disponible en: <http://docs.lib.purdue.edu/ecetr/266>.
- [2] Johnson, T.; Alatorre, C.; Romo, Z.; Liu, F., (2009) "*Low-Carbon Development for Mexico*", Conference Edition, The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, pp 118.
- [3] Gradnik T.; Končan-Gradnik M., (2006) "*Cooling System Optimization and Expected Lifetime of Large Power Transformers*", Proceedings of the 2006 IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environmental Systems, Chalkida, Greece, pp194-201.
- [4] Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Co. (1964). "*Electrical Transmission and Distribution Reference Book*", Pennsylvania: Westinghouse Electric Co. pp.106.
- [5] *SEL-2414 Transformer Monitor Instruction Manual*, Schweitzer Engineering Laboratories Inc. pp 5.1-5.42, D.1-D.13 Jul. 2015.
- [6] Manual de Transformadores y Reactores de Potencia, segunda edición, Tomo II, CFE, IIE, pp.8 -9, Jun 2007.



Ana Mayela Zárate Sánchez, Coahuila, el 02 de mayo de 1992. Egresada de la carrera de Arquitectura, del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Laguna, en el año 2015.

Actualmente trabaja en CFE Transmisión, donde se funge como Jefe de Oficina de Obra Civil e.f. en la zona de transmisión Durango y como coordinadora de Proyectos de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) de la

Gerencia Regional de Transmisión Norte. Áreas de interés son Optimización de sistema de ahorro de energía, Calidad ambiental, Calidad de energía, Conservación del medio ambiente en trabajos de generación y transmisión de energía, Diseño y desarrollo sustentable bioclimático, Eficiencia energética, energías alternativas, mejora de calidad ambiental.

VII. BIOGRAFÍA



Mario Alberto Pineda Belmontes Nació en Torreón Coahuila, el 04 de abril de 1986. Egresado de la carrera de Ingeniería electrónica, con especialidad en electrónica de potencia, del Instituto Tecnológico de la Laguna, en el año 2009. Obtuvo el grado de maestro en ciencias en ingeniería eléctrica con especialidad en ingeniería de potencia en el mismo instituto en el año 2012.

Actualmente labora en CFE Transmisión, donde funge como jefe del departamento de control e.f. en la zona de transmisión Camargo, sus áreas de interés son calidad de la energía, redes eléctricas, FACTS, filtros activos de potencia, sistemas SCADA y automatización industrial.

Es Miembro IEEE, IEEE Industry Applications Society, IEEE Power Electronics Society e IEEE Power & Energy Society



Andrés Tinoco Alcázar Nació en Torreón Coahuila, el 15 de septiembre de 1968. Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial en Electrónica, del Instituto Tecnológico de la Laguna, en el año 1989. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en el mismo instituto en el año 2015. Asimismo, obtuvo el grado de Maestro en Administración en la

Universidad Autónoma de Coahuila en el año 2015

Actualmente trabaja en CFE Transmisión, donde se desempeña como encargado de la Subgerencia de Control de la Gerencia Regional de Transmisión Norte. Áreas de interés son automatización, sistemas SCADA, Electrónica de Potencia, CEVs, calidad de energía, análisis y evaluación de proyectos de inversión. Es miembro de la IEEE.

Evaluación del comportamiento de excitadores para generadores síncronos de alta potencia

I.U. Martínez-Gamboa¹, F.S. Sellschopp-Sánchez^{1,*}, M. Rivero-Corona², R. Loera-Palomo²

Resumen—En este artículo se describen los sistemas de excitación empleados en los generadores síncronos, además se presenta una breve descripción del modelo del generador síncrono. Se analizan tres modelos de excitadores los cuales corresponden a cada uno de los sistemas típicos de excitación: sistema de corriente directa (DC1A), sistema de corriente alterna (AC1A) y sistema estático (ST1A). Los resultados en el estudio se presentan con el fin de analizar el comportamiento del generador síncrono conectado a un sistema eléctrico con los diferentes tipos de excitadores. Para esto se aplican perturbaciones al excitador con la finalidad de evaluar su comportamiento y sus índices de respuesta. El modelado se realiza utilizando el software PSCAD.

Palabras claves—Sistemas de excitación, generador síncrono.

Abstract—This paper describes the excitation systems used in synchronous generators. A brief description of the synchronous generator model is presented. Three models are analyzed which correspond to each of the excitation systems: direct current system (DC1A), alternating current system (AC1A) and static system (ST1A). The results in the study are presented in order to analyze the behavior of the synchronous generator with the different types of excitation systems. Tests are performed to evaluate the behavior and response rates of each excitation systems. The analysis is performed using the PSCAD software.

Keywords— Excitation systems, synchronous generator.

VIII. INTRODUCCIÓN

Los generadores síncronos son una parte fundamental de los sistemas eléctricos de potencia ya que son las principales fuentes de conversión de energía que entregan electricidad a las redes eléctricas. Esta conversión solo es posible si existe una excitación. Los sistemas de excitación se encargan de suministrar corriente directa al devanado de campo para producir la tensión en las terminales del generador síncrono. Además los sistemas de excitación cuentan con funciones de control y protección que son necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de potencia. Las funciones de control del sistema de excitación incluyen el control de la tensión en las

terminales del generador y el control del flujo de potencia reactiva. Las funciones de protección garantizan que los límites de capacidad del generador, del sistema de excitación y de otros equipos no sean excedidos (Kundur, 1994). De acuerdo a la fuente de excitación que utilizan, los sistemas de excitación se clasifican en tres categorías (Kundur, 1994):

- Sistemas de corriente directa (CD)
- Sistemas de corriente alterna (CA)
- Sistemas Estáticos

Los sistemas de CD utilizan generadores de corriente directa para suministrar la potencia al excitador. En estos sistemas la corriente directa es alimentada al rotor del generador síncrono a través de anillos colectores. El excitador puede estar en el mismo eje del generador o ser impulsado por un motor externo.

Los sistemas de CA utilizan alternadores para la excitación del generador. El excitador es comúnmente situado en el mismo eje del rotor. Estos sistemas emplean dos tipos de rectificadores, estacionarios y giratorios. Los sistemas con rectificadores estacionarios utilizan anillos colectores para suministra la corriente directa al rotor. Por otro lado, en los sistemas con rectificadores giratorios no es necesario el uso de anillos colectores ni escobillas ya que la corriente de cd es alimentada directamente al rotor, porque el rectificador gira junto con el devanado de campo del generador. Estos últimos sistemas son conocidos como *brushless systems* (sistemas sin escobillas).

En los sistemas estáticos todos los elementos son estacionarios, emplean rectificadores y transformadores para suministrar la potencia de excitación, la cual obtienen de las mismas terminales del generador. La corriente directa es suministrada al devanado de campo del generador por medio de anillos colectores.

Las características, modelos y definiciones de los sistemas de excitación así como el rendimiento dinámico y los requerimientos de los sistemas son ampliamente descritos en (IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Std 421.1™-2007, 15 July 2007), (IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005, 21 April 2006), (IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems, IEEE Std 421.2 -2014, 27 March 2014).

En este trabajo se evalúa el funcionamiento de tres

¹ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México

² CONACYT – TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

* sellschopp@hotmail.com

modelos de excitadores que pueden ser empleados en los generadores síncronos. Estos modelos representan a cada tipo de sistema de excitación: corriente directa (DC1A), corriente alterna (AC1A) y estático (ST1A).

IX. MODELO DEL GENERADOR SÍNCRONO

El generador síncrono consiste de dos partes esenciales: el campo y la armadura. El devanado de campo conduce la corriente directa y produce un campo magnético, el cual induce una serie de voltajes en los devanados de armadura (Kundur, 1994), (Krause, Wasynczuk, & Sudhoff, 2002). La Figura 1 muestra el esquema de la sección transversal de un generador síncrono trifásico con un par de polos.

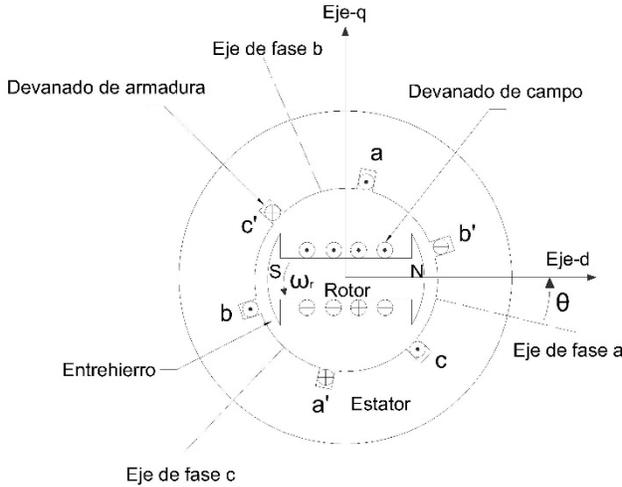
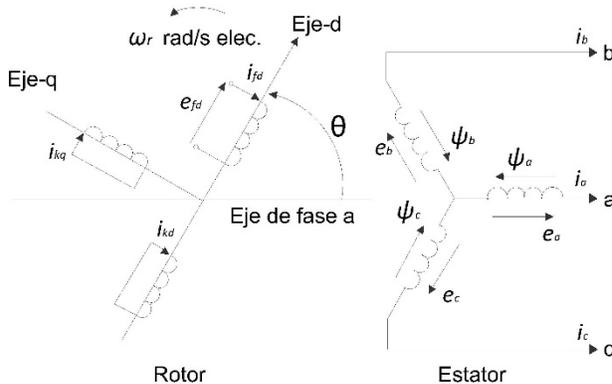


Figura 1. Diagrama esquemático de un generador síncrono trifásico

El rotor del generador cuenta con dos ejes principales: eje directo (d) el cual está en el centro magnético del polo norte y el eje en cuadratura (q) que está 90° eléctricos delante del eje-d.

La Figura 2 muestra los circuitos que se involucran en el análisis del generador síncrono.



- a, b, c : devanados de fase del estator
- fd : devanado de campo
- kd : circuito amortiguador del eje d
- kq : circuito amortiguador del eje q
- k : 1,2,...,n; n= no. de circuitos amortiguadores
- theta : ángulo por el cual el eje d lleva el eje magnético de la fase a, rad eléctricos
- omega_r : velocidad angular rad/s eléctricos

Figura 2. Circuitos del rotor y estator del generador síncrono

En (1), (2) y (3) se describen las ecuaciones de voltaje asociadas al circuito del estator.

$$e_a = \frac{d\psi}{dt} - R_a i_a = p\psi - R_a i_a \tag{1}$$

$$e_b = p\psi - R_a i_b \tag{2}$$

$$e_c = p\psi - R_a i_c \tag{3}$$

De igual manera, las ecuaciones de voltaje asociadas al circuito del rotor se describen en (4), (5) y (6).

$$e_{fd} = p\psi_{fd} - R_{fd} i_{fd} \tag{4}$$

$$0 = p\psi_{kd} - R_{kd} i_{kd} \tag{5}$$

$$0 = p\psi_{kq} - R_{kq} i_{kq} \tag{6}$$

X. MODELOS DE LOS SISTEMAS DE EXCITACIÓN

Para determinar la operación del generador y el sistema de excitación, se desarrollan modelos matemáticos que permiten estimar los requerimientos técnicos, establecer los circuitos de control y protección útiles para el estudio de la estabilidad en los sistemas eléctricos de potencia.

A continuación se presentan los modelos de sistemas de excitación empleados en este trabajo.

A. Modelo tipo DC1A

Este modelo, mostrado en la Figura 3, es usado para representar los sistemas de excitación de corriente directa conmutables, en el cual el campo es controlado con reguladores de tensión de acción continua, especialmente los amplificadores rotativos, amplificadores magnéticos o amplidinas (IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005, 21 April 2006).

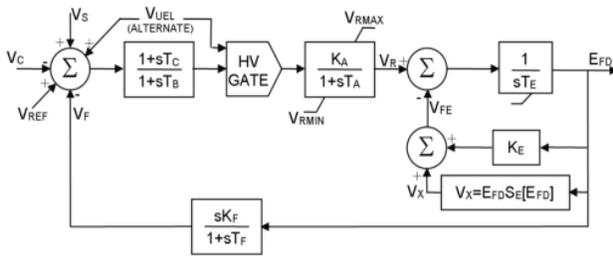


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema de excitación tipo DC1A

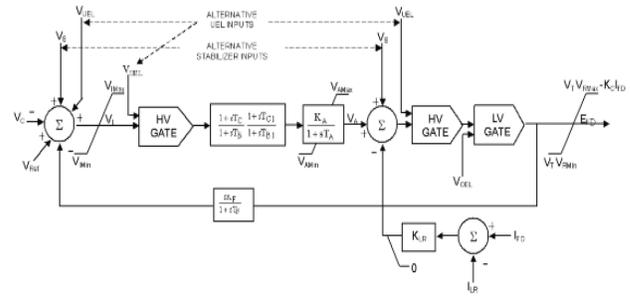


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de excitación tipo ST1A

B. Modelo tipo AC1A

Este modelo, mostrado en la Figura 4, representa el sistema alternador-rectificador de campo controlado. Este sistema consiste de un alternador como excitador que emplea rectificadores no controlados. El regulador de tensión obtiene la potencia de una fuente que no es afectada por transitorios (IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005, 21 April 2006).

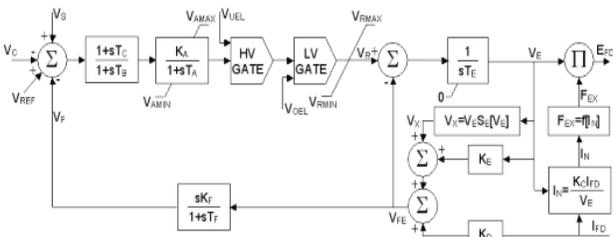


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema de excitación tipo AC1A

C. Modelo tipo ST1A

El modelo mostrado en la Figura 5 es conocido como sistema excitador-rectificador controlado con fuente de potencial. Este modelo representa los sistemas que suministran la energía de excitación a través de un transformador que se alimenta de las terminales del generador o un bus auxiliar, y es regulado por un rectificador controlado. La máxima tensión que puede suministrar este tipo de sistemas está directamente relacionada con la tensión en las terminales del generador.

XI. CASOS DE ESTUDIO

Para evaluar el comportamiento de los sistemas de excitación, se elaboró un modelo compuesto de un generador síncrono conectado a un bus infinito a través de un alimentador, al cual están conectadas unas cargas.

El generador tiene una potencia aparente de 120 MVA y una tensión de salida de 13.8 kV. Las cargas tienen un valor del 25 y 75% de la capacidad del generador. El modelo y la simulación fueron desarrollados en el simulador computacional PSCAD.

A. Determinación de los índices de respuesta de los sistemas de excitación

Para determinar los índices de respuesta de los sistemas de excitación, se lleva a cabo la prueba de variación en la tensión de referencia. Esta prueba consiste en hacer una simulación del sistema en estado estable, una vez estabilizado el sistema, se cambia el valor en la tensión de referencia a un valor que represente un cierto porcentaje por encima del valor nominal. Para este estudio el cambio en la referencia se realizó para un valor típico reportado en la literatura científica de +5% con respecto al valor inicial.

Los índices de respuesta a determinar son: el sobrepaso (Sp), el tiempo de respuesta (Tr) y el tiempo de estabilización (Ts).

La Tabla I muestra los rangos aceptados por la norma IEEE Std. 421.2 para los índices de respuesta transitoria.

TABLA I. RANGOS ESTABLECIDOS POR LA IEEE PARA LOS ÍNDICES DE RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE EXCITACIÓN

Índice de respuesta	Rangos aceptables
Sobrepaso (Sp)	0 a 40%
Tiempo de respuesta (Tr)	0.025 a 2.5 s
Tiempo de estabilización (Ts)	0.2 a 10 s

Los modelos de los sistemas de excitación fueron simulados con los parámetros estándar incluidos en (IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005, 21 April 2006).

Las Figuras 6 a 8 muestran el comportamiento y los índices de respuesta para los sistemas de excitación tipo DC1A, AC1A y ST1A respectivamente.

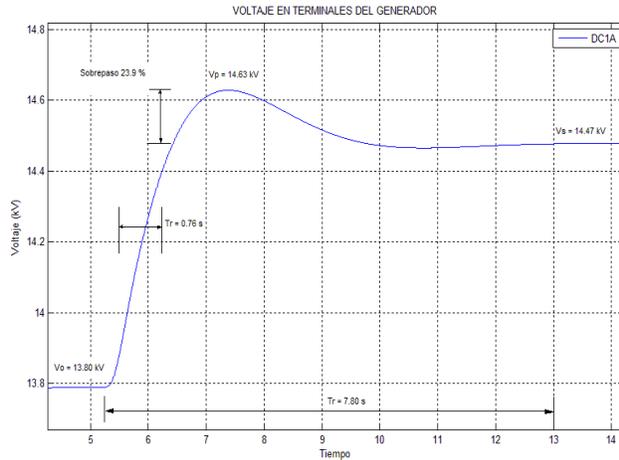


Figura 6. Tensión en terminales del generador en estado estable y respuesta al aumento de 5% en el voltaje de referencia para el sistema de excitación tipo DC1A

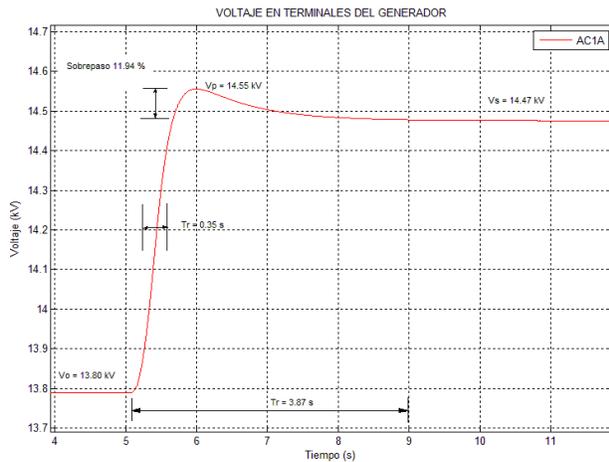


Figura 7. Tensión en terminales del generador en estado estable y respuesta al aumento de 5% en el voltaje de referencia para el sistema de excitación tipo AC1A

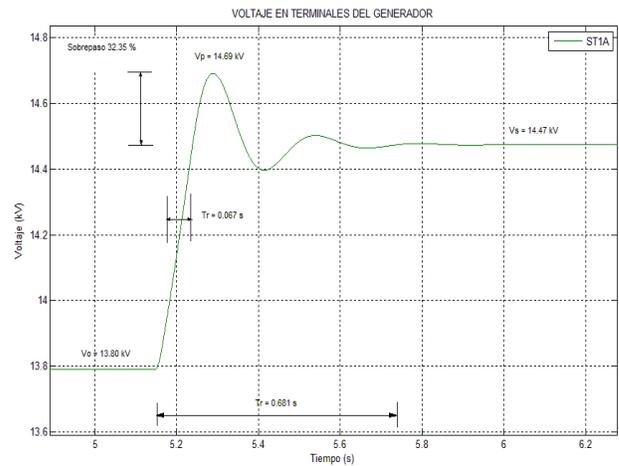


Figura 8. Tensión en terminales del generador en estado estable y respuesta al aumento de 5% en el voltaje de referencia para el sistema de excitación tipo ST1A

B. Prueba de variación de carga en el sistema

Esta prueba consiste en variar la carga conectada a un sistema eléctrico de potencia en donde se encuentra conectado el generador síncrono de tal manera que se pueda observar el comportamiento de las diferentes variables del sistema ante la acción del excitador conectado al generador síncrono. En este caso la prueba consistió en un incremento de carga equivalente al 25 % de la capacidad del generador.

Las Figuras 9 a 12 muestran el comportamiento de algunas variables del sistema ante un incremento de carga.

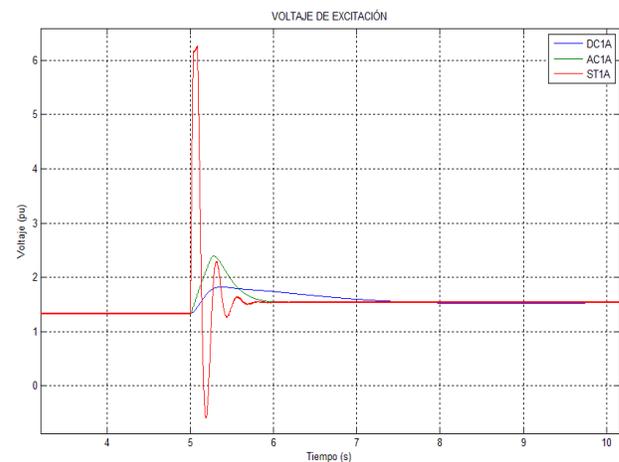


Figura 9. Tensión de excitación ante un incremento de carga para cada uno de los sistemas de excitación: DC1A, AC1A y ST1A

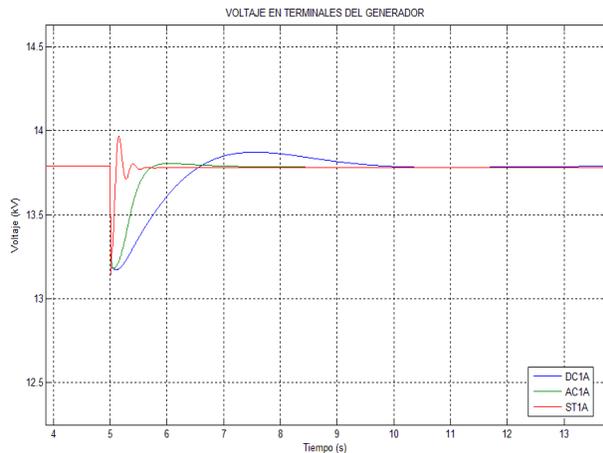


Figura 10. Tensión en terminales del generador ante un incremento de carga para cada uno de los sistemas de excitación: DC1A, AC1A y ST1A

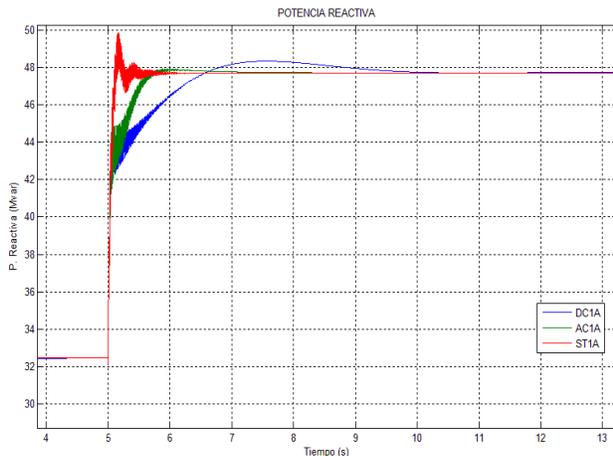


Figura 11. Potencia Reactiva ante un incremento de carga para cada uno de los sistemas de excitación: DC1A, AC1A y ST1A

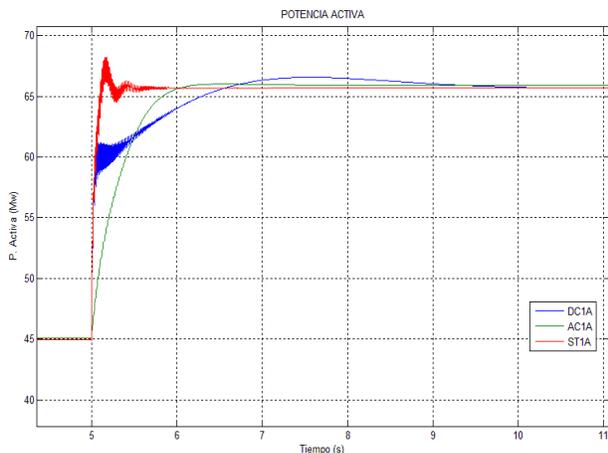


Figura 12. Potencia Activa ante un incremento de carga para cada uno de los sistemas de excitación: DC1A, AC1A y ST1A

Cuando existe un incremento de carga se produce una caída de tensión, por lo tanto el sistema de excitación actúa incrementando la corriente de excitación para mantener la tensión nominal en las terminales del generador.

XII. RESULTADOS

Una vez realizadas las simulaciones de los casos, se verificó que los índices de respuesta de los tres sistemas de excitación cumplieran con los rangos aceptables establecidos por la IEEE al aplicar el cambio en la tensión de referencia, además de que se verifica el comportamiento de diferentes variables ante el cambio de carga en el generador.

En la Tabla II se muestran los resultados obtenidos de los índices de respuesta de cada uno de los sistemas de excitación, además se menciona si los sistemas cumplen con los rangos aceptados por la IEEE.

TABLA II. ÍNDICES DE RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE EXCITACIÓN

Sistema de excitación	Índice de respuesta			Cumple con la norma
	Sobrepaso [%]	Tr [s]	Ts [s]	
DC1A	23.90	0.76	7.80	Sí
AC1A	11.94	0.35	3.87	Sí
ST1A	32.55	0.06	0.68	Sí

Como se observó en la prueba para determinar los índices de respuesta, el sistema de excitación estático (ST1A) tiene los tiempos de respuesta y estabilización más rápidos, aunque presenta el mayor pico y el mayor porcentaje de sobrepaso, seguido en rapidez por el sistema de corriente alterna (AC1A) y por último el de corriente directa (DC1A).

Referente a la prueba de variación de incremento de carga se produce una caída de tensión en terminales del generador, por lo tanto el sistema de excitación actúa incrementando la corriente de excitación para mantener la tensión nominal en las terminales del generador. Como se verificó en el caso del incremento del 5% de la tensión de referencia, para el caso de la variación de carga los resultados fueron similares en cuanto a los tiempos de respuesta y estabilización. Considerando los tres sistemas de excitación, el excitador estático (ST1A) es el que tiene el tiempo de respuesta y estabilización más rápido, seguidos por el AC1A y posteriormente el DC1A.

XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de excitación son una de las partes más importantes en los generadores síncronos debido a que estos suministran la potencia necesaria para generar la tensión en las terminales del generador, además de ayudar a mantener la estabilidad en los sistemas eléctricos de potencia. En este trabajo se describió el comportamiento de los sistemas de excitación más comunes para

generadores síncronos y se realizó la evaluación de cada uno de ellos con ayuda software PSCAD. El objetivo principal fue estudiar los diferentes tipos de sistemas de excitación, modelar, simular y evaluar el funcionamiento de cada uno de ellos bajo distintas condiciones de operación. Además de determinar los índices de respuesta de los tres tipos de sistemas analizados: DC1A, AC1A y ST1A.

Actualmente los sistemas de excitación más utilizados son los sistemas de corriente alterna y los estáticos debido a su rápida respuesta. Los sistemas de excitación de corriente alterna sin escobillas se emplean en generadores de gran capacidad debido a que no es necesario el uso de anillos colectores ni escobillas para suministrar la corriente directa. En los sistemas de excitación estáticos los tiempos de respuesta son muy rápidos, la corriente y tensión de excitación son mucho más altos que en los sistemas de CD y CA, aunque su principal desventaja es que la fuente de potencia es el generador principal y requieren fuentes adicionales para energizar al generador.

Los resultados fueron satisfactorios, aunque solo se analizaron tres de los doce modelos de sistemas desarrollados por la IEEE. Por lo que se deberá realizar una mayor investigación para comparar y determinar el sistema de excitación más adecuado para los distintos tipos de generadores síncronos utilizados en las plantas de generación de energía eléctrica.

XIV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM por las facilidades para el desarrollo de este proyecto. Los investigadores CONACyT agradecen al programa de Cátedras CONACyT.

XV. REFERENCIAS

IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems, IEEE Std 421.2 -2014. (27 March 2014).

IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specification, IEEE Std 421.4™-2014. (27 March 2014).

IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005. (21 April 2006).

IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Std 421.1™-2007. (15 July 2007).

Jerkovic, V., Miklosevic, K., & Spoljaric, Z. *"Excitation System Models of Synchronous Generator"*. Croatia: Faculty of Electrical Engineering Osijek.

Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2002). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems* (2da ed.). John Wiley & Sons, IEEE Press.

Kundur, P. (1994). *"Power System Stability and Control"*. McGraw Hill.

XVI. BIOGRAFÍA



Martínez Gamboa Irving Uriel. Estudiante de la carrera de ingeniería eléctrica con especialidad en potencia y uso eficiente de la energía del Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, México. Él actualmente cursa el 9no semestre de la licenciatura, realizando la residencia profesional en el área de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de La Laguna. Las áreas de interés son: sistemas eléctricos de potencia, máquinas y redes eléctricas, energías renovables, protecciones de sistemas eléctricos.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Michel Rivero Corona. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Rodrigo Loera Palomo. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en 2013 en la misma institución. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de investigación corresponden a los sistemas electrónicos de potencia, reguladores conmutados de alta frecuencia y teoría de control aplicada a sistemas electrónicos de potencia.

Máquina Bobinadora Semiautomática de Mínimo Error

R. Adame-Delgado¹, R.A. Favela-Herrera¹, A. Reynoso-Segovia¹

Resumen— El presente artículo tiene como propósito la implementación práctica del rebobinado de motores eléctricos, debido a que en las industrias la necesidad por mantener trabajos rigurosos y constantes con la implementación de motores eléctricos se ha convertido en algo indispensable, a la par de esta necesidad el surgimiento de empresas que proporcionen mantenimiento y reparación a dichos motores se ha incrementado, ahí es donde el enfoque de la máquina bobinadora tiene su implementación práctica.

Para el rebobinado se requiere un proceso largo y meticuloso, pues un mínimo error puede provocar la falla en el motor rebobinado, lo cual afecta directamente los costos de la empresa. En el caso de la reparación manual se requiere de un proceso que toma entre 6 a 8 horas de trabajo por parte de un técnico capacitado. Por tal motivo, la creación de una máquina bobinadora semiautomática para la reparación de los motores, capaz de bobinar inducidos de motores eléctricos, disminuyendo así, el tiempo de reparación y garantizando un posicionamiento óptimo del alambre de cobre de acuerdo al esquema de bobinado previamente configurado en el equipo, representa una gran inversión para pequeños y medianos talleres.

Palabras claves—Bobinado, máquina bobinadora, motor eléctrico.

Abstract— This article aims to show the practical implementation of the rewinding of electric motors, because in the industries the need to maintain rigorous and constant work with the implementation of electric motors has become indispensable, along with this need the emergence of companies that provide maintenance and repair to such motors has increased, this is where the approach of the winding machine has its practical implementation.

A long and meticulous process is required for rewinding, as a minimum error can cause rewind motor failure, which directly affects the costs of the company. In the case of manual repair requires a process that takes between 6 to 8 hours of work by a qualified technician. For this reason, the creation of a semiautomatic winding machine for the repair of the motors, able to wind inductors of electric motors, thus reducing the repair time and guaranteeing an optimal positioning of the copper wire according to the previously configured winding scheme in the equipment, represents a great investment for small and medium electric motor shops.

Keywords— Winding, winding machine, electric motor.

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico N 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Cd. Lerdo, Dgo. C.P. 35150
R. Adame-Delgado (radame@itslerdo.edu.mx), R.A. Favela-Herrera, A.Reynoso-Segovia.

XVII. INTRODUCCIÓN

La historia del desarrollo tecnológico demuestra que múltiples equipos fueron construidos mucho antes de haber desarrollado sus cálculos tomando en parte la experiencia de otros equipos ya construidos, resaltando en estos casos la alta valoración que se le otorga a la experiencia. El diseño de un motor presenta determinadas exigencias, entre las que resaltan el poder desarrollar la potencia requerida sin que el calentamiento provoque temperaturas en las partes de la máquina superiores a la permisible, además el sistema de aislamiento debe poseer la protección adecuada para conservar su tiempo de vida útil sin dañarse por la acción del voltaje aplicado y que sus características satisfagan las exigencias técnicas [1].

La realización de este proyecto viene motivada por la necesidad de disponer de una herramienta rápida y efectiva para bobinar motores eléctricos [2]. La necesidad de ésta inversión se debe al tiempo de demora que supone la fabricación de las bobinas por terceros, siendo posible con ésta máquina crear y modificar al momento de seleccionar las características deseadas de la bobina el diseño de numerosos bobinados, optimizando con ello la manera manual, casi artesanal, en que se fabrican en los talleres.

La investigación se realizó en base a la necesidad que presentan empresas como: Grupo Exxes de México, Takata de México, Motores John Deere, Caterpillar Torreón, Toyota, Bushocu Seutechde México, Lincoln Electric Manufactura entre otras para el rebobinado de los motores, pues por causa de la sobrecarga así como distintos factores que pueden afectar o provocar un corto circuito en el sistema eléctrico dejando como consecuencia un mecanismo inhábil.

El proceso de rebobinar requiere un proceso largo y meticuloso, pues un mínimo error puede provocar la falla en el motor rebobinado, lo cual afecta directamente los costos de la empresa. Para dar un enfoque más objetivo a lo ya mencionado, tomemos como ejemplo a SIDEAPA la empresa encargada del agua potable y alcantarillado de la localidad, la cual cuenta con un gran número de pozos de agua potable los cuales operan con motores de 500 HP los cuales en algún momento requerirán rebobinarse. El rebobinado de un motor de estas características requiere un presupuesto en material de miles de pesos, el cual representa una gran inversión para pequeños y medianos talleres. Por esto mismo el taller o empresa encargada del

rebobinado del motor debe ser lo más precisa y eficaz posible ya que un pequeño error puede causar nuevamente un corto circuito.

La construcción de la máquina bobinadora se desarrolla con la finalidad de confeccionar bobinas de motores eléctricos, esta máquina permite realizar bobinas de diferentes tipos, de una forma semiautomática [3]. Para la construcción del sistema de control se realizó un análisis de los elementos necesarios para automatizar el funcionamiento del motor eléctrico, con la finalidad de realizar grupos de bobinas con un número exacto de espiras, mejorando así la calidad del rebobinado en los motores, con respecto al método tradicional.

Primeramente fue necesario realizar un estudio del arte acerca de los tipos de rebobinadoras que existen y los pasos que se llevan a cabo en los diferentes procesos: *manual*, *semiautomático* y *automático*. En el primer proceso, se debe medir exactamente el diámetro de la bobina del yugo del motor a ser rebobinado, y escoger el tipo de molde, ya sea imbricado o concéntrico; en este proceso, el operario guía el alambre en el molde y debe dar también movimiento rotacional a la rebobinadora de banco manual, estando al pendiente del número de espiras de cada bobina, su respectivo paso, y el sentido de giro de los moldes. Para el segundo proceso, también interviene la mano del hombre, pero con una gran diferencia, que en este caso se cuenta con una máquina eléctrica, la cual es manipulada mediante un control semiautomático, dicha máquina brinda parámetros de construcción de grupos de bobinas, tales como número de espiras, velocidad, sentido de giro, que ayudarán a tener un arrollamiento nuevo de mejores características y condiciones, en comparación con las que son construidas manualmente. En el proceso automático, la rebobinadora es capaz de funcionar sin la intervención de ninguna persona, es decir, la que actúa por un hecho determinado, esta máquina realiza todo el proceso de confección de bobinas en forma sincronizada, es decir no interviene la mano del hombre, funciona con una interfaz hombre-máquina, se utiliza para confeccionar grupos de bobinas en serie, debido a que todo movimiento y especificación técnica de la bobina es controlado por un teclado. De acuerdo a [4], es de vital importancia el estudio de los elementos de la máquina rebobinadora para el fácil montaje y desmontaje de piezas o elementos de máquina, facilitando de la misma manera el mantenimiento de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos de la misma, se invita al lector interesado en cada sistema revisar la referencia anterior citada, que especifica y desarrolla a profundidad cada uno de estos sistemas.

Posteriormente se hizo una comparación de la situación inicial, los materiales presentes para la fabricación de la máquina y los elementos al alcance, con los diversos procesos.

Por último, se propuso la construcción de la máquina en la fase semiautomática y se realizaron pruebas. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, el siguiente alcance del diseño de la máquina bobinadora será pasar de ser semiautomática a ser automática, en corto plazo.

XVIII. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Para poder comprender lo que es bobinar rotores primero se debe definir la palabra bobinar, la misma significa enrollar alambre de cobre en cierto lugar, en este caso en un núcleo de material ferroso, para que al momento de alimentar dicha bobina o devanando de alambre de cobre este produzca magnetismo y así generar campo magnético, el principio de funcionamiento de los rotores se basa en transformar energía eléctrica en energía mecánica rotacional [4]. Diseñar y construir una máquina semiautomática para el bobinado de inducidos de motores eléctricos requiere conocer algunos conceptos y procesos para aterrizar el proyecto, a continuación se desarrollan los aspectos fundamentales para el rebobinado de motores eléctricos.

A. Sistemas de rebobinados en motores eléctricos

El rebobinado de motores eléctricos es una de las actividades más realizadas al momento de detectar cortocircuito o quemadura del arrollamiento del motor. La cual consiste en retirar el arrollamiento antiguo y confeccionar el nuevo, éste puede ser realizado por una rebobinadora de banco manual o rebobinadoras eléctricas las que pueden ser semiautomáticas o automáticas. Que consiste en arrollar el alambre esmaltado sobre un molde giratorio provisto de gargantas de guía, que mediante un accionamiento manual o automático, se da movimiento rotacional al molde, de ésta manera se cuenta el número de espiras por bobina éstas pueden ejecutarse individualmente (una sola vez) o bien por grupos (varias cada vez) [3]. A continuación se describen brevemente los tipos de bobinadoras y los pasos para el proceso de bobinado, según Martin, J.C. (2012), [5]:

Bobinadoras manuales. Son bobinadoras multifunción en las que el operario debe mover manualmente, mediante una manivela, un sistema motriz basado en un juego de engranajes.

Bobinadora de contrapunto. En este tipo la zona de trabajo se cierra con un elemento móvil denominado contrapunto, que, mediante una punta cónica, bloquea el eje principal una vez se ha ubicado el carrete o molde sobre el que se va a bobinar.

Bobinadora de eje al aire. Este tipo no requiere que el eje se apoye sobre ningún elemento de contrapunto. Se utiliza para la construcción de bobinas de gran tamaño que no necesiten demasiada precisión.

Bobinadoras eléctricas. Son utilizadas para realizar los devanados con mayor rapidez y precisión. En ellas el

sistema motriz está constituido por un motor eléctrico, que puede ser regulado en velocidad para adaptarlo a diferentes tipos de hilos y moldes sobre los que bobinar. Las bobinadoras eléctricas disponen de un contador de vueltas electrónico, además de numerosas posibilidades de ajuste como, por ejemplo, el paso del hilo para la construcción precisa de devanados en carrete. Las más avanzadas están informatizadas, siendo capaces de memorizar programas y ajustes para la ejecución rápida de tareas predefinidas.

Las conexiones eléctricas entre conductores, y entre estos y los bornes de las máquinas, deben hacerse retirando previamente el esmalte protector. Si bien esta operación puede hacerse mediante raspado del mismo utilizando una lija u otro elemento cortante, lo ideal es utilizar una herramienta rápida y precisa diseñada específicamente para tal fin, como puede ser la peladora.

Los instrumentos de metrología más utilizados en el taller de reparación de máquinas eléctricas son el vernier y el micrómetro. Las cizallas son herramientas utilizadas para cortar los aislantes flexibles con precisión. Al igual que ocurre en otras técnicas industriales, el operario de mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas necesitará herramientas de propósito general como llaves de boca fijas, llaves tubulares, llave inglesa, llaves Allen, etc. No obstante, deberá disponer también de algunas herramientas para tareas específicas, como moldes de bobina (son elementos preformados que permiten crear las bobinas, o grupos de bobinas, de los devanados de una forma sencilla), multímetro, medidor de resistencia de aislamiento, medidor de inductancia, tacómetro, etc.

Básicamente el rebobinado de un motor es un proceso paso a paso que debe cumplirse estrictamente.

Los pasos a seguir son los siguientes [4]:

- 1) *Toma de datos*: Estos se toman antes y durante la extracción del bobinado antiguo con ayuda de una tabla de datos, dicha tabla contiene los datos característicos del motor, por mencionar algunos como potencia, velocidad, tensión, corriente, frecuencia, número de bobinas, número de ranuras, conexión, diámetro de conductor, número de polos, etc.
- 2) *Cálculo del número de espiras*: En este paso, se toma en cuenta que todos los motores trifásicos están provistos de un arrollamiento del estator de doble capa, es decir, con igual número de bobinas que de ranuras; las bobinas van conectadas formando tres arrollamientos independientes, denominados “fases” (designados generalmente con letras A, B y C). Puesto que cada fase debe estar constituida por el mismo número de bobinas, este será igual a un tercio del número total de bobinas existentes en el estator. En este paso se

aplican reglas y cálculos que proporcionan datos importantes para el diseño de las bobinas.

- 3) *Extracción del arrollamiento antiguo*: Antes de extraer es preciso determinar y anotar de qué modo están unidos entre sí los diversos polos y cuál es la clase de conexión.
- 4) *Aislamiento de las ranuras estatóricas*: El aislamiento original será reemplazado por otro de igual calidad y espesor.
- 5) *Confección de las bobinas*: Depende de su forma, pueden ser concéntricos e imbricados.
- 6) *Colocación de las bobinas en las ranuras*: Requiere pericia y mucho cuidado, generalmente se realiza introduciendo espira por espira en los motores.
- 7) *Conexión de las bobinas entre sí*: Las tres fases de un motor trifásico están siempre conectadas en estrella o delta.
- 8) *Verificación eléctrica del nuevo arrollamiento*: Pruebas de contacto, de interrupciones, cortocircuito, etc.
- 9) *Secado e impregnación*: Se introduce el motor en una estufa a unos 120 °C y se deja durante 2-3 h. Después se impregnan las bobinas de 5-10 min con barniz de buena calidad, y dejan escurrir. Por último, se repite el proceso de secado en la estufa.

B. Dimensionamiento de una máquina bobinadora

Al elaborar grupos de bobinas con ayuda de una rebobinadora de banco manual, no se puede asegurar tener el mismo número de espiras en cada bobina del grupo, tiene como consecuencia grupos de bobinas de diferente valor de impedancia.

En cambio, construyendo la máquina bobinadora semiautomática de mínimo error, con vueltas programables se asegurará el número exacto de espiras en cada grupo de bobinas, realizando un arrollamiento en menor tiempo, que en una bobinadora manual.

Para desarrollar la bobinadora semiautomática, se deben conocer cada una de las partes que la conforman. Para el dimensionamiento de las partes constructivas, se debe proporcionar los datos y la información necesaria para la construcción de las mismas, obviando aquellas que se encuentran estandarizadas. Para facilitar el entendimiento de cada una de las partes de la bobinadora, se ha dividido en los siguientes conjuntos:

- Estructura metálica
- Unión de los componentes de la máquina
- Elementos de transmisión de movimiento
- Elementos eléctricos
- Elementos de control

C. Construcción e instalación de la máquina bobinadora de mínimo error

La máquina bobinadora semiautomática de mínimo error llega, a su culminación, debido a todos los datos, parámetros, análisis y criterios que se puntualizaron anteriormente, todos se juntan para realizar, en forma real lo que se dimensionó. Se enlistan de manera general las actividades realizadas para llegar a este punto.

1. Se llevó a cabo una investigación teórica acerca de máquinas eléctricas, variedad de máquinas bobinadoras, tipos de bobinas y sus características, herramientas y equipo necesario para su fabricación.
2. Se generó la lista de materiales a utilizar.
3. Se realizó una cotización de los materiales.
4. Se compraron los materiales.
5. Se verificó que se adquirieran todos los materiales necesarios.
6. Se hizo una planificación del diseño del prototipo (áreas mecánica, eléctrica y electrónica).
7. Elaboración de la primera fase de la parte mecánica. Se realizó la construcción de la estructura que sujetará el alambre y sus guías.
8. Elaboración de la primera fase de la parte eléctrica. Se hace la conexión del motor y sus protecciones.
9. Elaboración de la primera fase de la parte electrónica. Se empieza la programación del Arduino y el diseño de la interfaz para el usuario.
10. Se detalló y finalizó la parte mecánica.
11. Se detalló y finalizó la parte eléctrica.
12. Se detalló y finalizó la parte electrónica.
13. Se corrigieron posibles errores.
14. Se realizaron pruebas con la máquina. Generando diversos bobinados como muestra de su funcionamiento.
15. Y por último se presentó la máquina bobinadora semiautomática de mínimo error.

D. Costos de materiales y equipo

A continuación se muestra en la tabla I el material de la parte mecánica utilizada en la máquina:

TABLA I
RECURSOS DEL ÁREA MECÁNICA

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	PTR 1/2"	\$110.00	\$110.00
9	Soldadura	\$3.33	\$30.00
1	Placa de acero (60x50 cm)	\$120.00	\$120.00
15	Tornillos	\$1.00	\$15.00
1	Lata de pintura negra	\$50.00	\$50.00

1	Solera 1/2"	\$40.00	\$40.00
2	Rieles	\$40.00	\$80.00
2	Chumaceras	\$260.00	\$520.00
TOTAL			\$965.00

En la tabla II se muestra el material y equipo de la parte eléctrica utilizada en la máquina:

TABLA II
RECURSOS DEL ÁREA ELÉCTRICA

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
4	Contactores 1017	\$350.00	\$1400.00
2	Pastillas trifásicas	\$250.00	\$500.00
2	Motor 1 H.P 220v	\$1800.00	\$3600.00
10	Cable #10	\$2.70	\$27.00
4	Relevadores de sobrecarga	\$50.00	\$200.00
1	Arduino	\$350.00	\$350.00
TOTAL			\$6077.00

Los recursos financieros o costos totales para la construcción del prototipo de la máquina bobinadora de mínimo error, fueron otorgados por el área de investigación del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y ascienden a:

- Parte Mecánica: \$965.00 M.N.
 - Parte Eléctrica: \$6077.00 M.N.
- Total: \$7042.00 M.N.**

E. Pruebas

Para las pruebas respectivas del sistema de la máquina bobinadora semiautomática se realizaron pruebas de prototipos de bobinas (haciendo uso de moldes de bobina), verificando así el funcionamiento de cada una de las partes mecánicas, eléctricas, electrónicas y de control. En la figura 1, se muestra una prueba del bobinado con estambre.



Figura 1. Prueba de bobinado

XIX. RESULTADOS

Con la creación de la máquina bobinadora semiautomática de mínimo error el técnico bobinador

tendrá una herramienta más precisa, sencilla y efectiva para conseguir la bobina o grupos de bobinas del tamaño y forma que se requiera.

A continuación se explicará de manera concisa cómo se utiliza la máquina bobinadora.

a) Se inicia con el encendido de los interruptores termomagnéticos (protección de la máquina).

b) Se seleccionan las medidas y se ajustan según sea el caso, de modo que el peso de la bobina no logre mover el molde (véase figura 2).



Figura 2. Diferentes tipos de moldes para la construcción de bobinas [5]

c) Se sujeta el alambre magneto a la medida inicial, éste deberá pasar por los dos ojales, los cuales lo guiarán al momento de crear las bobinas (véase figura 3).



Figura 3. Ojales guía

d) Después se deberá realizar un pequeño doblé con el alambre magneto para sujetarlo del primer paso de las medidas (véase figura 4).

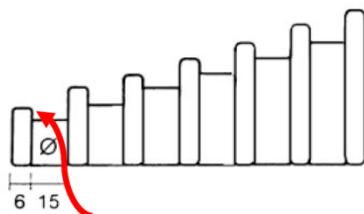


Figura 4. Sujeción inicial en el molde

e) Encender el sistema mediante el interruptor. Aquí aparecerá un mensaje de bienvenida (véase figura 5).

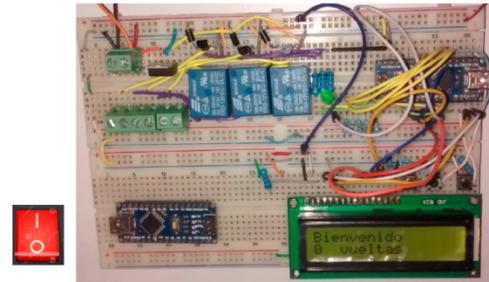


Figura 5. Inicio del sistema

f) Se determina el número de vueltas, de acuerdo a lo establecido en los tres botones indicados en la figura 6. El botón derecho sumará el número de vueltas con cada pulso, el botón central restará el número de vueltas con cada pulso en caso de que se requiera disminuir el número de vueltas establecido previamente, y el botón izquierdo dará inicio al proceso (véase figura 7).

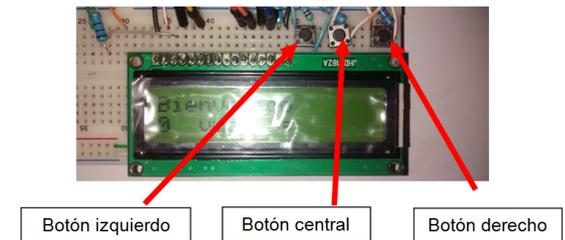


Figura 6. Control de vueltas



Figura 7. Inicio del proceso de bobinado

g) Para dar por terminado el proceso y preservar el buen estado del equipo se debe desconectar el tablero de control de la alimentación de 220 V y apagar el Microcontrolador Arduino.

La figura 8, da una vista de la máquina completa, en donde el operario está ajustando el alambre en los ojales guía.



Figura 8. Ajuste del alambre en máquina bobinadora semiautomática

XX. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El diseño y la construcción de una máquina bobinadora semiautomática programable, ofrece apoyo y eficacia al técnico bobinador para la creación de grupos de bobinas y bobinas de un motor eléctrico.

La implementación de esta máquina proporciona mayor seguridad, orden y eficacia al proceso de rebobinado de motores, en contraste con la elaboración manual.

Además, se reduce el tiempo de creación de los grupos de bobinas de motores eléctricos, a su vez aumenta la producción de motores rebobinados en una empresa. Por lo tanto, el impacto en el sector tecnológico da ciertas ventajas para los operarios que intervienen en dicho proceso. El diseño de la máquina aún puede optimizarse, y esto tendrá repercusión en la industria, pues ofrecería una eficacia total que se representa en la disminución de gastos innecesarios, dejando una ganancia al dueño de la máquina al implementarse de forma adecuada.

La actual máquina bobinadora semiautomática ya ofrece ventajas en comparación con las máquinas existentes en el mercado, se está trabajando en mejorar tiempos, procesos, automatización y presentación de la misma. Lo que pondrá en el mercado una opción potencial para todas las empresas.

XXI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo el apoyo para llevar a cabo la construcción de la Máquina Bobinadora Semiautomática de Mínimo Error en

conjunto con los estudiantes de la Ingeniería en Electromecánica.

XXII. REFERENCIAS

- [7] Sesma, F., & Bermúdez, P. (2003). "Cambio de bobinados en motores de inducción a partir del análisis dimensional". Ingeniería Energética, 24(1), 40-a. Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/download/209/207>
- [8] Murillo Hurtado, J. E., & Serna Grisales, A. (2010). "Manual para el rebobinado de motores eléctricos de inducción" (Tesis de licenciatura, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira). Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2074/6/2146M977.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] Albuja Calo, E. P. (2012). "Construcción de una Máquina Rebobinadora Semiautomática para la confección de bobinas en los Motores Eléctricos Trifásicos de dos y cuatro polos con moldes tipo Imbricado Simple y Concéntrico, en un Rango de Potencia de 2 hp hasta 50 hp" (Tesis técnica, QUITO/EPN/2012). Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4942>
- [10] Manzano Puente, R. P., & Mosquera Araujo, D. E. (2016). "Diseño y construcción de una máquina bobinadora semiautomática para inducidos de motores eléctricos de diámetros entre (30-70) mm, para la empresa de "Servicios eléctricos industriales Delta"(Ambato-Ecuador)". (Tesis de licenciatura, Universidad de las Fuerzas Armadas. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica).
- [11] Martín, J. C. (2012). "Máquinas eléctricas". Editex. pp. 44-59



Ing. Raymundo Adame Delgado, nacido en Durango, Durango el día 04 de Enero de 1973. Se graduó de la Ingeniería Industrial Mecánica, con especialidad en Térmica, en el Instituto Tecnológico de Durango. Estudio la Maestría en Educación en la Universidad Interamericana para el Desarrollo, en Gómez Palacio, Dgo. Él actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la carrera de Electromecánica, y en la Universidad Politécnica de Gómez Palacio en la especialidad de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura. Ha participado en el desarrollo de los prototipos "Convertidor de energías", "Ciclo Rankine", "Protector Solar para Auto" y "Bobinadora de mínimo Error". Líneas de Investigación de interés: Automatización y Procesos de Manufactura.



Raquel Araceli Favela Herrera: nacida en Durango, Durango el 09 de enero de 1980. Se graduó del Instituto Tecnológico de Durango de la carrera de Licenciatura en Administración. Estudió la Maestría en Administración en la Universidad Autónoma de la Laguna, en Torreón, Coahuila, titulándose en 2009. Ella es docente de la División de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y ha laborado en la industria para diversas empresas de la Comarca Lagunera. Sus áreas de interés son: Gestión de proyectos, Gestión de la innovación, incubación de empresas y emprendimiento. La M.A. Favela ha sido consultora en la incubación de diversas empresas.



M.C. Adriana Reynoso Segovia. Nació en 1986 en Torreón, Coahuila, México. En 2007 obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Durango. Y el grado de Maestra en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 2011. Ella es docente de la División de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Sus áreas de interés son: Redes de tierras, Descargas Atmosféricas, Control de Ruidos y Energías renovables.

Modelado y Simulación de Sistemas Fotovoltaicos y Eólicos en PSS/E y GMB

J.E. Morón-Monreal¹, M.A. Arjona-Lopez², C. Hernández-Flores³, L. Hamdán-Medina⁴

Resumen—Este documento presenta la experiencia en el manejo del software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSS/E. En donde introducirá sistemas de energía renovables. Se modela un sistema fotovoltaico y un parque eólico equivalente y algunos conceptos de los sistemas eléctricos de potencia. Los principales temas a ser discutidos y demostrados incluyen el análisis de flujo de potencia en corriente alterna. Los ajustes se han probado en un sistema de la IEEE con 9 buses, integrando un sistema fotovoltaico y un parque eólico equivalente. El modelado y simulación de sistemas fotovoltaicos y eólicos en PSS/E ayudan a comprender el comportamiento del sistema eléctrico ya sea en estado estacionario o en estado transitorio. Esto nos permite tener una visión muy precisa del estado del sistema eléctrico implementado.

Palabras claves—Generador de Inducción Doblemente Alimentado, Flujo de Carga, GMB, Modelo Fotovoltaico, Modelo del Aerogenerador, PSS/E.

Abstract—This paper presents the experience in the management of PSS/E power systems simulation software. Where it will introduce renewable energy systems. Modeling a photovoltaic system, an equivalent wind farm and energy systems concepts. The main topics to be discussed and demonstrated include AC power flow analysis. The adjustments have been tested in an IEEE system with 9 buses, integrating a photovoltaic system and an equivalent wind farm. The modeling and simulation of photovoltaic and wind systems in PSS/E help to understand the behavior of the electrical system either at steady state or in transitory state. This allows us to have a very precise vision of the state of the implemented electrical system.

Keywords—Doubly Fed Induction Generator, GMB, Load Flow, Photovoltaic Model, Wind Turbine Model, PSS/E.

XXIII. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías basadas en los combustibles fósiles han avanzado en nuestra calidad de vida, pero al mismo tiempo, estos avances han llegado a un precio muy alto. Las fuentes de energía de los combustibles fósiles son la

principal causa de contaminación y degradación del medio ambiente. Logrando destruir irreversiblemente aspectos de nuestro medio ambiente. El calentamiento global es el resultado del consumo desmedido del combustible fósil. Nuestra búsqueda implacable y la necesidad de controlar los valiosos recursos de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural, han promovido también conflictos políticos. Ahora dependemos de fuentes de energía que son insostenibles a medida que crecen nuestras necesidades de energía y agotamos nuestros recursos limitados. A medida que disminuyan los suministros de petróleo, será cada vez más urgente encontrar alternativas energéticas que sean sostenibles y seguras para el medio ambiente y la humanidad.

La creciente preocupación por el calentamiento global, el crecimiento exponencial de la población mundial y el hecho de que se está haciendo más difícil y más caro extraer petróleo muestra un gran atractivo el uso de fuentes de energía renovables. La energía eólica y la solar son unas de las fuentes de energía más importantes del mundo.

La energía eólica es un tipo de energía renovable cuya fuente es la fuerza del viento. La forma típica de aprovechar esta energía es a través de la utilización de aerogeneradores o turbinas de viento. Los paneles solares fotovoltaicos utilizan el efecto fotovoltaico para transformar la energía solar en electricidad. Durante este proceso, no se producen emisiones contaminantes. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos se consideran para proporcionar energía y ayudar a reducir las emisiones globales de carbono.

XXIV. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

El estudio del flujo de carga, también llamado flujo de potencia, distribución de carga, etc., consiste en la determinación de voltajes, intensidades, potencias activas y reactivas en distintos puntos de una red eléctrica. Se consideran sistemas en régimen permanente, equilibrados, sinusoidales sin anomalías.

Los resultados que se obtienen son, generalmente, la magnitud y la fase de la tensión en cada barra, así como la potencia activa y reactiva entrantes en cada una de ellas. Estos resultados pueden ser utilizados para:

- a) Evaluar el comportamiento del sistema existente en condiciones estacionarias normales o anormales.

¹ Jorge Elliott Morón Monreal (j.elliott.m.m@gmail.com), ² Dr. Marco Antonio Arjona López (marjona@ieee.org), ³ Dra. Concepción Hernández Flores (coni.hernandez.f@gmail.com), ⁴ M.C. Lamia Hamdam Medina (lhamdan11@gmail.com) Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución S/N y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

- b) Estudiar alternativas para la planeación de nuevos sistemas o ampliación de los ya existentes.
- c) Estudiar la estabilidad transitoria y permanente de sistemas de potencia
- d) Elaborar plan de contingencias ante fallo de un elemento de la red.

A diferencia de los problemas considerados en la Teoría General de Circuitos, cuya solución consistía, utilizando el método de nodos y mallas, en la resolución de un sistema de ecuaciones algebraicas lineales, en una red de potencia, las ecuaciones que ligan las incógnitas son no lineales, por lo cual deberemos valernos de los métodos matemáticos más recientes del cálculo numérico. Estos métodos, en general iterativos, permiten una rápida resolución al problema.

A. Consideraciones Flujo de Carga

El sistema eléctrico de potencia está diseñado para atender sus cargas y considerar la optimización de los costos de capital y operación. El sistema de alimentación debe funcionar dentro de la capacidad de las líneas de transmisión y transformadores, también todas las tensiones del bus deben permanecer dentro del rango aceptable. Al mismo tiempo, la potencia real y reactiva de los generadores debe mantenerse dentro de sus valores nominales. Para el cálculo del flujo de potencia, los siguientes son los parámetros básicos de entrada:

1. Impedancias de la línea de transmisión y admitancias de carga.
2. Impedancias de transformador y relaciones de derivación.
3. Admitancias de dispositivos conectados por derivación tales como condensadores estáticos y reactores.
4. Consumo de potencia de carga en cada bus del sistema.
5. Potencia real de cada generador o planta generadora.
6. Tanto la magnitud del voltaje en cada bus del generador como la potencia reactiva de cada planta generadora.
7. Capacidad de potencia reactiva máxima y mínima de cada planta generadora.

Y las cantidades siguientes necesitan ser resueltas:

1. La magnitud de la tensión en cada bus, donde esto no se especifica en los datos de entrada.
2. La fase de la tensión en cada bus.
3. La potencia reactiva de cada planta para la cual no se especifica.
4. La potencia real, la potencia reactiva y el flujo de corriente en cada línea de transmisión y transformador.

B. Calculo de Flujo de Carga

El cálculo del flujo de potencia es una cuestión de solución de la red. La red de líneas de transmisión y transformadores se expresa mediante la siguiente ecuación algebraica lineal [1]-[2]:

$$I = Y_{bus}V \tag{1}$$

I: es el vector *N* de las corrientes de las fuentes inyectadas en cada bus.

V: es el vector *N* de los voltajes de bus.

Y_{bus}: es la matriz de admitancias de la red.

Para el bus *k*, la *k*-ésima ecuación es:

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \tag{2}$$

La potencia compleja entregada al bus *k* es:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \tag{3}$$

$$P_k + jQ_k = V_k \left[\sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right]^* \quad k = 1, 2, \dots, N \tag{4}$$

Con la siguiente notación:

$$V_n = V_n e^{j\delta_n} = V_n (\cos \delta_n + j \text{sen } \delta_n) \tag{5}$$

$$Y_{kn} = Y_{kn} e^{j\theta_{kn}} = G_{kn} + jB_{kn} \quad k, n = 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

La ecuación (4) se convierte en:

$$P_k + jQ_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n e^{j(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})} \tag{7}$$

Tomando las partes real e imaginaria de la ecuación (7), podemos escribir las ecuaciones de equilibrio de potencia como:

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \tag{8}$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \text{sen}(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 1, 2, \dots, N \tag{9}$$

También cuando la *Y_{kn}* es expresada en coordenadas rectangulares por:

$$P_K = V_K \sum_{n=1}^N V_n [G_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n) + B_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n)] \quad (10)$$

$$Q_K = V_K \sum_{n=1}^N V_n [G_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n) - B_{kn} \cos(\delta_k - \delta_n)] \quad (11)$$

$k = 1, 2, \dots, N$

Las soluciones de flujos de potencia por el método de Newton-Rapshon se basan en ecuaciones de flujos de potencia no lineales dadas por las ecuaciones (8) y (9) o alternativamente por (10) y (11).

XXV. MODELO DE LA RED.

Para el desarrollo del proyecto se tomara como referencia la red diseñada con un sistema de 9 buses y tres fuentes de generación por la IEEE.

Los sistemas de la IEEE son utilizados por los investigadores para implementar nuevas ideas y conceptos. Esta nota técnica describe los detalles del sistema IEEE 9-Bus [3]. El sistema consta de cargas cuyos valores son especificados en la tabla 1, las líneas de transmisión y generadores como se muestra en el diagrama de impedancias en la Figura 1.

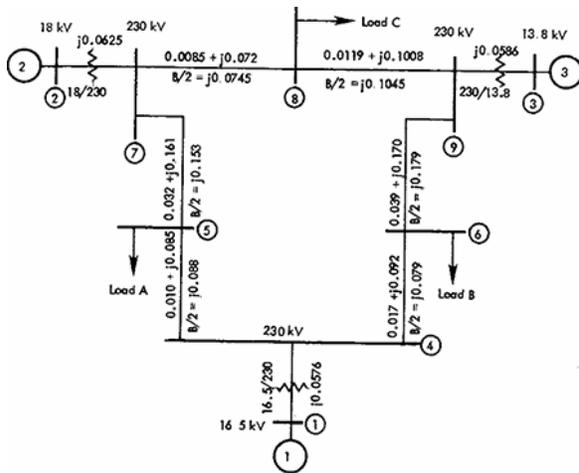


Figura 1. Diagrama de impedancias del sistema IEEE 9 buses

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS IEEE 9-BUS

Bus	P (pu)	Q (pu)
5	1.25	0.50
6	0.90	0.30
8	1.00	0.35

Los niveles de tensión base son 13.8 kV, 16.5 kV, 18 kV y 230 kV.

A. Modelo fotovoltaico en PSS/E

El modelo representa una planta solar con un alimentador dedicado a la interconexión de la red. Para construir un modelo de inversor fotovoltaico se utilizan dos modelos del dispositivo, un modelo de convertidor y un modelo de control [5].

En la etapa de flujo de carga, el inversor fotovoltaico es modelado como un generador convencional conectado a un bus de 400 V, solo usando un transformador. La potencia (MVA) de este generador debe ser igual a la de los dispositivos. La tabla 2 muestra las especificaciones para un inversor de 1.32 MVA con un rango de factor de potencia hasta 0.8 en adelante y 0.8 en atraso.

TABLA 2
PARÁMETROS DEL INVERSOR DE 1.32 MVA

Potencia nominal de la placa	1.056 MW
Generador	1.32 MVA
Pmax	1.056 MW
Pmin	0 MW
Qmax	0.79 MVAR
Qmin	-0.79 MVAR
Voltaje	400 V

El inversor priorizará la producción de potencia real sobre la producción de energía reactiva para asegurar que se respetan los límites de corriente del inversor. En caso de utilizar un modelo de inversor diferente, la tabla anterior debe rellenarse con los valores correspondientes obtenidos de la hoja de datos del inversor. El modelo dinámico presentado de la planta solar consta de las siguientes tres partes:

1. Modelo convertidor [GEPVG]: Inyecta corriente activa y reactiva en la red en respuesta a comandos de control, como señales de potencia que inicialmente tienen los valores correspondientes del flujo de potencia.
2. Modelo de control [GEPVE]: envía comandos de potencia activa y reactiva al modelo del convertidor. Su función principal es el control de potencia reactiva que puede ser referenciado desde una regulación de tensión (VRS), desde el control del factor de potencia o directamente de control de potencia reactiva.

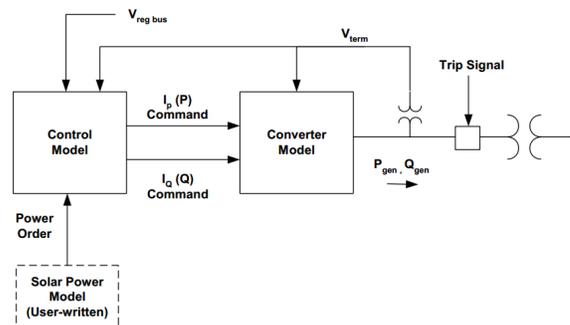


Figura 2. Modelo dinámico de la planta solar GEPVG/GEPVE

B. Modelo del Aerogenerador en PSS/E

El modelo dinámico para el aerogenerador con DFIG (Doubly Fed Induction Generator) en PSS/E está de acuerdo con la recomendación de GE Energy. En la siguiente sección se explicará la estrategia principal del modelo. Hay tres consideraciones cuando el modelo se utiliza para simulaciones dinámicas [4].

1. El modelo es principalmente apropiado para estudios de sistemas de energía complejos. El modelo es para las simulaciones de dominio del tiempo en secuencia positiva.
2. El modelo supone que el análisis se centra principalmente en, cómo el generador de la turbina eólica (WTG) reacciona a las perturbaciones de la red, como las fallas en el sistema de transmisión.
3. Para construir un modelo WTG completo, se utilizan cuatro modelos de dispositivo: modelo generador/convertidor (WT3G), modelo de control eléctrico (WT3E), modelo de control mecánico (WT3T) y modelo de control de Pitch (WT3P). Estos modelos se representan como cuatro bloques en la figura 3.

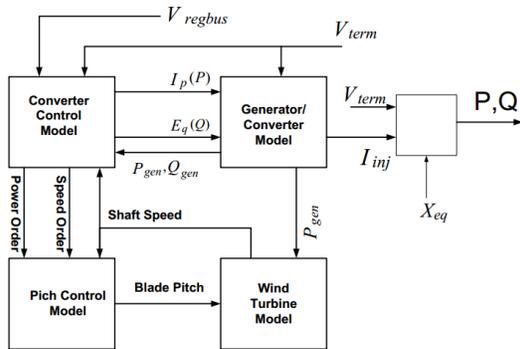


Figura 3. Modelo dinámico del aerogenerador.

Una configuración del sistema de potencia de prueba para estudios de flujo de carga y simulación dinámica consiste en un parque eólico con varias turbinas eólicas. En este estudio sin embargo, el parque eólico se presenta por una sola máquina equivalente conectada a una sola unidad equivalente de transformador. Esta representación se llama modelo agregado de parque eólico.

El modelo agregado se considera suficiente para analizar la respuesta del parque eólico a las perturbaciones de la red y para evaluar el rendimiento de la capacidad de conducción de averías de la turbina eólica. El lado de alta tensión del transformador de la unidad conectado a una línea de transmisión del parque eólico para transferir la energía a una subestación del parque eólico. El nivel de tensión se intensifica en la subestación hasta un nivel adecuado para la conexión a la red.

XXVI. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA IEEE 9-BUS

Después de obtener todos los parámetros del sistema se construyó el sistema IEEE 9-Bus como muestra la figura 4, con todos sus parámetros descritos anteriormente dentro de PSS/E para el análisis objetivo de implementar un sistema fotovoltaico y el sistema eólico.

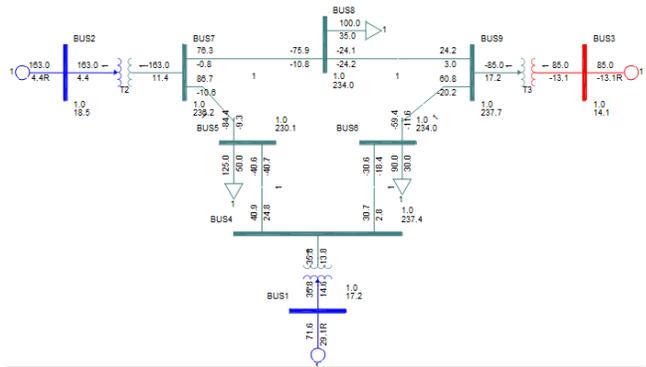


Figura 4. Corrida de flujos del sistema IEEE 9-Bus

A. Caso de estudio

El objetivo de estudio es implementar un aerogenerador; cuyo generador es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), como también implementar un pequeño sistema fotovoltaico e introducir algunos controladores a partir de GMB.

Dentro de la figura 5 se puede apreciar el modelo del sistema de potencia final con los sistemas de generación eólica y solar agregados. Bus 2 se encuentra conectado el aerogenerador con una potencia nominal de 100 MW, sin embargo, el parque eólico se presenta por una sola máquina equivalente conectada a una sola unidad equivalente de transformador con valores ideales.

El Bus 3 se encuentra conectado al sistema fotovoltaico con 10 modelos GEPVG y GEPVE sumando un total de 10 MW de potencia. Por lo tanto el generador conectado al Bus 1 (Bus Swing) es un generador convencional GENSAL (Salient Pole Generator), que cuenta con sistemas de excitación IEEE1, gobernador de velocidad IEEEGO (IEEE Estándar Governor) y estabilizador PSS2A (IEEE Dual-Input Stabilizer Model).

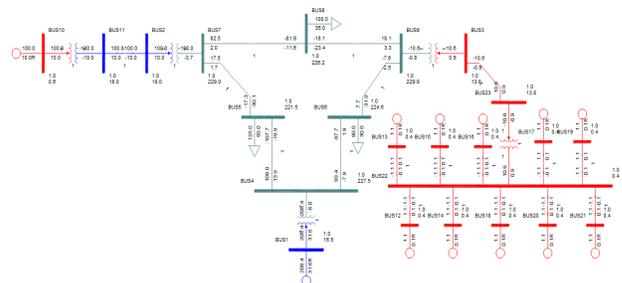


Figura 5. Modelo de la red modificado

B. Modelo del Excitador IEEE1

El propósito del control de excitación, principalmente, es mantener constante la tensión en bornes del generador. En este caso el excitador se utilizará en el Generador GENSAL. La variable de entrada del excitador E_c , es la tensión terminal, y la variable de salida E_{FD} , la tensión de campo [10].

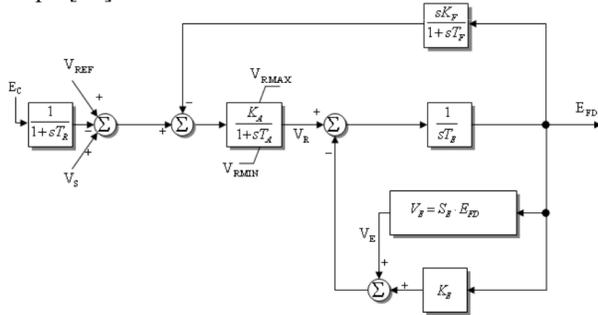


Figura 6. Sistema de excitación IEEE1

Este sistema de excitación posee excitatriz rotativa y un regulador de acción continua. Esta propiedad de regulación inicia una acción correctiva ante cualquier cambio infinitesimal en la variable de control [8]. Para el primer punto de suma se compara la señal de referencia del regulador con la salida del filtro en la entrada para determinar el error en la tensión de entrada al amplificador del regulador. Seguidamente se combina la entrada del error de tensión con la señal del lazo estabilizador de la excitación, para luego dar lugar a la realimentación de la ganancia en la excitación y los efectos de saturación [6].

Algunas consideraciones recomendadas para los parámetros de este dispositivo según [9] son los de la tabla 3.

TABLA 3 RANGOS RECOMENDADOS PARA EL IEEE1

$0 \leq T_R < 0.5$
$-10 \leq V_{RMIN} < 0$
$0.5 < V_{RMAX} \leq 10$
$10 < K_A < 500$
$0 \leq T_A < 1$
$-1 \leq K_E \leq 1$
$T_F < 1$
$0 < K_F < 0.3$
$5 \leq \frac{T_F}{K_F} \leq 15$

Una vez realizado el modelo del excitador en el software NETOMAC empleando GMB (Graphical Model Builder) se procederá a importar dicho modelo hacia el generador GENSAL en PSS/E como sistema de excitación del mismo [11]-[12].

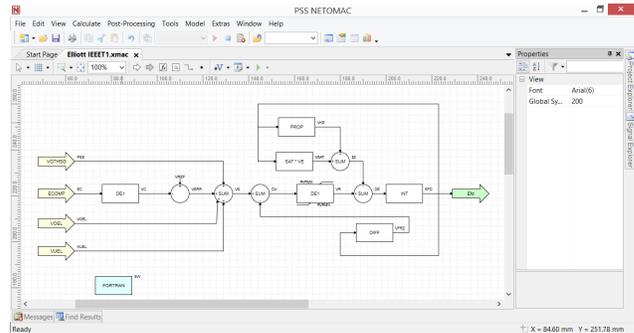


Figura 7. Modelo de excitación IEEE1 en GMB

XXVII. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos con la simulación de flujos de carga en PSS/E. En donde se consigue estimar de manera muy precisa los valores de tensión y ángulo de fase en el sistema IEEE de 9 buses original Tabla 3 y el sistema modificado Tabla 4.

TABLA 3 RESULTADOS DE LOS BUSES IEEE 9-BUS

Bus Number	Bus Name	Base KV	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)
1	BUS1	16.5	1.0400	0.00	1.1000	0.9000
2	BUS 2	18.0	1.0250	9.35	1.1000	0.9000
3	BUS 3	13.8	1.0250	5.14	1.1000	0.9000
4	BUS 4	230.0	1.0253	-2.22	1.1000	0.9000
5	BUS 5	230.0	0.9997	-3.68	1.1000	0.9000
6	BUS 6	230.0	1.0123	-3.57	1.1000	0.9000
7	BUS 7	230.0	1.0268	3.80	1.1000	0.9000
8	BUS 8	230.0	1.0173	1.34	1.1000	0.9000
9	BUS 9	230.0	1.0327	2.44	1.1000	0.9000

TABLA 4 RESULTADOS DE LOS BUSES DEL SISTEMA MODIFICADO

Bus Number	Bus Name	Base KV	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)
1	BUS1	16.5	1.0000	0.00	1.1000	0.9000
2	BUS2	18.0	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
3	BUS3	13.8	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
4	BUS4	230.0	0.9891	-6.97	1.1000	0.9000
5	BUS5	230.0	0.9631	-12.41	1.1000	0.9000
6	BUS6	230.0	0.9766	-12.41	1.1000	0.9000
7	BUS7	230.0	0.9957	-11.05	1.1000	0.9000
8	BUS8	230.0	0.9836	-14.48	1.1000	0.9000
9	BUS9	230.0	0.9985	-13.51	1.1000	0.9000
10	BUS10	0.6	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
11	BUS11	18.0	1.0000	-7.45	1.1000	0.9000
12	BUS12	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
13	BUS13	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
14	BUS14	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
15	BUS15	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
16	BUS16	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
17	BUS17	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
18	BUS18	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
19	BUS19	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
20	BUS20	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
21	BUS21	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
22	BUS22	0.4	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000
23	BUS23	13.8	1.0000	-13.16	1.1000	0.9000

XXVIII. CONCLUSIONES

Se calcularon los voltajes y ángulos de fase en cada bus teniendo una aproximación muy precisa del comportamiento de la red estudiada. Así mismo se integró un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, para conocer la respuesta del sistema ante cambios o modificaciones a la red de transmisión. Como se podrá observar el sistema

operado de manera correcta con las modificaciones realizadas al sistema original de la IEEE.

También se desarrolló un modelo informático del sistema con todos los componentes detallados de la granja eólica equivalente (turbinas eólicas, controlador, transformador, barras colectoras, etc.) y los componentes del sistema solar (transformadores, barras colectoras, convertidores, etc.). El modelado se llevó a cabo en estado estacionario y como trabajo futuro el modelado dinámico del sistema.

Tomar en cuenta tres cálculos comunes esenciales para evaluar el impacto de una interconexión de parques eólicos y de grandes sistemas fotovoltaicos para tener así, seguridad y fiabilidad en los sistemas de energía. Estos cálculos son: cálculo del flujo de potencia, cálculo de cortocircuitos y cálculos dinámicos.

De esta manera los sistemas eólicos y fotovoltaicos en simulación de flujos de carga empleando el caso de estudio del sistema de la IEEE de 9 buses. Forma la base para muchos estudios requeridos para conexión de nuevos elementos a la red. Como también saber cuándo es necesario y efectivo la adición de un equipo al sistema, a su vez proponer nuevas alternativas para resolver presentes deficiencias y examinar requerimientos del sistema. El modelo de flujo de carga es también la base para algunos otros tipos de estudios tales como cortocircuito, estabilidad, arranque de motores y estudios de armónicos.

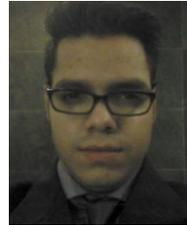
XXIX. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, CONACYT, CEMIE-Eólico, TNM, por el apoyo financiero brindado para realizar este trabajo.

XXX. REFERENCIAS

- [12] W. D. Stevenson, Jr., *Elements of Power Systems Analysis*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1982).
- [13] J. D. Glover. *Power System Analysis and Design*, 5th ed. 2012, 2008 Cengage Learning.
- [14] Padmini Sharma and Dr. R N Patel, "Mitigation and Wavelet Analysis for Power Swing in IEEE 9 Bus System," IEEE 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS -2016), Jan. 22 & 23, 2016, Coimbatore, INDIA.
- [15] K. Clark, N. W. Miller, J.J. Sanchez-Gasca, "Modeling of GE Wind Turbine-Generators for Grid Studies," Version 4.5, April 16, 2010, General Electric International, Inc.
- [16] N. W. Miller, R. Walling, M. Shao, J. MacDowell, "Modeling of GE Solar Photovoltaic Plants for Grid Studies", Version 1.2, May 19, 2011, General Electric International, Inc.
- [17] Norma IEEE 421.5, "IEEE Recommended Practice for Excitation Systems Models for owner System Stability Studies", USA, 2005.8.
- [18] Norma IEEE 421.4, "IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specifications", USA, 1990.
- [19] Norma IEEE 421.2, "Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems", USA, 1990.
- [20] Siemens Power Technologies Inc., "PSS/E 34, VOLUME II: PROGRAM APPLICATION GUIDE", 2016.
- [21] Siemens Power Technologies Inc., PSS/E 34, "MODEL LIBRARY", March 2015.
- [22] SIEMENS AG, "PSS NETOMAC 11.5 Procedure Manual", Description of Input Data and Different Simulation Procedures, 2015.
- [23] SIEMENS AG, "PSS NETOMAC 11.5 System Manual", Instructions for the PSS NETOMAC user Interface, 2015.

XXXI. BIOGRAFÍA



J. Elliott Morón Monreal. Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, el 14 de Enero de 1994. Técnico en Mantenimiento de Sistemas Electrónicos por el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica en el año 2012. Actualmente estudia la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de interés son energías renovables, sistemas eléctricos de potencia y diseño de máquinas eléctricas.



Marco A. Arjona L. Nació en Santa María, Tepic, Nayarit, México; el 13 de junio de 1966. Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en 1988 en la ciudad de Durango, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990 en Torreón, Coahuila México. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1996. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas eléctricas y energías renovables. El Dr. Arjona es reconocido por Sistema Nacional de Investigadores como investigador desde el año de 1992. En el año 2008, le otorga la distinción de Investigador Nacional Nivel II, gracias a los trabajos de investigación. Además, pertenece a la IEEE como senior member del año 2008 a la fecha.



Concepción Hernández Flores. Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos, en 1991. Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Sistemas Computacionales por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1995. Obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, en 2007. Ella actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna.



Lamia Hamdán Medina. Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico de La Laguna, en 1995. Obtuvo el grado de Maestra en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de La Laguna en el año 2006. Actualmente estudia la maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Posgrado del Instituto Tecnológico de La Laguna. Ella trabaja desde 1999 y a la fecha, forma parte de la planta académica de la Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de interés son Análisis de datos, Ingeniería de Software y Energías renovables.

Análisis Térmico por el Método del Elemento Finito Para Determinar las Temperaturas Internas de las Capas Aislantes en el Enclosure de una Turbina de Gas

A. Serrano-Hernández¹, D.A. Roman-Landeros¹, F. Huerta-Valenzuela¹

Resumen—El presente artículo tiene el objetivo de analizar y observar el comportamiento de los aislantes térmicos dentro de un enclosure de una turbina de gas, el alcance del estudio realizado es la simulación de la carga térmica en una lámina de acero perforada AISI 409ss, fibra de vidrio, polímero buna vinyl, pintura epoxica rica en zinc, y lamina de acero A36. Para el análisis de elemento finito se requirió de un modelo 3D simplificado al cual se le asignaron los materiales correspondientes, se mayó o generó una serie de nodos en la geometría donde se colocaron de las cargas térmicas y restricciones, con los resultados se mostró que los materiales si realizan el efecto aislante deseado, también se demostró la ineficiencia de aumentar la fibra de vidrio de a 2 a 4 pulgadas.

Palabras claves—aislantes térmicos, conducción, convección, flujo de calor, temperatura.

Abstract—This paper aims to analyze and observe the behavior of thermal insulation within a gas turbine enclosure, the scope of the study carried out is the simulation of the thermal load in a perforated steel sheet AISI 409ss, glass fiber, Buna vinyl polymer, zinc rich epoxy paint, and A36 steel sheet. For the finite element analysis, a 3D model is required, materials assignment, grid or generation of nodes in the geometry, placement of the thermal loads and restrictions, with the results it was shown that the materials if they perform the desired insulating effect also Demonstrated the inefficiency of increasing fiberglass by 2 to 4 inches.

Keywords— Thermal insulation, Thermal conduction, convection, Heat flow, temperature.

XXXII. INTRODUCCIÓN

Los análisis térmicos son de gran importancia en una amplia gama de productos para su control, en donde se necesita mantener una temperatura dentro de un rango para su correcto funcionamiento.

Los sistemas de generación de energía por turbina gas (GTPG) han desplazado en los 5 años recientes a otros sistemas con mayor índice de contaminación

(termoeléctricos combustóleo), sin embargo están y seguirán estando seriamente competidos por sistema eólicos y fotovoltaicos, para mantenerse y mejorar su desempeño, GTPG debe innovar significativamente los siguientes atributos: Ciclo de fabricación del equipo, Ciclo de pruebas en campo, costos de fabricación, ciclo de instalación en sitio, precio de venta, eficiencia en %, seguridad y emisiones a la atmósfera. (Equinox Grupo ACV, 2016)

En la actualidad existen distintos sistemas para la generación eléctrica, las turbinas de gas son parte de estos sistemas. Estas turbinas de gas presentan distintos problemas en su funcionamiento, algunos de los que están presentes en estos sistemas es la contaminación atmosférica y la baja eficiencia debido a distintos factores como lo pueden ser la pérdida de calor en el sistema, la cual trae como consecuencia la pérdida de eficiencia en la cámara de combustión y la turbina de gas.

El presente proyecto consiste en analizar las condiciones actuales de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica para evaluar posibles adecuaciones al mismo sistema en pro de su mejoramiento, siendo la parte central del análisis lo correspondiente al área del enclosure, la cual se encuentra a la mitad del sistema con el objetivo de aislar y disminuir la pérdida de calor.

XXXIII. METODOLOGÍA

Mediante lo conocido teóricamente y lo proporcionado por la empresa acerca la generación de energía y la forma de eficientar el proceso se comenzó una previa investigación, siendo las turbinas de gas, los aislantes térmicos y la transferencia de calor los temas principales de esta. Una vez obtenida toda la información necesaria referente a estos temas, se prosiguió a escoger los temas principales, los subtemas y la adición de información relevante en un orden lógico y coherente.

Concluyendo con el ensamblaje de los sistemas principales de la planta generadora se comenzó a realizar los cálculos de los flujos térmicos considerando conducción y convección, esto tomando en cuenta el coeficiente de transferencia térmica de los distintos materiales y las temperaturas a las que se encontraba el sistema. Una vez obtenidos estos datos se realizaron dos distintos análisis térmicos, uno tomando en cuenta los espesores de las capas térmicas obtenidos por la empresa y

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Subdirección de investigación y desarrollo tecnológico, Av. Tecnológico N1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km 14.5, Colonia, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México. aserrano@itslerdo.edu.mx.

otro considerando una modificación a estos espesores, seccionando el enclosure en tres secciones haciendo alusión al compresor, la cámara de combustión y a la turbina de expansión.

Para la realización de dichos análisis se estableció la siguiente metodología.

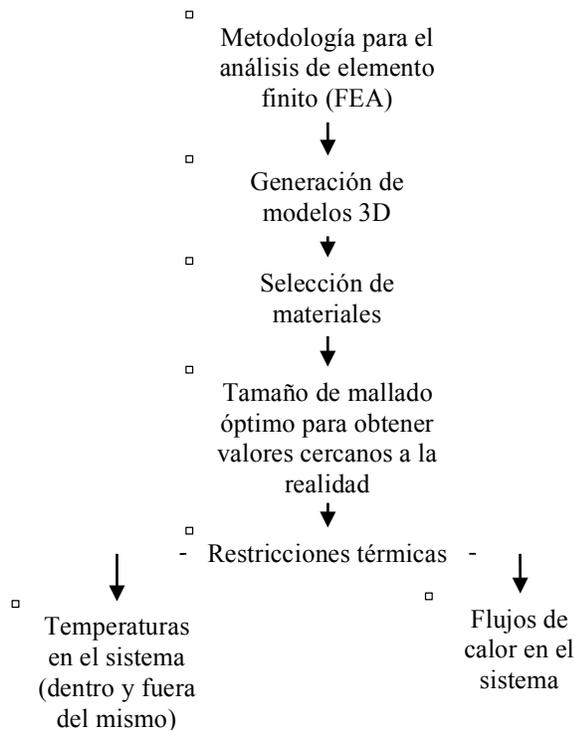


Figura 1. Diagrama metodología FEA

Mediante los resultados obtenidos de los dos análisis térmicos se capturo los resultados en las distintas secciones del enclosure para analizar si las modificaciones benefician a la eficiencia térmica de la turbina y si esta modificación es costeable.

A. ANÁLISIS TÉRMICO

El análisis térmico es un conjunto de técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales. Cuando un material se calienta o se enfría, su estructura y su composición química pueden sufrir cambios tales como fusión, sublimación, solidificación, cristalización, descomposición, oxidación térmica o sinterización. En general estos cambios se pueden estudiar midiendo la variación de distintas propiedades de la

materia en función de la temperatura, el tiempo y una atmósfera determinada.

B. AISLANTES TÉRMICOS

Un material termoaislante es aquel que posee baja conductividad térmica y evita la pérdida o ganancia de calor de un equipo determinado (horno, caldera, refrigerador, entre otros), porque está compuesto de materiales básicos con un coeficiente de transmisión de calor bajo, conformado de tal forma, que quedan atrapadas celdillas de aire en reposo, rodeadas de paredes sólidas.

También un aislante térmico va a representar eficiencia de los equipos, porque al evitar pérdidas o ganancias de calor, se evita que los motores de los equipos trabajen a una mayor capacidad mayor a la de la operación. Lo anterior se puede observar fácilmente en un sistema de refrigeración, en el cual se busca conservar una determinada temperatura. Si el sistema no está aislado térmicamente se tendrá una ganancia de calor y para contrarrestar este fenómeno el compresor tendrá que estar trabajando continuamente para poder mantener la temperatura que se requiere. Por lo tanto, si se aísla térmicamente el sistema, se evitará la ganancia de calor y el trabajo continuo o forzado del equipo.

Asimismo, un aislamiento térmico va a representar una protección para el personal que pudiera estar en contacto accidentalmente con las superficies calientes.

XXXIV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

TABLA I
PARÁMETROS DE ENTRADA

Restricciones	Convección. Temperatura ambiente a 35°C
Cargas	Flujo de calor: 1218W/m2 Compresor
	4531 W/m2 Quemadores
	3313 W/m2 Turbina
Materiales	Lamina perforada AISI 409SS
	Fibra de Vidrio
	Polímero buna vinyl
	Pintura Epoxica rica en Zinc
	Lamina de acero A36 3/16

TABLA II
TEMPERATURA EN MATERIALES DE COMPRESOR A PARED

Resultados Impacto de temperatura de compresor a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	160.30°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	149°C a 75.46 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	64.85 °C	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	54.24 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	43.64 °C	1480°C

TABLA III
TEMPERATURA EN MATERIALES DE QUEMADORES A PARED

Resultados Impacto de temperatura de Quemadores a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	498.79°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	420.31°C a 184.87 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	145.63 °C a	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	106.39 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	67.14 °C	1480°C

TABLA IV
TEMPERATURA EN MATERIALES DE TURBINA A PARED

Resultados Impacto de temperatura de Turbina a paredes		
Material	Temperatura Alcanzada	Temperatura de deformación
Primera Capa lamina ranurada acero 409 SS Calibre 11	374.71°C	1480°C
Segunda Capa Fibra de Vidrio	345.96°C a 144.74 °C	648°C
Tercera Capa Vinyl	115.99 °C	224°C a 750°C
Cuarta Capa Pintura Epoxica rica en zinc	87.25 °C	204°C
Quinta Capa Lamina acero A36 3/16	58.50 °C	1480°C

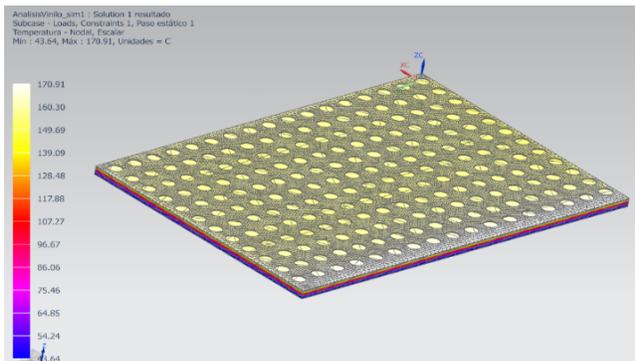


Figura 2. Colorimetría temperaturas de compresor a pared

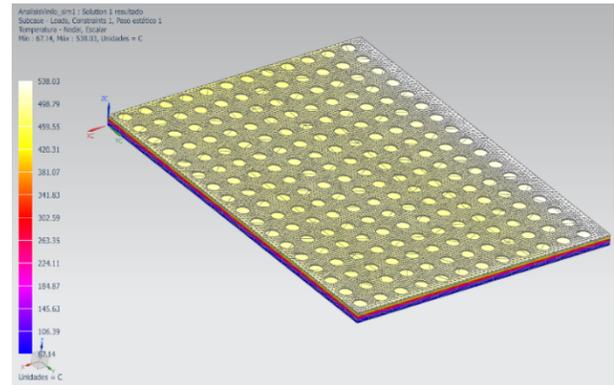


Figura 3. Colorimetría temperaturas de quemadores a pared

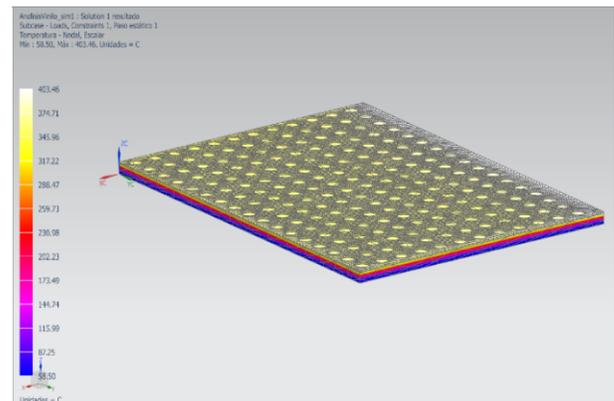


Figura 4. Colorimetría temperaturas de turbina a pared

XXXV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Dentro del análisis térmico aplicado al enclosure en el cual se encuentra una turbina se analizaron los principios de la conducción, en este caso se aplicó flujo de calor emitido por las partes que conforman la turbina (Compresor, Cámara de combustión, y salida de la turbina), de igual forma se empleó la convección en este análisis. De igual forma se utilizó el software NX 10.0 de Siemens para la validación del diseño para de esta forma simular las condiciones térmicas presentadas en los diferentes materiales que conforman las paredes del enclosure.

Los efectos del calor sobre los materiales pueden ser varios y producir cambios en muchas de sus propiedades. El procesado y las propiedades de

plásticos reforzados con fibras de vidrio dependen de la estabilidad térmica de los recubrimientos de las fibras. Normalmente los recubrimientos de las fibras de vidrio curan a temperaturas por encima de los 100 °C.

Se concluye que en el análisis térmico realizado al enclosure se tiene que la cantidad de calor transferido es proporcional a la diferencia de temperatura entre el lado caliente es decir el primer material el cual es la lámina ranurada AISI 409 SS y el lado frío (Temperatura ambiente) de la pared. El comportamiento del flujo de calor en los materiales (Lamina ranurada, fibra de vidrio, vinyl, pintura epoxica y lamina de acero) fue impactando en estos de manera decremental, siendo la lámina ranurada la más afectada por las temperaturas, por su parte en la lámina exterior se presentaron temperaturas que van desde los 43.64 °C, 67.14 °C y 58.50 °C. Estas temperaturas al exterior de la pared del enclosure se pueden disminuir aumentando los calibres o espesores de los materiales para que estos opongan mayor resistencia al flujo de calor emitido por la turbina, sin embargo por el alto costo de los materiales hacen inviable esta solución por lo que se determina que los espesores utilizados son los más eficientes desde el punto de vista económico de la instalaciones de las turbinas de gas de generación eléctrica.

XXXVI. REFERENCIAS

- [1] Editorial Explorando México. (2016). "Principales Plantas de Energía en México". Recuperado el 05 de 10 de 2016, de Explorando México: <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>
- [2] Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J. Mazurek, D. (2009). "Mecánica de materiales". Quinta edición, Mc Graw Hill, México. Recuperado el 05 del 10 del 2016.
- [3] Equinox Grupo ACV. (26 de 04 de 2016). Reingeniería de los sistemas "plug and play" de enfriamiento y filtración de gases generados por turbina en un generador de 337MW para exportación. Gómez Palacio, Durango, México. Recuperado el 05 de 10 de 2016.
- [4] Koncagül, E., Connor, R., & Tran, M. (2014). "Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo". Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, División de Ciencias del Agua. Perugia, Italia: UNESCO. Recuperado el 05 de 10 de 2016, de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>

- Carlos Abdiel Orlando, L. I. (Septiembre de 1987). *Turbinas de Gas*. Monterrey, N.L.: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Cengel, Y. A. (2001). *Transferencia de Calor y Masa, tercera edición*. México: Mc Graw Hill.
- IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems, IEEE Std 421.2 -2014*. (27 March 2014).
- IEEE Guide for the Preparation of Excitation System Specification, IEEE Std 421.4™-2014*. (27 March 2014).
- IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std 421.5™-2005*. (21 April 2006).
- IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Std 421.1™-2007*. (15 July 2007).
- Jerkovic, V., Miklosevic, K., & Spoljaric, Z. "Excitation System Models of Synchronous Generator". Croatia: Faculty of Electrical Engineering Osijek.
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., & Sudhoff, S. D. (2002). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems* (2da ed.). John Wiley & Sons, IEEE Press.
- Kundur, P. (1994). "Power System Stability and Control". McGraw Hill.
- Mataix, C. (1991). *Turbomáquinas Térmicas, tercera edición*. Dossat.
- Rangel, J. S. (2001). *Turbinas de gas*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica, sexta edición*. México: Pearson Educación.
- Yunes A Cengel, M. A. (2011). *Termodinámica, séptima edición*. México: Mc Graw Hill.

XXXVII. BIOGRAFÍA



Arturo Serrano Hernández 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 Univerisidad Veracruzana en la ciudad de Tuxpan, Veracruz.



Diego Alberto Román Landeros nacido en Gómez Palacio Durango el 9 de junio de 1990. Actualmente realiza un estudio de posgrado en Especialización en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el control electrónico de sistemas, la automatización y la mecatrónica en el ramo automotriz.



M.C. Francisco Huerta Valenzuela.

Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 5 de agosto de 1979. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en comunicaciones en el año 2002. 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 2004, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores.

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 Electromecánica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, diseño de controladores lineales y no lineales para sistemas electromecánicos, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.

Optimización Del Corte Para La Ranura De Un Contenedor Autovolcable

R. Saldaña-Acosta¹

Resumen— En este trabajo se presenta una solución al problema de optimización de la trayectoria de corte para la ranura de un contenedor autovolcable, el criterio de optimización utilizado es en el sentido de minimizar la longitud del corte, lo cual permitiría un ahorro de tiempo de trabajo, contribuyendo así a la ampliación de la vida útil de las herramientas utilizadas y a la mejora de los procesos involucrados.

Para la localización del punto óptimo, donde se debe comenzar el corte en la placa metálica, procedimos a utilizar las técnicas de optimización clásicas del Cálculo Diferencial de funciones de varias variables, dada la complejidad de algunos de los cálculos y de las representaciones gráficas utilizamos los paquetes de Mathematica y Matlab así como también, para la simulación del movimiento del mecanismo, utilizamos GeoGebra; como principal resultado se llegó a una definición del mínimo restringido al contexto del problema, es decir, una especie de mínimo técnicamente factible.

Palabras claves—Cálculo Diferencial de varias variables, Contenedor autovolcable, Función, punto óptimo, ranura.

A. Abstract—This Work presents a solution to cut trajectory optimization problem for the slot of a self-dumping hoppers, the criteria of optimization is the minimization of the cuts length, which saves time and contributes to the extension of the life of the cutting tool used and the improvement of the process involved.

To locate the optimal point, where to start the cut of the steel plate, Differential Calculus was used over a multivariable function to give us the elements to start the search of what do we understand by a minimum, given the complexity of some of the calculations and graphical representations the Matlab and Mathematica software was used. For the movement simulation of the mechanism, Geogebra was used.

As the main result, a new definition of the minimum constrained to the real conditions of the problem was found, in other words a technical feasible minimum was found.

Keywords— Calculus, Function, self-dumping hoppers, optimal point, slot.

II. INTRODUCCIÓN

El corte en metales es un área de oportunidad para la aplicación de las matemáticas en la Industria, particularmente, en cuanto al diseño de trayectorias de corte, E. Wings y B. Jütler [1], reportan que:

“As demonstrated in our case study, polynomial spline curves can directly be used for NC machining. Compared to the traditional piecewise linear/circular representations, the

higher analytical continuity entails severe advantages, such as extended lifetime of the machinery, longer maintenance intervals, and higher quality of the products”. En este sentido, la investigación propuesta es la continuación natural al problema de la “determinación de un modelo matemático para la ranura de corte de un contenedor autovolcable” [2], investigación original que dio lugar a la presente y en la cual se llegó a la determinación de las ecuaciones paramétricas que describen matemáticamente la forma exacta de la ranura del contenedor, una vez definidas estas ecuaciones, se planteó la pregunta de si existe algún punto “privilegiado” para empezar el corte, por ejemplo, la mención de C.G. Gibson [3], “...the mid-point of the middle (or coupler) bar describing the famous Watt curve. The curve has a self-crossing with two ‘branches’ through it, one of which represents an excellent approximation to a straight line.”, nos sugirió considerar como especial al centroide de la placa, sin embargo, un análisis posterior nos permitió descartarlo debido a que no es posible completar la ranura correspondiente que cumpla la función de vaciado completo, además R. Hooke y D. Shaffer afirman que “The first and perhaps most difficult, step is to find out precisely what is that we want to maximize(*minimize*). This step is vital, but widely ignored” [4], fue así que se llegó al problema de definir el sentido en que se quería optimizar la posición del punto inicial del corte, llegando a que una variable fundamental es la longitud de la trayectoria de corte para la ranura.

La definición del mínimo técnicamente factible, fue el resultado de analizar el problema de existencia de extremos de funciones de varias variables en sus diferentes acepciones, es decir, de extremos relativos y de extremos condicionados de acuerdo con las definiciones dadas en [5] y en el teorema sobre localización de máximos y mínimos junto con las observaciones de [6].

III. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El antecedente inmediato a este artículo se muestra en la figura 1, en la cual podemos observar el contenedor y su ranura, a la cual, en la primera etapa se le encontró un modelo matemático que la describe a la perfección, superando por mucho las exigencias de la empresa.



¹ Ramiro Saldaña Acosta, sramiro@itesm.mx, Tecnológico de Monterrey, Departamento de Ingeniería y Ciencias Básicas, Av. Paseo del Tecnológico # 751, Col. Ampliación La Rosita, C.P 227250, Torreón, Coahuila, México.

Figura 1. Contenedor autovolcable con sistema de giro por ranura que se encuentra en Industrial B&S de México.

La figura 2 muestra una representación en GeoGebra de una simulación que reproduce el movimiento del mecanismo, la forma de la ranura de corte fue obtenida con las ecuaciones paramétricas exactas que describen el movimiento del mecanismo de vaciado.

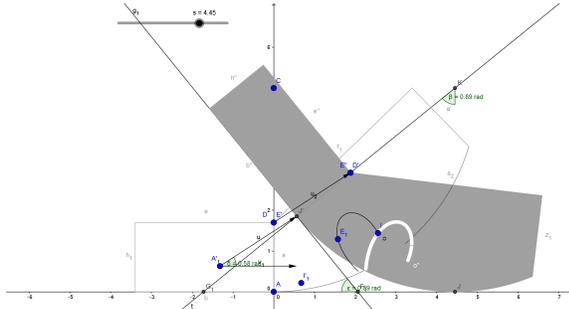


Figura 2. Perfil de la placa del contenedor autovolcable.

En (1) se muestra la longitud de la trayectoria de corte, como función del punto (x,y), donde se empezaría a mover el mecanismo una vez liberado el seguro.

$$f[x,y] := \frac{5}{2} \left((1.28 - \frac{x}{5}) \sqrt{1.28^2 - \frac{2.56}{5}x + \frac{x^2+y^2}{25}} + \frac{y^2}{25} \text{Log} \left[1.28 - \frac{x}{5} + \sqrt{1.28^2 - \frac{2.56}{5}x + \frac{x^2+y^2}{25}} \right] + \frac{x}{5} \sqrt{\frac{x^2+y^2}{25}} - \frac{y^2}{25} \text{Log} \left[-\frac{x}{5} + \sqrt{\frac{x^2+y^2}{25}} \right] \right) \quad (1)$$

Cuya gráfica extendida se muestra en la figura 3, en la cual podemos observar que existen puntos mínimos, pero, desafortunadamente esos se encuentran fuera del dominio restringido al objeto real que es la placa metálica.

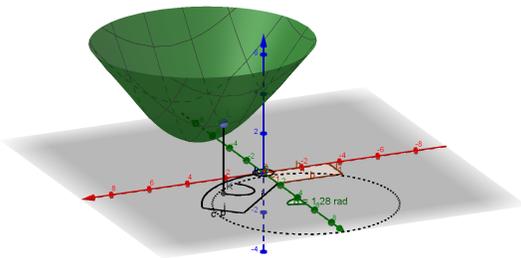


Figura 3. Longitud de la trayectoria en cada punto, dominio extendido.

Restringiendo los valores a donde tiene sentido la situación real del problema, obtenemos la figura 4, donde podemos observar que el punto mínimo se encuentra en la frontera o borde de la placa, lo cual, no es una solución técnicamente viable, ya que la ranura debe tener su punto inicial en el interior de la placa metálica y además debe completar su recorrido ahí mismo.

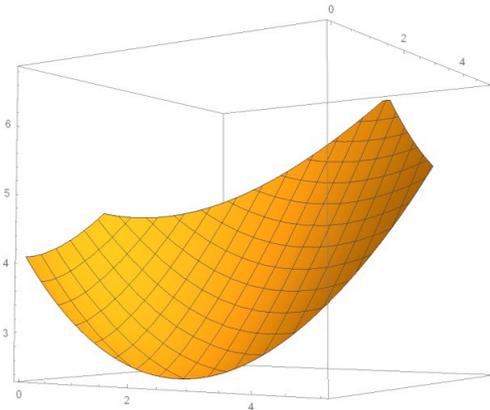


Figura 4. Longitud del corte, dominio real.

Los métodos analíticos para máximos y mínimos se basan en el teorema, expuesto y demostrado en [6]:

2-6 Theorem. Let $A \subset R^n$. If the maximum (or minimum) of $f: A \rightarrow R$ occurs at a point a in the interior of A and $D_i f(a)$ exists, then $D_i f(a) = 0$.

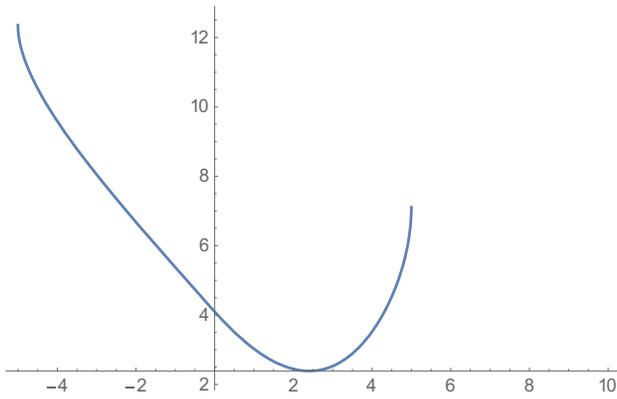
Proof. Let $g_i(x) = f(a^1, \dots, x_i, \dots, a^n)$. Clearly g_i has a maximum (or minimum) at a^i , and g_i is defined in an open interval containing a^i . Hence $0 = g_i'(a^i) = D_i f(a)$.

If theorem 2-6 is used to find the maximum or minimum of f on A , the values of f at boundary points must be examined separately-A formidable task, since the boundary of A may be all A !...

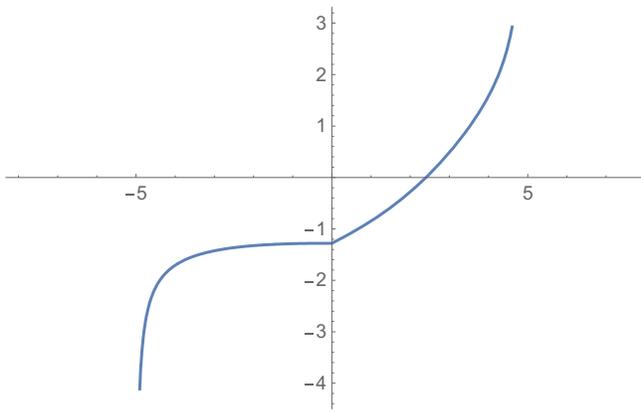
Al intentar hallar los extremos condicionados siguiendo el método de multiplicadores de Lagrange expuesto en [5], para la función objetivo $f(x,y)$ definida en (1) y sujeto a la restricción $g(x,y) = x^2 + (y-5)^2 - 25 = 0$, nos encontramos con una gran dificultad analítica para llegar a un resultado, teniendo que optar por una solución gráfica mediante la sustitución de la "y" despejada de $g(x,y) = 0$, en la $f(x,y)$, obteniendo una nueva función $g(x)$ definida por (2).

$$g[x] := \frac{1}{10} (\sqrt{10}x\sqrt{5 - \sqrt{25 - x^2}} - 5. (-6.3999999999999995 + x) \sqrt{3.6384000000000003 - 0.512x - 0.4\sqrt{25 - x^2}} + (-5 + \sqrt{25 - x^2})^2 \text{Log} [1.28 - 0.2x + \sqrt{3.6384000000000003 - 0.512x - 0.4\sqrt{25 - x^2}}] - (-5 + \sqrt{25 - x^2})^2 \text{Log} [-\frac{x}{5} + \sqrt{2 - \frac{2\sqrt{25 - x^2}}{5}}]) \quad (2)$$

Ante la cual, nuevamente los métodos analíticos se ven muy limitados, pero, al ver su gráfica mostrada en la figura 5, llegamos a que debe tener un mínimo aproximadamente entre 2 y 3.



Lo cual se puede confirmar en la gráfica de su derivada $g'(x)$ representada en la figura 6.



Por otro lado, la superficie $z=f(x,y)$ tiene el comportamiento de crecimiento mostrado en la figura 7, lo cual sugiere partir del mínimo restringido a la placa para después movernos en una dirección adecuada, hasta obtener un punto inicial cuya trayectoria complete el recorrido.

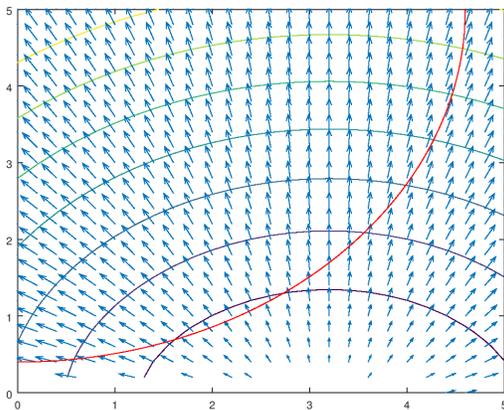
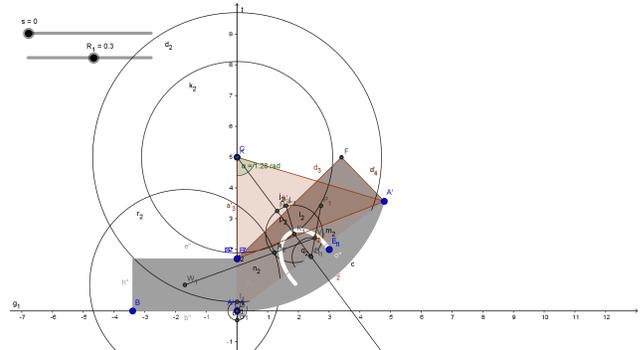


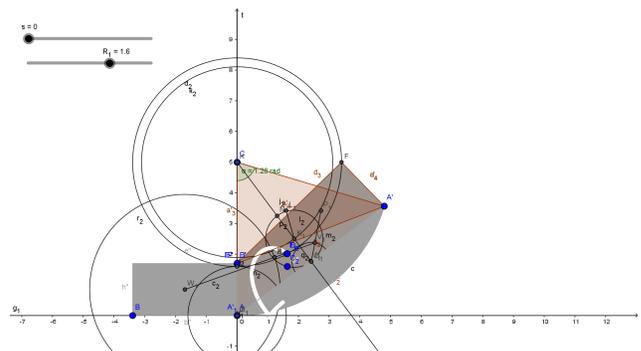
Figura 7. Gradiente de $z=f(x,y)$.

Finalmente, en la figura 8, vemos que, una solución técnicamente factible sería la de definir un espesor adecuado, medido radialmente desde el centro del círculo generador de la parte curva de la placa, restringir los puntos a este nuevo borde y ubicar ahí el mínimo restringido, para moverlo posteriormente sobre la restricción, hasta que de una trayectoria que complete el recorrido.



Otra posibilidad mostrada en la figura 9, consiste en variar el radio de la restricción, con el punto mínimo de $g(x)$, hasta intentar que se obtenga una ranura que complete el recorrido de vaciado, pero, desafortunadamente ninguno de los puntos mínimos obtenidos da lugar a una trayectoria que complete el recorrido.

Una tercera opción consiste en que a partir del punto de mínimo restringido al arco de la circunferencia de radio $5-\Delta r$, sigamos una ruta crítica de máximo descenso hasta obtener una trayectoria que complete el recorrido, pero tampoco así se puede generar una solución técnicamente factible.



En la tabla I se muestran los distintos valores obtenidos para diferentes espesores.

TABLA I
LONGITUD DEL CORTE PARA DIFERENTES ESPESORES

Radio	Longitud del corte
0 (No Factible)	2.68
0.2	2.93
0.4	3.16
0.6	3.43
1(No factible)	4.06

RESULTADOS

1. Se logró demostrar que el mínimo en toda la región A, correspondiente a todos los puntos de la placa metálica, se encuentra en la frontera $Fr(A)$, lo cual lo hace prácticamente inviable para iniciar allí el corte de la ranura.
2. Se caracterizó y localizó el mínimo técnicamente factible, definiéndolo como el punto en A, restringido a un arco de circunferencia de radio $5-\Delta r$, que además de permitir un vaciado completo tenga una longitud mínima de corte para la ranura.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La importancia de esta investigación radica en que se llegó a la resolución de un problema real planteado a una Institución de Educación Superior por parte de una Empresa, ofreciendo una excelente oportunidad de vinculación en la que el beneficio obtenido es mutuo, ya que la Empresa resuelve un problema concreto y nosotros desarrollamos investigación sobre la aplicación de las matemáticas en la Industria, proveyéndonos así de una fuente rica en retos intelectuales y motivadores para enriquecer el conocimiento generado en las Universidades e Instituciones de Educación Superior, la continuación apunta hacia la generalización al diseño de otras trayectorias de corte y su análisis para la optimización de recursos y/o características físicas que hagan más eficientes los mecanismos.

[1] Wings, E.; Jütler, B. (2004). "Generating tool paths on surfaces for a numerically controlled calotte cutting system," *Computer-Aided Design*, vol. 36, pp. 325-331,

[2] Saldaña, A. R.; Sánchez R. (2016). "Modelo matemático de la trayectoria de un contenedor autovolcable," *INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA*, vol. 10, pp. 159-164.

[3] Gibson, C. G. (2001). *Elementary Geometry of differentiable Curves, First Edition*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 181.

[4] Hook, R.; Shaffer D. (1965). *Math and AfterMath*. New York: Walker and Company A Weastingham search book, p 132.

[5] Apostol T.M (1969). "Calculus", 2nd ed., vol. II, Ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 314-315.

[6] Spivak, M. (1965). *Calculus on Manifolds*, New York: Benjamin/Cummins pp. 27-28.

V. BIOGRAFÍA



Santa Catarina, S.L.P., 20/02/1960
 Licenciatura en Matemática Educativa, Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero, México 1987
 Maestría en Ciencias, Especialidad en Matemática Educativa, CINVESTAV-IPN, Ciudad de México, México 1989.
 El actualmente labora en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Laguna, ubicado en Torreón, Coahuila, México, siendo profesor de Planta del área de ciencias Básicas e Ingeniería, sus líneas de interés son las de Modelación matemática en Ingeniería y la de la Enseñanza de las Matemáticas en Ingeniería.
 M.C. Ramiro Saldaña Acosta, Primer Lugar en el concurso de prototipos, Congreso Internacional de investigación Multidisciplinaria, celebrado en el ITESM-Campus Chihuahua, Nov. 2015.

Modelado de un ciclo Brayton regenerativo para el estudio de la mejora de la eficiencia de turbinas de gas.

E. II. Castro Juárez¹, N. Alvarado-Tovar², D.A: Román Landeros³.

Resumen— En la generación de energía eléctrica se utiliza un ciclo Brayton regenerativo con el fin de recuperar la energía calorífica de los gases expulsados por las turbinas de gas que cubren los picos de demanda energética. En el presente artículo se presenta el estudio para corroborar la mejora de la eficiencia total del ciclo bajo el cual trabaja la turbina de gas por la implementación de un regeneradora la salida del sistema por medio del lenguaje de programación MATLAB analizando diferentes casos de estudio que impactan directamente al ahorro de energía.

Palabras claves— Turbina de Gas, MATLAB GUIDE, ciclo Brayton simple.

Abstract—In the generation of electric energy, a regenerative Brayton cycle is used in order to recover the heat energy of the gases expelled by the gas turbines that cover the peaks of energy demand. In the present article the study is presented to corroborate the improvement of the total efficiency of the cycle under which the gas turbine works by the implementation of a regenerator the output of the system through the MATLAB programming language analyzing different cases of study that impact Directly to energy saving.

Keywords— Gas Turbine, MATLAB GUIDE, simple Brayton cycle

I. INTRODUCCIÓN

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de flujo continuo que se caracteriza por presentar una baja relación de peso potencia y una velocidad de giro muy elevada [1]. En la figura 1 se pueden observar las partes más importantes que conforman una turbina de gas, las cuales son: entrada de aire (air inlet), sección del compresor (compression), cámara de

combustión (combustion), turbina (turbine) y salida de gas (exhaust).

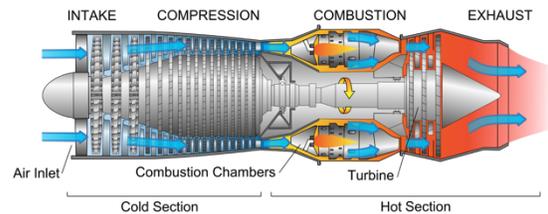


Fig. 1. Diagrama de una turbina de gas.

Las turbinas de gas actuales funcionan bajo el ciclo Brayton mostrado esquemáticamente en la Figura 2, y por las gráficas de temperatura-entropía T-s y presión-volumen específico (P-v) mostradas en las figuras 3 y 4 respectivamente, En las cuales se puede observar simultáneamente que el ciclo está formado por compresión isoentrópica (1 a 2), adición de energía a presión constante (2 a 3), expansión isoentrópica (3 a 4), y sesión de energía a presión constante (4 a 1) [3]

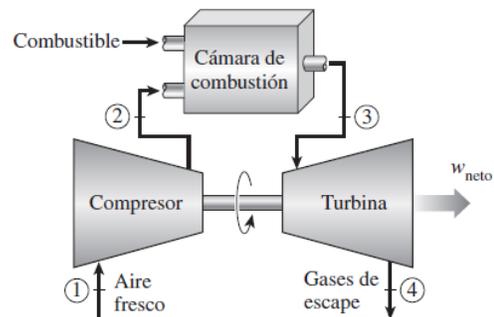


Fig. 2. Representación gráfica para el cálculo del ciclo Brayton en una turbina de gas

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo KM. 14.5, C.P. 35150, CD. Lerdo, Durango, México. ecastro@itslerdo.edu.mx

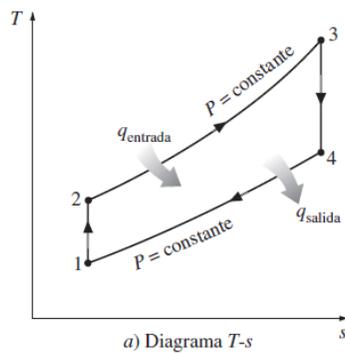


Fig. 3. Diagrama Temperatura-entropía [T-s]

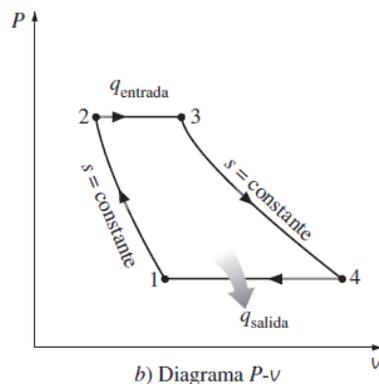


Fig. 4. Diagrama Presión - volumen específico [P-v].

En las máquinas de turbinas de gas la temperatura de los gases de escape que salen de la turbina suele ser considerablemente mayor que la del aire que sale

del compresor, lo cual representa una pérdida considerable de energía que se ve reflejada en la eficiencia del ciclo. Para mejorar esta situación se puede calentar el aire de alta presión que sale del compresor transfiriéndole calor desde los gases de escape calientes mediante un intercambiador de calor a contraflujo, el cual se conoce también como regenerador o recuperador.

El presente trabajo pretende ofrecer una herramienta para ver el comportamiento de la eficiencia del ciclo de la turbina de gas al

modificar las variables de funcionamiento, de una manera directa.

Un esquema de la máquina de turbina de gas que usa un regenerador, así como el diagrama T-s del nuevo ciclo se muestra en la figura 5 y 6 respectivamente.

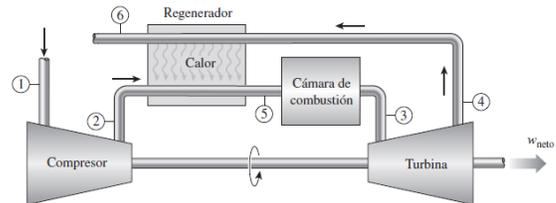


Fig. 5. Una máquina de turbina de gas con regenerador

Con lo anterior queda descrito el modelo del ciclo Brayton simple para su consideración en la programación del algoritmo en Matlab

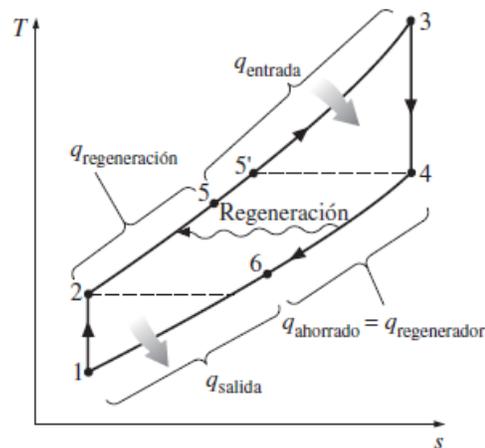


Fig. 6. Diagrama Temperatura-entropía [T-s] de un ciclo Brayton regenerativo

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Desarrollo general del algoritmo del ciclo Brayton regenerativo

Las ecuaciones para desarrollar los procesos que conforman el ciclo Brayton simple son en general las siguientes:

La eficiencia es la relación entre el trabajo neto (kJ/kg) y el calor de entrada.

$$\eta = \frac{w_{neto}}{q_{entrada}} \times 100\% \quad (1)$$

En donde:

$$w_{neto} = q_i - q_o \quad (2)$$

También el trabajo neto w_{neto} se puede determinar como:

$$w_{neto} = w_{turbina} - w_{compresor} \quad (3)$$

donde:

$$w_{turbina} = h_3 - h_4 \quad (4)$$

$$w_{compresor} = h_2 - h_1 \quad (5)$$

El calor de entrada está definido por la diferencia de las entalpías a la entrada de la turbina y a la salida del compresor:

$$q_i = h_3 - h_2 [kJ/kg] \quad (6)$$

Y el calor de salida se describe como la diferencia de las entalpías a la salida de la turbina y a la entrada del compresor:

$$q_o = h_4 - h_1 [kJ/kg] \quad (7)$$

Por último, la potencia que entrega el ciclo queda determinado por:

$$\dot{w}_{neto} = \dot{m}w_{neto} \quad (8)$$

En donde \dot{m} , es el flujo másico de gases que pasan a través de la turbina y sus unidades están dadas en kg/s.

El alcance al que un regenerador se aproxima a un regenerador real se llama **eficacia o efectividad**

Considerando que el calor regenerativo real es igual a:

$$q_{reg\ real} = h_5 - h_2 \quad (9)$$

Y el calor regenerativo máximo a obtener:

$$q_{reg\ max} = h_4 - h_2 \quad (10)$$

El alcance que un regenerador pueda tener al aproximarse al ideal se puede considerar como eficacia o efectividad:

$$\epsilon = \frac{q_{reg\ real}}{q_{reg\ max}} = \frac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2} \quad (11)$$

III. RESULTADOS

Para describir el procedimiento general del algoritmo del ciclo Brayton regenerativo se utilizan se considerarán los siguientes datos:

Los datos considerados para el análisis se tomaron de los datos de una Turbina de Gas General Electric LM 2500, los cuales son : Temperatura ambiente $T_A = 25^\circ C$, relación de presión $r_p = 22.5$, Temperatura de salida $T_o = 515^\circ C$, flujo másico de aire $\dot{m} = 87.2 \frac{kg}{s}$, la eficiencia de la turbina y compresor 85%.

Con los resultados obtenidos del ciclo Brayton Simple utilizando la interfaz en MATLAB generada previo a este trabajo ideal se obtienen los valores de entalpia y presión relativa utilizando las propiedades del gas ideal del aire, los cuales se muestran en la tabla 1 y en la figura 7.

Tabla 1. Entalpías y presiones relativas de un ciclo Brayton simple con las condiciones iniciales

Estado	Temperatura(°C)	Entalpia(kjoul/kg)	Pr
1	25	298.18	1.3543
2	710.54	724.63	30.4717
3	1710.87	1893.47	1054.57
4	515	817.56	46.87

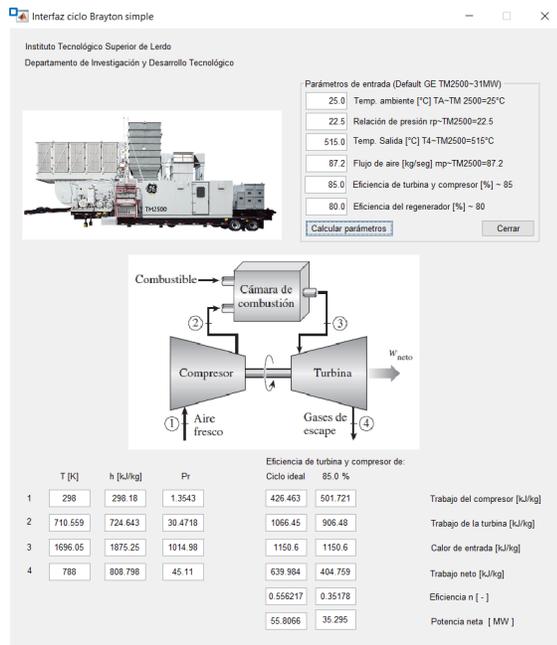


Fig. 7. Interfaz para el análisis del ciclo Brayton Simple

Analizando ahora el ciclo regenerativo, se considera una eficacia del regenerador del 80%. Se realizan los siguientes pasos para obtener la eficiencia del ciclo Brayton regenerativo:

Paso 1:

Despejando de (11), h_5 se obtiene:

$$h_5 = \epsilon(h_4 - h_2) + h_2$$

$$h_5 = 0.8(817.56 - 724.63) + 724.63 = 798.97 \text{ kJoul/Kg}$$

Paso 2:

Con el valor de h_5 se obtiene la temperatura 5 utilizando la tabla A-17

$$T_5 = 506 \text{ }^\circ\text{C} = 779 \text{ K}$$

Paso 3:

Considerando el balance de energía en el regenerador:

$$h_4 - h_6 = h_5 - h_2$$

Se despeja h_6 :

$$h_6 = h_4 - h_5 + h_2 = 743.22 \text{ kJoul/kg}$$

Y finalmente con este valor utilizando la tabla A-17 se obtiene la temperatura 6

$$T_6 = 727.77 \text{ K} = 454.77 \text{ }^\circ\text{C}$$

Paso 4:

Es fácil observar que se reduce el calor de entrada y aunque el trabajo y la potencia siguen siendo los mismos valores, la eficiencia será mayor:

$$q_o = 1094.5 \text{ kJoul/kg}$$

Utilizando las ecuaciones (4),(5) y (3) respectivamente se obtiene el trabajo en el compresor y la turbina, además del trabajo neto:

$$w_{compresor} = h_2 - h_1 = 426.4515 \text{ kJoul/kg}$$

$$w_{turbina} = h_3 - h_4 = 1075.913 \text{ kJoul/kg}$$

Considerando la eficiencia del compresor y la turbina en 85 % entonces:

$$w_{compresor, real} = 426.45/0.85 = 501.7 \text{ kJoul/kg}$$

$$w_{turbina, real} = 1075.91(0.85) = 914.52 \text{ kJoul/kg}$$

$$w_{neto, real} = w_{turbina, real} - w_{compresor, real} = 412.82 \text{ kJoul/kg}$$

Paso 5:

Finalmente se obtiene la eficiencia con (1). Recuerde que la potencia y el trabajo neto sigue siendo el mismo valor, lo único que se modifica es el calor de entrada

$$\eta = \frac{w_{neto}}{q_{ent}} = \frac{412.82}{1094.5} = 37.71 \%$$

En este punto, es posible desarrollar interfaces con el software Matlab para obtener con rapidez y exactitud el estado que presenta una turbina de gas bajo los diferentes valores de las

variables que intervienen en el mismo. Un ejemplo de ésta aplicación puede observarse en la figura 8.

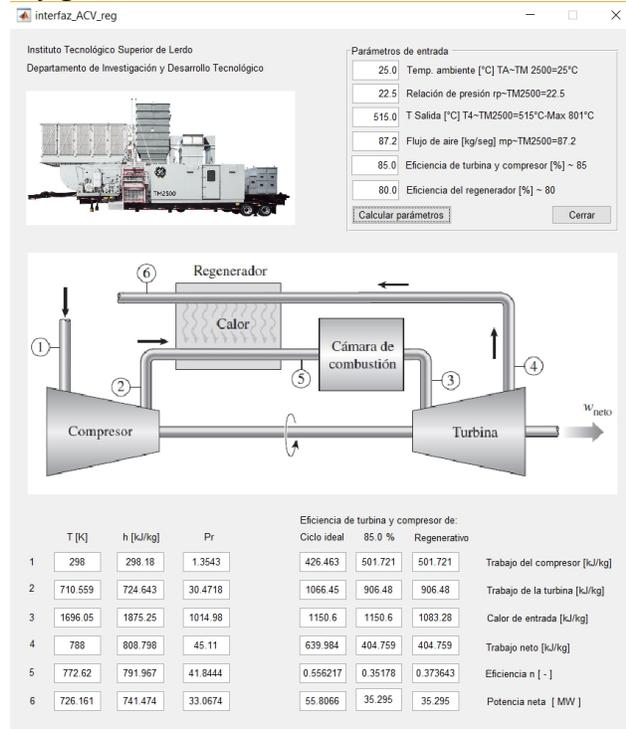


Fig. 8. Interfaz para el análisis del ciclo Brayton simple ideal, real y regenerativo

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Un área de oportunidad para aumentar la eficiencia del ciclo Brayton, bajo el cual funcionan las turbinas gas, es disminuir la temperatura del aire a la entrada del compresor, adicionalmente el utilizar un regenerador para recuperar la energía de los gases a la salida lleva consigo un aumento en la eficiencia del ciclo como se observa en la figura La utilización del software del MATLAB presenta las ventajas del lenguaje de programación en donde se pueden manejar directamente las matrices que se presenta en este proyecto, por ejemplo la gestión del algoritmo de interpolación lineal de la tabla A-17 lo que conlleva poder analizar diferentes

modelos de turbina de gas y sus condiciones que impactan la eficiencia de la misma

V. REFERENCIAS

[1] Álvarez J, Callejón I. (2005) "Máquinas Térmicas motoras", Alfa Omega, México, 1 Ed

[2] Cengel Y. Boles M. (2012) "Termodinámica", Mc Graw Hill, México, 7 Ed.

[3] Severns W. Degler H. Miles J. (2002) "Energía mediante vapor, aire o gas", Reverté, España, 5 Ed, 2002.

[4] Chapman S. (2013) "Mat lab programming with applications for engineers", Cengage Learning, USA, 1st Ed

[5] Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Potencia.
Título: Modelado y simulación dinámica de esquemas de cogeneración.
Presenta: Miguel Angel Otega Vázquez.
Institución : Universidad Autonoma de Nuevo León , Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Año: 2001

[6] Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico.
Título: Desarrollo del programa BRAYTONPROG para el análisis termodinámico del ciclo Brayton con etapas.
Presenta: Manuel de Jesús Velázquez Andrade.
Institución : Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Año: 2014

[7] Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico.
Título: Modelado de un simulador de ciclos combinados y optimización de los niveles de presión de la turbina de vapor en la caldera de recuperación de calor.
Presenta: Joaquin Corredoyra Alcaraz.
Institución : Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales..
Año: 2016

[8] Artículo: ANALISIS DE SENSIBILIDAD REALIZADO A UNA PLANTA DE CICLO COMBINADO
Memorias de Congreso: Memorias del XVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM.
Fecha: 22 al 24 de septiembre, 2010
Lugar: Monterrey, Nuevo León, México.

VI. BIOGRAFÍA



Castro Juárez Ernesto II. Peñon Blanco Durango, México. Ingeniero Industrial Mecánico. Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah. México (1994). Maestría en Ciencias de ingeniería Eléctrica Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México (1999).
Docente de la División de Electromecánica y Posgrado en Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México.



M.C. Noé Alvarado Tovar. 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 de sus estudios 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.



Diego Alberto Román Landeros nacido en Gómez Palacio Durango el 9 de junio de 1990. Actualmente realiza un estudio de posgrado en Especialización en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el control electrónico de sistemas, la automatización y la mecatrónica en el ramo automotriz.

Aplicación de diseño de experimentos DoE en el análisis de parámetros de soldadura GMAW en un componente de suspensión

J. F. Rizo López, E. Mendoza Rodríguez, J. C. López Aguado

Resumen—Se estudió un proceso de soldadura GMAW automatizado del sector automotriz de un componente de suspensión, donde se aplicó el diseño de experimentos para la optimización de parámetros de soldadura analizando a su vez los principales factores que intervienen en el proceso de estampado en frío. Para el análisis de parámetros de soldadura se aplicó un diseño de experimentos en relación a la profundidad de penetración, realizando el estudio modificando parámetros que afectan directamente sobre las características de calidad de la soldadura, como son la corriente en función de la velocidad de alimentación del alambre (WFS), el voltaje, ángulos, stick out y la velocidad de viaje del robot, debido a elevados índices de scrap por defectos de soldadura y altos costos, da la necesidad de diseñar un experimento que permita medir la magnitud y dirección de los factores optimizando el proceso de soldadura y analizando los factores principales en el proceso de estampado reduciendo la probabilidad de producir piezas rechazadas.

Palabras claves—Brazo de control FUCA, diseño de experimentos, factores, parámetros de soldadura, Proceso de soldadura GMAW.

Abstract—an automated GMAW welding process of the automotive sector of a suspension component was studied, where an experimental design is applied for the optimization of welding parameters, analyzing in turn the main factors involved in a cold stamping process. For the analysis of welding parameters a design of experiments is applied in relation to the depth of penetration, carrying out the study modifying the parameters that directly affect the quality characteristics of the welding, such as the current as function of the wire feed speed (WFS), voltage, angles, stick out and the robot travel speed, due to high scrap percentages for welding defects and high costs, gives the need to design an experiment that allows to measure the magnitude and the direction of the factors optimizing the welding process and analyzing the main factors in the stamping process reducing the probability of producing rejected pieces.

Keywords— Control Arm FUCA, experimental design, factors, welding parameters, welding process GMAW

I. INTRODUCCIÓN

El primer paso hacia la comprensión de los procesos de

soldadura lo constituye el análisis de los fenómenos que intervienen cuando se produce el contacto de dos superficies sólidas a temperaturas de fusión. En el proceso de soldadura estudiado, GMAW, es la unión producida por el calor generado por un arco eléctrico con metal de aporte, esta energía eléctrica se transforma en energía térmica, fundiendo el material a medida que se tiene un avance.

Los parámetros de soldadura no son independientes ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

La empresa Multimatic Inmetmatic SA de CV, es un corporativo fundado en 1984, siendo la cabeza operacional en Toronto, Canadá, con divisiones en Norte América, Europa y Asia; provee un servicio de productos manufacturados y servicios ingenieriles para la industria automotriz, los principales servicios de procesos de soldadura constituyen las unidades de negocio de mayor demanda, éstos representan un 70% en soldadura GMAW, siendo un 43% de componentes de suspensión.

Los componentes de suspensión, tales como es el caso de estudio de los brazos de control, se fabrican normalmente de acero o de aluminio y se asemejan a una gran letra "Y", también conocida como "horquilla de suspensión", los brazos de control FUCA unen a la rueda frontal o posterior, gracias al par esférico (*ball joint*) y al chasis con los dos bujes axiales.

Este sistema de suspensión, el brazo de control evita que la rueda gire hacia un lado y mantiene un seguimiento de neumático recto.

Los costos de desperdicio para este componente en el proceso de soldadura en específico ascienden alrededor de \$5,000 usd/semana tomando la evidencia de los primeros tres meses de Junio, Julio y Agosto del año 2016, con un porcentaje en promedio del 5% de partes en relación a la producción, de los cuales el 90% del rechazo se debe a defectos por características de calidad de la soldadura.

En este artículo presenta una aplicación de la metodología de diseño de experimentos, con el fin de determinar la relación que existe entre los parámetros de soldadura a diferentes niveles con relación a la profundidad de penetración y los principales factores en el proceso de estampado en frío.

¹ Departamento de calidad de empresa Multimatic Inmetmatic SA de CV, Avenida Santa Fe #12, Parque Industrial Opción, San José Iturbide, C.P. 37980, Guanajuato, México, frizo@multimatic.com

² emendoza@multimatic.com

³ jclopez@multimatic.com

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

La metodología del diseño de experimentos se basa en la experimentación. Se sabe que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan una cierta variabilidad.

A. Proceso de soldadura GMAW

El proceso GMAW puede usar equipos semiautomáticos o automáticos en aplicación de la soldadura de alta producción. La mayoría de los metales pueden ser soldados con este proceso, y más aún pueden ser soldados en todas las posiciones utilizando las variaciones de baja energía del mismo.

El estudio sobre el comportamiento de la soldadura en la pieza de suspensión, una característica de profundidad de penetración sobre la lámina 2 resulta interesante en la calidad de la soldadura, que refleja la resistencia que ésta va a soportar al ser sometida a un esfuerzo dinámico.

Los parámetros de soldadura que en forman parte de las características de la calidad de soldadura son:

- Tensión (voltaje)
- Velocidad de alimentación
- Extensión del electrodo o *stick-out*
- Velocidad de desplazamiento
- Ángulo de inclinación de la pistola
- Gas de protección
- Calor de entrada

B. Proceso de troquelado

Es el conjunto de operaciones con las cuales sin producir viruta, sometemos una lámina plana a ciertas transformaciones a fin de obtener una pieza de forma geométrica propia, este trabajo se realiza con troqueles en máquinas llamadas prensas (generalmente de movimiento rectilíneo alternativo).

La Tabla I y II muestran el material especificado por cliente GMW3032M-ST-S-HR420LA es una acero de baja aleación de alta resistencia a la cedencia desde 180 MPa hasta los 700 MPa, y si es aplicable el recubrimiento de pintura o no, con un proceso de laminación en frío.

Tabla I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN DE ALTA RESISTENCIA

GMW3032M-ST	C	Mn	P	S	Al	Si	Otros
Clasificación	0.12 %max	1.6 %max	0.03 %max	0.03 %max	0.015 %min	0.6 %max	
Estampado Superior	0.05	0.86	0.014	0.001	0.030	0.02	Nb. 0.03%
Estampado Inferior	0.05	0.88	0.015	0.001	0.027	0.02	Nb. 0.03%

Nota 1. Puede contener microaleaciones de niobio, titanio o vanadio, con un CE de 0.24

Tabla II
PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN DE ALTA RESISTENCIA

GMW3032M-ST	Resistencia a la cedencia	Resistencia a la Tensión	Total de elongación	Valor n
Clasificación	420 - 520 MPa	480 MPa min	22% min	0.11 min
Estampado Superior	463	640	27	0.14
Estampado Inferior	467	545	25	0.14

Nota 1. la prueba de valor n es desde 6% hasta el final de la elongación uniforme

C. Diseño de experimentos

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

El análisis estadístico se basa en un modelo estadístico formal subyacente. La interpretación adecuada del análisis requiere la comprensión del modelo.

D. Diseño factorial

Los diseños factoriales producen experimentos más eficientes, pues cada observación proporciona información sobre todos los factores, y es factible ver las respuestas de un factor en diferentes niveles de otro factor en el mismo experimento.

El diseño factorial se puede usar para evaluar si la actuación de los factores es independiente a la profundidad de penetración de los especímenes de prueba. En la tabla IV se ilustra el arreglo factorial para los especímenes de prueba preparados con dos métodos de compactación (alto y bajo) usando cuatro factores.

Tabla III
CORRIDAS DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	WFS	TS	Trim	Gap
1	1	1	1	300	25	0.9	0
2	2	1	1	550	25	0.9	2.2
3	3	1	1	300	42	0.9	2.2
4	4	1	1	550	42	0.9	0
5	5	1	1	300	25	1.04	2.2
6	6	1	1	550	25	1.04	0
7	7	1	1	300	42	1.04	0
8	8	1	1	550	42	1.04	2.2

El objetivo de correr un diseño factorial fraccionado es reducir el número de corridas identificando las variables significativas del diseño. Así mismo se puede identificar algunas respuestas preliminares que nos muestra el experimento.

E. Modelo Taguchi

Los diseños experimentales de Taguchi (ver Tabla IV), están basados en arreglos ortogonales y se hicieron

populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre como L8, que indica un arreglo con 8 corridas.

Los factores críticos que se seleccionaron para esta metodología son: a) velocidad de alimentación del alambre; b) velocidad de viaje; c) voltaje (*trim*); d) *Stick out*; e) ángulo de ataque; f) ángulo de trabajo. Los niveles seleccionados se muestran en la tabla 5.

El diseño de Taguchi se elaboró en el software minitab 17, donde se introdujeron los seis factores con sus respectivos niveles.

La medición de la profundidad de penetración como única variable de respuesta se da a través de una preparación metalográfica con un ataque químico con nital al 20%.

TABLA IV
CORRIDAS DEL DISEÑO DEL MODELO TAGUCHI

Corrida	Gap	WFS	TRIM	TS	Stick Out	A Ataque	A trabajo
1	0.35	330	0.92	28	10	3	45
2	0.26	330	0.92	28	10	5	50
3	0.68	330	0.92	28	10	10	55
4	0.28	330	0.95	35	15	3	45
5	0.42	330	0.95	35	15	5	50
6	0.33	330	0.95	35	15	10	55
7	0.43	330	1.00	39	19	3	45
8	0.52	330	1.00	39	19	5	50
9	0.47	330	1.00	39	19	10	55
10	0.18	400	0.92	35	19	3	50
11	0.1	400	0.92	35	19	5	55
12	0.33	400	0.92	35	19	10	45
13	0.26	400	0.95	39	10	3	50
14	0.05	400	0.95	39	10	5	55
15	0.13	400	0.95	39	10	10	45
16	0.26	400	1.00	28	15	3	50
17	0.65	400	1.00	28	15	5	55
18	0.52	400	1.00	28	15	10	45
19	0.72	480	0.92	39	15	3	55
20	0.36	480	0.92	39	15	5	45
21	0.61	480	0.92	39	15	10	50
22	0.44	480	0.95	28	19	3	55
23	0.58	480	0.95	28	19	5	45
24	0.25	480	0.95	28	19	10	50
25	0.63	480	1.00	35	10	3	55
26	0.28	480	1.00	35	10	5	45
27	0.22	480	1.00	35	10	10	50

III. RESULTADOS

A. Variabilidad del proceso de GMAW del brazo de control

Para determinar la variabilidad del proceso de soldadura GMAW del brazo de control se contó con una base de datos de las diferentes resultados de piezas que fueron analizadas una vez que fueron rechazadas de las celdas de seis

diferentes celdas designadas M10, M20,..., M60. Ver figura 1.

Los dos principales defectos de soldadura, mostrados en el diagrama de pareto, son el socavado y la perforación, que están directamente relacionados a los parámetros de soldadura y a la preparación del material base en los herramientas de las celdas.

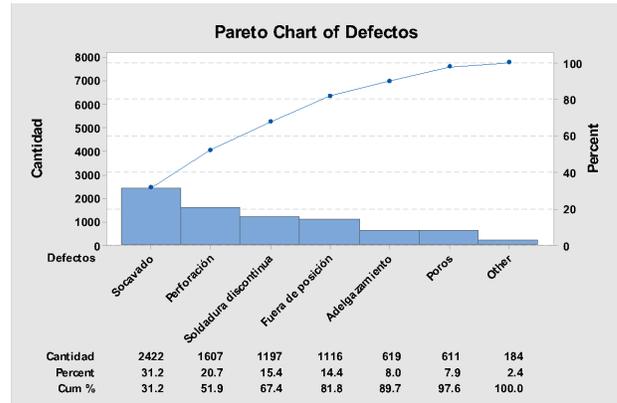


Figura 1. Diagrama de pareto de defectos de soldadura.

B. Variabilidad del proceso de troquelado de estampados

En el proceso de troquelado la zona que permite tener una preparación correcta sin generar un tamaño de abertura (gap) en exceso que afecte la aplicación de la soldadura es la superficie donde está colocado el anillo donde van sujetados dos bujes axiales.

En el análisis de variabilidad de las dimensiones de la superficie en el proceso de troquelado fue de una corrida de 3000 piezas tomando un muestreo cada 100 en 100 hasta terminar.

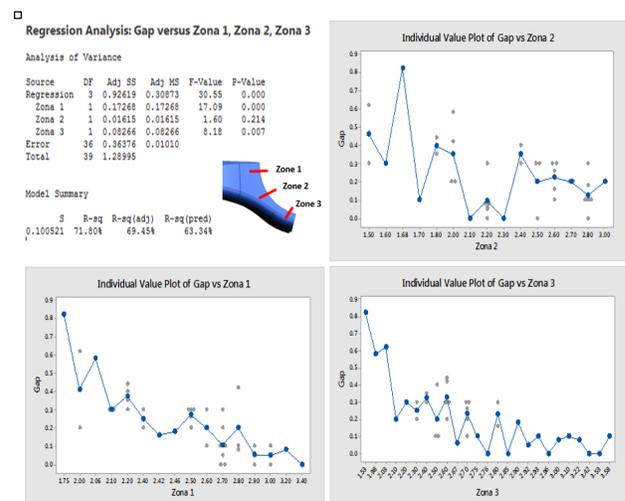


Figura 2. Análisis de varianzas en relación del trim de la superficie del estampado superior con respecto al gap.

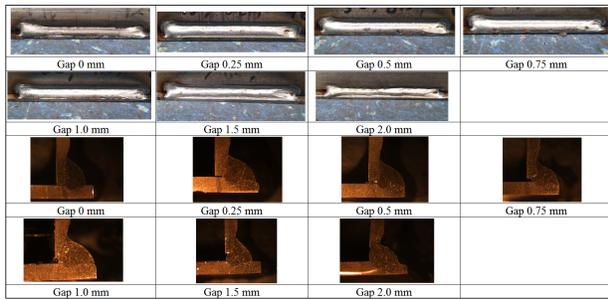


Figura 3. Fotografías y macrografías de soldadura de variación de gap en relación a los parámetros elegidos.

En el análisis de varianzas se determinó que la suma de las tres zonas resulta en un 71.8% de probabilidad en relación lineal, que al disminuir la dimensión del *trim* (quiere decir que aumentó la fluidez del material en el estampado), el gap que se genere en el sub ensamble del estampado superior/estampado inferior aumentará su valor, esto en el caso de las zonas 1 y 3. En el caso de la zona 2 no impacta en la condición final del gap.

El estudio para determinar el gap máximo permisible se realizó una prueba de soldar partes variando el gap hasta llegar a 2.0 mm con la finalidad de obtener un estimado de la calidad de la soldadura a diferentes cantidades de tamaño de gap a los parámetros establecidos.

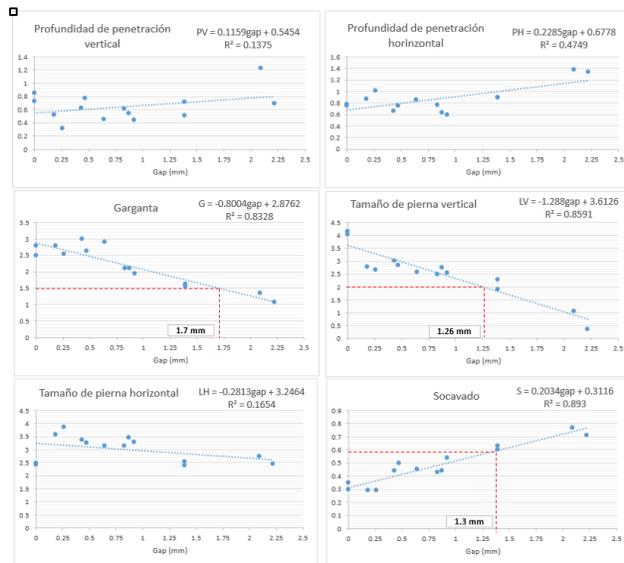


Figura 4. Gráficas de correlación lineal de tamaño de gap en relación a las diferentes características medidas de calidad de la soldadura.

De acuerdo a lo obtenido el efecto del gap sobre la soldadura es directamente proporcional al tamaño de la garganta, tamaño de la pierna vertical y a la profundidad de socavado que lo limita al 30% del espesor del material. Los resultados representan que al aumentar el tamaño de gap se ven afectados estas tres características tomando de referencia máxima de 1.26 mm de gap menos el 14% de

error da finalmente un tamaño de gap máximo de 1.08 mm para asegurar el mínimo tamaño de pierna vertical, así mantiene en un estado aceptable los otros requerimientos medidos.

Para obtener el tamaño máximo de gap de 1.08 mm de acuerdo a la figura 12, es necesario designar los controles necesarios de la superficie del estampado para la zona 1 serían de 2.20 mm a 2.80 mm y para la zona 3 de 2.20 mm a 2.9 mm y finalmente dejando a la zona 2 con 2.40 mm a 2.90 mm. Las modificaciones del troquel fueron realizadas para asegurar estas dimensiones.

Finalmente se realizó un monitoreo del porcentaje de rechazo total de las celdas en el transcurso de un año de junio 2016 a junio 2017 con la finalidad de observar la reducción de éste en el momento de implementación de la optimización de parámetros de soldadura a finales de enero 2017.

La gráfica de porcentaje de rechazo de partes tiene una tendencia de disminución a partir de donde se comenzaron a tomar acciones en agosto 2016 a enero 2017 manteniendo un promedio de 2.3% de rechazo en relación a la producción y un promedio de 1.3% se redujo después de la implementación de la optimización de parámetros de soldadura en febrero a junio 2017 manteniendo un promedio de 1.00 % de rechazo.

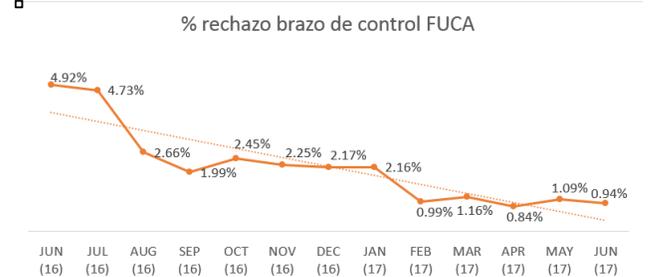


Figura 5: porcentajes de rechazo mensual de piezas del brazo de control FUCA.

C. Resultados corrida DFF

Los datos de la profundidad de penetración en el estudio preliminar de las corridas que se elaboraron en el DFF, donde se colocaron las ocho corridas y se tomaron en cuenta tres aplicaciones de soldadura dando una profundidad de penetración promedio para los resultados del diseño preliminar con 4 factores.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	WFS	TS	Trim	Gap	Profundidad de penetración
1	1	1	1	1	300	25	0.90	0.0	0.40
2	2	2	1	1	550	25	0.90	2.2	1.84
3	3	3	1	1	300	42	0.90	2.2	0.41
4	4	4	1	1	550	42	0.90	0.0	2.02
5	5	5	1	1	300	25	1.04	2.2	0.44
6	6	6	1	1	550	25	1.04	0.0	2.24
7	7	7	1	1	300	42	1.04	0.0	0.32
8	8	8	1	1	550	42	1.04	2.2	2.01

Figura 6. Corridas y profundidad de penetración del DFF.

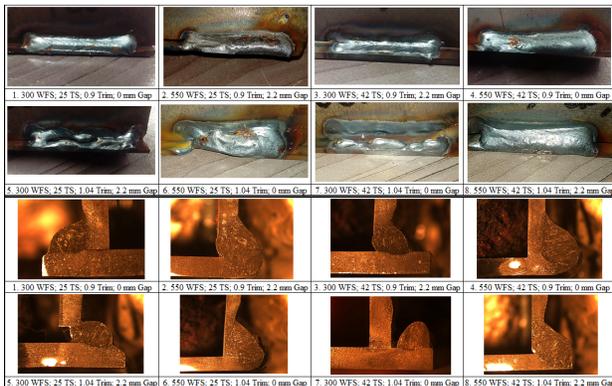


Figura 7. Fotografías y macrografías de soldadura de las corridas del DFF

Del análisis de inspección visual de los cordones de soldadura se puede observar que la muestra 1 no presenta fusión en el canto ni hundimiento con respecto a los demás, pero se ve afectada la profundidad de penetración por lo que se buscaría un valor objetivo de al menos el 50% al 70% en relación a sus espesor de 2.1 mm.

Se realizó el análisis ANOVA para determinar cuál es el efecto principal y significativo que afecta a la profundidad de penetración (ver figura 8). Los P-Values menores a 0.05 indican los factores significativos. La velocidad de alimentación del alambre (WFS) con un valor de 0.006 fue el único valor significativo en esta corrida con una tendencia lineal a la profundidad de penetración.

Factorial Regression: Profundidad de penetración versus WFS, TS, Trim, Gap

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	5.42029	0.90338	2007.51	0.017
Linear	4	5.35828	1.33957	2976.82	0.014
WFS	1	5.33011	5.33011	11844.69	0.006
TS	1	0.00320	0.00320	7.11	0.228
Trim	1	0.01445	0.01445	32.11	0.111
Gap	1	0.01051	0.01051	23.36	0.130
2-Way Interactions	2	0.06201	0.03101	68.90	0.085
WFS*Trim	1	0.02420	0.02420	53.78	0.086
WFS*Gap	1	0.03781	0.03781	84.03	0.069
Error	1	0.00045	0.00045		
Total	7	5.42074			

Figura 8. Análisis de varianzas y gráfica de pareto sobre la profundidad de penetración en la corrida DFF.

El valor objetivo de la profundidad de penetración será de 50% a 70%, los cuales se mantendrá a una velocidad de alimentación del alambre de 400 a 450 IPM.

D. Resultados corrida modelo Taguchi

El 83.03% de la variación de la respuesta “profundidad de penetración” (ver figura 9) es explicada por el modelo. Acorde a los valores que se escogieron como meta del 50% al 70% y un valor en específico de 1.26 mm se elige WFS: 400 IPM, TS: 32 IPM, Trim: 1, Stick Out: 15 mm, ángulo de ataque: 5° y un ángulo de trabajo de 45°, es acorde a las cinco alternativas que reporta el minitab 17 en su resultado de regresión múltiple lineal de proyección y optimización.

WFS	TRIM	TS	Stick Out	A Ataque	A trabajo	Profundidad de Penetración
330	0.92	28	10	3	45	0.60
330	0.92	28	10	5	50	0.32
330	0.92	28	10	10	55	0.77
330	0.95	35	15	3	45	1.12
330	0.95	35	15	5	50	1.25
330	0.95	35	15	10	55	0.74
330	1.00	39	19	3	45	0.82
330	1.00	39	19	5	50	0.72
330	1.00	39	19	10	55	0.91
400	0.92	35	19	3	50	0.30
400	0.92	35	19	5	55	0.44
400	0.92	35	19	10	45	1.26
400	0.95	39	10	3	50	1.07
400	0.95	39	10	5	55	1.12
400	0.95	39	10	10	45	1.14
400	1.00	28	15	3	50	1.19
400	1.00	28	15	5	55	1.58
400	1.00	28	15	10	45	0.96
480	0.92	39	15	3	55	1.68
480	0.92	39	15	5	45	1.75
480	0.92	39	15	10	50	1.72
480	0.95	28	19	3	55	1.49
480	0.95	28	19	5	45	1.68
480	0.95	28	19	10	50	1.62
480	1.00	35	10	3	55	1.26
480	1.00	35	10	5	45	1.15
480	1.00	35	10	10	50	1.00

Figura 9. Corridas y profundidad de penetración del método Taguchi.

IV. CONCLUSIÓN

Con esta investigación se cumplió el objetivo general, donde se encontraron los factores significativos del proceso de soldadura del brazo de control FUCA aunado a los parámetros óptimos que redujeron la probabilidad de producir piezas rechazadas por un defecto de soldadura los cuales fueron:

- WFS = 400 IPM
- Velocidad de viaje = 32 IPM
- Trim = 1.00
- Stick out = 15 mm
- Ángulo de ataque = 5°
- Ángulo de trabajo = 45°
- Perfil de superficie en estampado superior = 2.2-2.8 mm (zona 1); 2.4-2.9 mm (zona 2); 2.2-2.9 mm (zona 3)
- Tamaño máximo de gap = 1.08 mm

Para evitar generar piezas rechazadas se debe establecer y mantener los niveles óptimos encontrados, en el proceso de soldadura GMAW del brazo de control FUCA.

Se redujo el porcentaje de piezas desechadas promedio de 2.3% pasando a un promedio de 1.0% con la optimización de parámetros. El costo generado del 2.3% es del \$14,000 usd/mes fue reducido a \$6,500 usd/mes. Al final del año 2017 se estima un ahorro con la implementación del cambio de parámetros en un total de \$82,500 usd.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Multimatic Inmetmatic por el apoyo recibido mediante el financiamiento al proyecto de la aplicación de un diseño de experimentos en las partes descritas como brazo de control FUCA.

VI. REFERENCIAS

- [1] An American National Standard. (2001). *Standard Welding Terms and Definitions*. ASW A3.0.
- [2] Ferjutz, K.; Devis J. R. (1993). *Welding brazing and soldering, Metals*. ASM Handbook, Vol 6. Park, Ohio: ASM International.
- [3] Fisher, R.A. (1990) *Introduction to "The Arrangement of field experiments"*. Technical report, No 253, California.
- [4] Granjon, H. *Fundamentals of welding metallurgy*. Cambridge: Woodhead Publishing., 1991.
- [5] Jeffus F. *Welding: Principles and Applications*. Clifton Park. New York, Dekmar Cengage Learning. 2002
- [6] Kah, P. *Welding of sheet metal using modified short arc MIG/MAG welding process*. Finland, 2007.
- [7] Kavanaugh, C. *Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos*. Conciencia Tecnológica, núm. 19. Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguascalientes, México. abril, 2002.
- [8] *Manual de Soldadura EXSA-OERLIKON Edición 1995*.
- [9] Montgomery, D. *Diseño y análisis de experimentos*. 2da edición. Limusa Wiley. Arizona, 2004.
- [10] O'Brien, R. *Welding Handbook: Welding Processes*. 8th Edition; Miami: American Welding Society. ISBN 0-87171. 1991.
- [11] Orellana, L. *Regresión lineal*. Mexico, 2008.
- [12] Tanco, M. *Practical applications of design of experiments in the field of engineering*. John Wiley & Sons, Ltd. 2008.

VII. BIOGRAFÍA



Rizo López José Francisco. Nacimiento en la ciudad de Guadalajara Jalisco el 5 de septiembre de 1988. Estudió la carrera de Ingeniero Químico en Materiales en la facultad de química de la Universidad Autónoma de Querétaro en los años de 2008 al 2012.

Actualmente labora en una empresa de autopartes llamada Inmetmatic Multimatic SA de CV en el estado de Guanajuato como Ingeniero de Soldadura siendo responsable del laboratorio de pruebas desde marzo del 2015. Su experiencia desde el 2012 fue como responsable del laboratorio en diferentes giros metal mecánico en la industria. Su línea de investigación está en la optimización de procesos de soldadura con el uso de herramientas estadísticas.

IQM Rizo, Inspector de Soldadura Certificado por la Sociedad Americana de Soldadura. Capacitaciones en *core tools*, procesos de soldadura, tratamientos térmicos, resolución de problemas, materiales.



Mendoza Rodríguez Elias. Nacimiento en la ciudad de San Luis de la Paz, Guanajuato el 18 de Junio del 1987. Estudió la carrera de Ingeniero Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Querétaro en los años de 2005 al 2010.

Actualmente labora en una empresa de autopartes en el estado de Guanajuato como Ingeniero de Soldadura siendo coordinador de mantenimiento desde Febrero del 2013. Su experiencia desde el 2010 fue como integrador

robótica, PLC, maquinados. Su línea de investigación está en el ajuste e integración de programas automatizados Ing. Mendoza, capacitaciones en integración de robots, mantenimientos a controladores, programación de robots.



López Aguado Juan Carlos. Nacimiento en la ciudad de Celaya, Guanajuato el 31 de Enero del 1980. Estudió la carrera de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de Celaya en los años de 1997 al 2001, cuenta con una Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica en el ITC en los años 2003-2005.

Actualmente labora en una empresa de autopartes llamada Inmetmatic Multimatic SA de CV en el estado de Guanajuato como Gerente de Producción desde noviembre del 2012.

Su experiencia desde el 2005 fue en la industria automotriz desempeñando diferentes funciones de ingeniero y gerente. Su línea de investigación está en la optimización de procesos de soldadura.

M. en C. López, Capacitaciones en administración, procesos de soldadura, resolución de problemas, liderazgo.

El uso educativo que le dan los estudiantes de ingeniería del ITSSPC a las redes sociales

R. E. Vielma–Castillo^{1*}, E.C. Aguilar-Favela¹, M.I Luna-Reyes¹

Resumen

La presente investigación plantea la experiencia de los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en el uso de las redes sociales con fines educativos. Es un estudio exploratorio, se aplicó una encuesta a una muestra representativa de (n=90), de los 301 matriculados en la carrera. El 90% de los encuestados revelaron que pertenecen a un grupo que se formó en el salón de clases. El consumo de redes forma una rutina académica, el 98% de los estudiantes usan las redes con ese fin y son quienes parten de la iniciativa para crear este tipo de entornos en la solución de dudas con los maestros, así como el apoyo intergrupar para la difusión y la realización de trabajos de clase. Existe una limitación para la conectividad en la red debido a que aunque el 100% de la muestra cuenta con un dispositivo móvil solo el 39% tiene la posibilidad mantenerse en línea, debido a la incapacidad económica. Este diagnóstico puede considerarse una fuente de aprovechamiento educativo, la efectividad potencial que genera el autoaprendizaje de los estudiantes que vinculan estos procesos tecnológicos a la integración, desarrollo de actividades escolares cotidianas.

Palabras clave— autoaprendizaje, formación, grupos, redes sociales.

Abstract—the research presents the experience of the students of engineering in Business Management by the Instituto Tecnológico de San Pedro de las Colonias in the use of social networks for educational purposes. An exploratory study, a survey was applied to a representative sample of (n = 90), out of the 301 enrolled in the race. Ninety percent of the respondents revealed that they belonged to a group that was formed in the classroom. The use of networks is an academic routine, 98% of students use the networks for this purpose and are those who start the initiative to create this type of environment in the solution of doubts with teachers, as well as intergroup support for the dissemination and the realization of class work. It was found that there is a limitation for the connectivity in the network because although 100% of the sample has a mobile device only 39% has the possibility to stay in line, due to economic incapacity. This diagnosis can be considered a source of educational advantage, the potential effectiveness generated by the self-learning of the students that link these technological processes to the integration, development of daily school activities.

Keywords— self-learning, training, groups, social networks

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de redes sociales virtuales se ha implantado profundamente en las rutinas de los estudiantes, las infinitas posibilidades de interacción mediada por la diversidad de herramientas electrónicas y la creación de estos canales podrían considerarse para sacar provecho que en un principio fungió como una modalidad comercial y sin tanto interés por generar procesos formativos o relacionados con el sector educativo en el futuro (1). En la actualidad y con la globalización que impera en un contexto cada vez acentuado al neoliberalismo se investigan cuáles son las redes más adecuadas para su uso académico, qué tipo de actividades pueden tener mejor aceptación entre los estudiantes y qué herramientas de las redes sociales podrían ser más útiles para alcanzar las metas académicas que exigen los contenidos de formación curricular.

Los resultados indican que el consumo de redes sociales de la población estudiada es muy alta, la frecuencia con la que los estudiantes dan un uso académico a las redes es medianamente aplicable y, en promedio, las actividades académicas con frecuencia de uso más elevada son aquellas que parten de la iniciativa de los propios estudiantes, como la solución de dudas entre los alumnos que se conectan o la realización de trabajos de clase. “Del escaso apoyo académico percibido en las redes por los estudiantes, se deduce un limitado aprovechamiento por parte de los docentes, debido a que no es una plataforma formal para trabajar académicamente.” (2)

Las redes sociales son consideradas plataformas en la Internet que actúan facilitando el intercambio de información, las interacciones y la colaboración entre sus usuarios (3).

Estas conexiones virtuales, espacios mediados por un dispositivo electrónico abren múltiples opciones para añadir una nueva dimensión a los procesos de aprendizaje y conocimiento. Los sitios de redes sociales hacen posible a los estudiantes conectarse a ambientes de aprendizaje

¹Departamento 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. *elena.vielma@tecsanpedro.edu.mx

formales e informales, que puedan encontrar personas de ideas afines y organizar los intercambios de conocimiento informal con fines educativos. (4) Es un reto para promover el aprendizaje mediado en una realidad virtual de los estudiantes con los medios de comunicación social en la educación formal. Våljataga y Fiedler, 2009 (5). Sin embargo permite una creación colectiva del conocimiento, un proceso en el que no sólo el miembro va a aprender mucho, pero también implica una revisión del conocimiento colectivo que evolucionará, dadas las condiciones y los recursos que el profesor manipule para darle un encauzamiento eficaz y eficiente en la apertura de los canales de acceso a la información que permitan el desarrollo de habilidades que sean aprovechadas en la generación de aprendizajes bien sustentados.

Es una investigación que se fundamenta en la metodología mixta que utiliza lo cuanti-cualitativa y que sostiene Vargas, 2010 (6), es “aquella cuyos métodos, observables, técnicas, estrategias e instrumentos concretos se encuentran en lógica de observar necesariamente de manera subjetiva algún aspecto de la realidad. Parte de un estudio exploratorio, una prueba piloto para identificar los usos de las redes sociales en la comunidad académica del Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias.

La documentación inicial tiene por objetivo que el investigador se adentre y familiarice con la realidad que pretende analizar; a fin de que adquiera una preparación sociocultural; como lo menciona Quintana, 2006 (7), que le permita al investigador realizar una aproximación acertada, eficaz y convincente a su interacción con la realidad que pretende abordar, evitando así, por ejemplo, hacer preguntas ociosas o fuera de contexto o crear resistencias por desconocimiento de la realidad; lo que a la postre le permitirá mejorar las probabilidades de establecer una relación de empatía que haga viable el acceso a lo íntimo del tejido sociocultural y a lo privado de las vidas personales, objeto de la investigación.

“Esta metodología produce como resultados categorías (patrones, nodos, ejes, etc.) y una relación estructural y/o sistémica entre las partes y el todo de la realidad estudiada.”(8).

Objetivo General

Explicar los procesos formativos que tienen las redes sociales virtuales y su aplicación didáctica en el aprendizaje de los estudiantes de educación superior.

Sustentación

Con el aceleramiento tecnológico el número de usuarios al internet ha ido creciendo tanto como el acceso en las redes

sociales, además de que cada vez son más los dispositivos móviles los que facilitan su incorporación.

Existen factores tales como los precios accesibles en los equipos, los servicios de telefonía celular, las redes libres, etcétera que facilitan el nivel de pertenencia a una red social. La rapidez con la que se mueven en el mercado ha facilitado al consumidor adquirirlos y son los jóvenes y personas con poco conocimiento en el uso de esas plataformas virtuales, que a una más temprana edad se hacen usuarios y manifiestan una codependencia a la conectividad.

Definir para contextualizar es necesario para tener un acercamiento lo más objetivo al propósito que se formuló y a pesar de que la mayoría las conoce por la práctica ¿Qué son las redes sociales? Son estructuras sociales compuestas de grupos de personas las cuales están conectadas por uno o varios tipos de relaciones, tales como amistad parentesco intereses comunes o que comparten algún tipo de conocimiento específico o puramente empírico (9). Esta vía conocida como red social en el ámbito de internet: son páginas que permiten a las personas conectar con sus amigos, incluso realizar nuevas amistades, a fin de compartir contenidos, interactuar, crear comunidades sobre intereses afines: trabajo, lecturas, juegos, amistad, relaciones interpersonales). Las redes sociales en Internet han ganado su lugar de una manera vertiginosa, convirtiéndose en promisorios negocios para empresas, artistas, marcas, profesionales independientes y, sobretodo, en lugares para encuentros humanos (10).

El fenómeno de las redes sociales es relativamente nuevo, aunque la primera modalidad de comunicación a través de la red nace con el correo electrónico, cuyo primer envío fue en 1971. Pero la idea se concentra y mejora en un ensayo proveniente de un entorno escolar producto de un proyecto de jóvenes y en 2004, con el nacimiento de Facebook, la red social con el mayor número de usuarios hasta la fecha (1110 millones de usuarios activos al mes, estalla la revolución de este medio de comunicación (11).

Una de las implicaciones revisadas en trabajos previos que sustentan esta investigación es lo que expone Espinoza, 2015 (12), “se ha perdido el contacto humano y que el uso excesivo de las redes sociales en los estudiantes son un fuerte distractor para su desempeño académico no únicamente a nivel universidad, sino en otros niveles educativos” Por lo que el presente trabajo de investigación diagnóstico el impacto tiene el uso de las redes sociales en estudiantes de ingeniería, como también las principales características del uso y dispositivos para acceder a estos medios virtuales.

Las redes sociales son entornos globalizados. El público más joven es quien interactúa y por ende más susceptible a los contenidos informáticos. Los entornos virtuales ocupan

un espacio idóneo para intercambiar información y conocimiento de una forma rápida, sencilla y cómoda.

Desde el punto de vista académico su utilidad se potencializa en el momento en que los maestros se incluyen y pueden aprovechar esta herramienta tecnológica y la predisposición de los estudiantes a usar redes sociales para incorporarlas a los procesos formativos.

También lo señalan Gómez et al. 2011(13), “Las redes permiten y favorecen publicar y compartir información, el autoaprendizaje; el trabajo en equipo”, la interacción entre estudiantes que integran el grupo facilitan el aprendizaje constructivista y el aprendizaje colaborativo; y el contacto con expertos. En conjunto, todas estas aplicaciones y recursos hacen que el aprendizaje sea más interactivo y significativo y sobre todo que se desarrolle en un ambiente más dinámico (14).

Los nuevos estudiantes que pertenecen a la generación de la sociedad del conocimiento se trasladan a un nuevo nivel de transferencias de ideas, que cuentan con mayor atractivo donde se maximiza el encuentro con entornos digitales de entretenimiento, es en cuestión de segundos la apertura de portales donde personas con un interés descubren una puesta en común y en el descubrimiento se intercambian datos en forma de ideas, que se codifican en un metalenguaje que rebasa el contacto físico, redefinen la forma en la que quieren interactuar y aprender. Un cierto grado de alfabetización virtual, el acceso a recursos electrónicos e internet, y la necesidad imperiosa de mantenerse comunicados, son condiciones que les permiten participar de manera más interactiva. (15). Así lo menciona Valerio-Ureña, 2011 (16), “Gracias a que muchos de ellos cumplen en gran medida las condiciones antes mencionadas, hemos sido testigos del boom de las redes sociales en línea y del software social en general. Servicios como Facebook, Twitter, MySpace y YouTube entre otros, han permitido que las personas se mantengan en completa interacción de manera barata, sencilla y entretenida.”

Según Sandoval 2000 (17), “todo esto puede reducirse a que los usuarios buscan algún beneficio, el enfoque es cercano a la teoría de ‘usos y gratificaciones’ El consumo es ligado a la postura de Néstor García Canclini (1995) (18), que aborda el problema del consumo desde una perspectiva sociológica y antropológica, en las que destaca la “racionalidad de los intercambios económicos y culturales”, y desde la perspectiva comunicacional, desde la que considera “el uso de los bienes de consumo cultural como transmisores de información y significado”. Se define el consumo como el conjunto de procesos socioculturales donde se realizan la apropiación y los usos de los productos

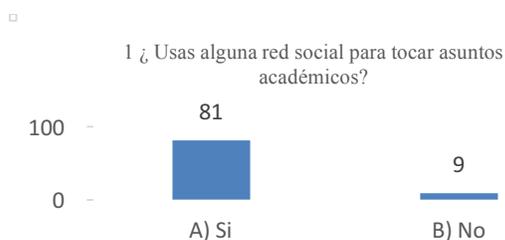
A. Trayecto Metodológico

Para realizar esta investigación se efectuó un estudio exploratorio, por medio del diseño y la aplicación de una encuesta, que constó de 12 reactivos de opción múltiple lo que permitió la inclusión de una segunda fase de estudio en la trayectoria metodológica, mediante una escala de Likert, el uso de un modelo estadístico que sustente la investigación. Implica también un estudio etnográfico posterior por medio de entrevistas semi-estructuradas, a maestros y alumnos, la observación no participante y un análisis cuanti-cualitativo, para determinar la efectividad de estos grupos virtuales como espacios de autoaprendizaje. El objetivo de la encuesta, aplicada a la muestra aleatoria de 90 participantes en este diagnóstico, para el universo de 301 estudiantes matriculados en la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias fue identificar el uso de las redes sociales como herramienta educativa. A partir del procesamiento de los datos se obtuvo que los estudiantes si usan la red social en la escuela. Las redes más usadas por los participantes para vincular situaciones académicas son el WhatsApp y los grupos cerrados de Facebook. Cabe mencionar que los estudiantes provienen de ejidos, comunidades rurales cercanas a la escuela donde reciben sus procesos formativos, sus condiciones económicas son limitadas.

II. RESULTADOS PRELIMINARES

Se obtuvieron los siguientes datos que permitirán el seguimiento a una segunda fase en el desarrollo de la investigación, para esto se integraron los resultados en porcentajes y la cantidad de encuestados para cada pregunta. El 59% de la población correspondió a participantes del sexo femenino y el 41% restante a masculino.

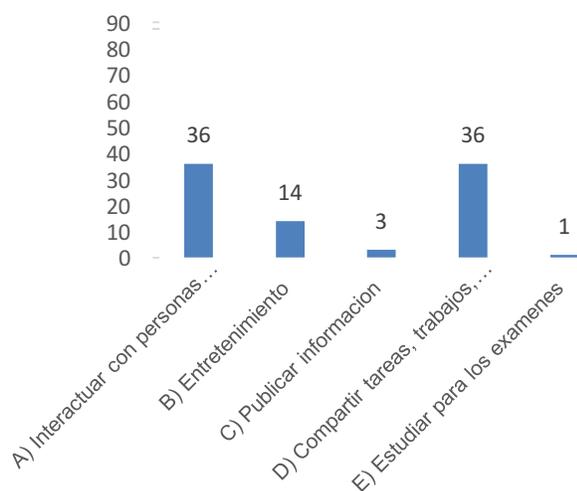
La primera pregunta de la encuesta estableció que el 90% respondió que sí y el 10% estableció que no. Los estudiantes sí usan las redes sociales para abordar temas relacionados a lo que estudian. Para estar enterados sobre información de la escuela a la que asisten.



El 90% se conecta a diario, el 8% respondió semanalmente y solo el 2% utilizó otra como esporádicamente.

En la cuarta pregunta se encontraron los siguientes datos, un empate entre las respuestas de selección múltiple en el inciso a) y el inciso d) que implicó las respuestas de interactuar con personas que aprecio y compartir tareas, trabajos, proyectos relacionados a lo que estoy estudiando. Denotando un 40% para lo anterior demostrado. El 16% escogió entretenimiento, dejando con un 3% a la publicación de información en el grupo- chat.

4 ¿Para qué usas la aplicación?



Para tener claridad en cuanto al tiempo de conectividad en la red social se planteó la quinta pregunta y tener una certeza de la revisión de los grupos virtuales en los usuarios encuestados, el acceso para obtener información de tipo académico o interacción de tipo escolar. Se obtuvo que el 39% respondió que siempre está conectado. El 34% usa la red de dos a tres horas diarias. El 18% se conecta máximo una hora y solo el 10% contestó que su nivel de interacción virtual equivale a treinta minutos. Con esto se abre una pregunta para la conformación de la escala Likert que establezca que tanto de lo que se conecta en el periodo antes revisado es de cohorte académico y la medición del aprovechamiento educativo en ese rango de conexión, así como la indagación sobre el nivel de significancia para las respuestas de los incisos c y d.



Respecto a la pregunta ¿Eres miembro activo de algún grupo virtual donde se intercambia información relacionada a la formación de la carrera que estudian? los datos obtenidos fueron que el 80% si esta agregado a un grupo de interacción por medio electrónico y el otro 20% respondió que no forma parte de ninguno. Es una situación que los estudiantes vinculan sus tareas y actividades académicas a las interacciones con los demás compañeros independientemente al entretenimiento que produce el uso del dispositivo.

¿Qué tanto es aplicable el uso de la red social para fines de mejorar tu aprendizaje? los 44 encuestados respondieron que medianamente los contenidos que se manejan se ajustan medianamente con un 48% al aprendizaje y el contraste con el 27% expuesto al que sí se puede mejorar el aprendizaje de quienes interactúan en el grupo.

En el diseño del instrumento se formuló la pregunta sobre el uso de la red mientras están en clase el 86% representó en la gráfica una respuesta negativa, El 14% respondió que sí debido a que cuentan con plan y datos para usar en clase. Se Agregó una pregunta abierta ¿Por qué? Para cada inciso con la finalidad de saber que impide la conexión durante las clases. Para esto se agruparon las respuestas en categorías de repetición y se determinó que la distracción, prohibición del profesor, insuficiencia de saldo en sus dispositivos y la incapacidad de detectar red libre en las aulas.

Para la pregunta ¿Los profesores participan activamente en el uso de este tipo de aplicaciones virtuales? El 66% respondió que sus maestros si tienen interacción con ellos de manera informal resolviendo dudas y el 34% no forma parte de estas comunidades virtuales creadas por los estudiantes.

En el décimo reactivo se observó que los valores más altos en las respuestas de los estudiantes correspondieron a un 41% para resolver dudas, que se concatena con la pregunta anterior y el 37% opinó que es utilizado para compartir opiniones de los temas de clase.

Sobre la efectividad de la herramienta se estableció que el 40% de las respuestas obtenidas fue para publicar información referente a lo que se aborda en las clases.

Seguido del 24% en el inciso c) para hacer tareas y proyectos inmediatos y el 14% respondió que lo usa para estudiar para los exámenes.

El uso de la aplicación ha generado en el estudiante una optimización del tiempo para informarse y así poder aprovechar en otras actividades. Esta última pregunta obtuvo un 43% de elecciones en el inciso b) en la gráfica. Aunque se puso "Se mejora en la calidad del aprendizaje que tengo" no rebasó la segunda opción el resultado mostró 34% lo que indica que aún no logra evidenciarse explícitamente entre la comunidad estudiantil una aceptación de la herramienta como elemento vital para la mejora del aprendizaje como tal.

III. CONCLUSIONES

El estudio preliminar abrió la segunda fase para dar seguimiento pues contiene los elementos para continuar en la medición, las condiciones contextuales en que se hizo la investigación permitieron obtener información que enriquezca el impacto de los grupos virtuales educativos en redes sociales comerciales comunes entre los jóvenes que están en un medio de educación superior como es la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial.

Se pretende dar continuidad a esta investigación exploratoria debido a la aceptación de la muestra quienes se mostraron interesados a participar en un tema con el que conviven a diario, como es la actividad del entorno virtual y como a pesar de las condiciones socioeconómicas que imperan en la continuidad de sus estudios, siguen al tanto de lo que acontece en la actividad del grupo de estudiantes que pertenecen al grupo.

A partir de la conformación de un grupo de discusión y la selección de participantes (maestros-alumnos) para entrevistas semi-estructuradas se enriquecerán los resultados preliminares. A partir de este acercamiento se ofrece que los estudiantes usan la red social no solo como una vía de entretenimiento sino también como la necesidad de actualizarse en las circunstancias académicas de la instancia donde estudian actualmente.

Expresaron en el instrumento que está prohibido el uso de las redes en clase como factor de distracción, las condiciones de red limitan el uso y la insuficiencia de datos móviles implica un gasto que la mayoría no puede darse por la situación socioeconómica que presentan.

Es conveniente resaltar la respuesta que implican las condiciones tecnológicas al interior del instituto limitan el aprovechamiento de una red libre para interactuar en las redes sociales comerciales como WhatsApp y Facebook, espacios que fueron seleccionados por los informantes como medios para abordar situaciones académicas.

El aspecto valorativo y contextual de la creación de un grupo cerrado en Facebook para abordar temas de clase de

los estudiantes de ingeniería implica una revisión con mayor profundidad precisar los usos de formación y la consolidación de esta herramienta educativa, pues son ellos quienes tienen la iniciativa de crear espacios como este para el intercambio de datos, tareas, proyectos, trabajos en equipo lo que permitirá ofrecer una respuesta hacia la generación y aprovechamiento de comunidades de autoaprendizaje mediados por los entornos virtuales.

IV. REFERENCIAS

- [1] Gómez Aguilar, M, Roses, S y Farias Batlle, P. (2012) El uso académico de las redes sociales en universitarios. *Comunicar*, n° 38, v. XIX, Revista Científica de Educomunicación; ISSN: 1134-3478; pp. 131-138.
- [2] *Ibidem*
- [3] De La Hoz, L P, Acevedo, D. y Torres, J. 2015, *Uso de Redes Sociales en el Proceso de Enseñanza y Aprendizaje por los Estudiantes y Profesores de la Universidad Antonio Nariño*, Sede Cartagena. Form. Univ., Vol. 8, no.4, p.77-84. ISSN 0718-5006.
- [4] Wodzicki, K., Schwammlein E. y. Moskaliuk, J (2012). "Actually, I Wanted to Learn": Study-related knowledge exchange on social networking sites, *The Internet and Higher Education*, 15(1), 9-14.
- [5] Valjataga, T. y. Fiedler S, (2009) Supporting students to self-direct intentional learning projects with social media, *Educational Technology & Society*, 12(3), 58-69.
- [6] Vargas, X. (2010). *Guía ¿Cómo Hacer Investigación Cualitativa?* Unidad Académica de Contexto. ITESO.
- [7] Alberto Quintana Peña, 2006, *Metodología de Investigación Científica Cualitativa en: Quintana, A. y Montgomery, W. (Eds.). Psicología: Tópicos de actualidad*. Lima: UNMSM. pp. 1-30.
- [8] Taylor, S. J. & Bogdan, R (1998), *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*, Paidós, Buenos Aires, Argentina.
- [9] Definición A, B, C, (2012). *Definición de Redes Sociales*. Recuperado el 14 de septiembre de 2017 de: <https://www.definicionabc.com/social/red-social.php>
- [10] *Wwwtallerweb.com*. SF, *Redes sociales* recuperado el 26 de septiembre de 2017, de <http://tallerweb.com/redes-sociales/>
- [11] *Universia.net*, (2013), *¿Qué uso le dan los universitarios a las redes sociales?* recuperado el 26 de septiembre de 2017 de: <http://noticias.universia.es/en-portada/noticia/2013/09/30/1052595/que-uso-dan-universitarios-redes-sociales.html>
- [12] Espinoza J.R, Quintana Martínez R.M. Quintana Salcido M. Á., Gutiérrez Olivás A.C. (2015). *Medición del impacto de las redes sociales en los estudiantes de licenciatura de la facultad de ingeniería de la UACH y su eficiencia académica Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Perif. Fco. R. Almada km.1 Chihuahua, Chih. Mex.* Recuperado El 26 de septiembre de 2017, de: http://www.chi.itesm.mx/icm/wpcontent/uploads/2014/12/1626656_Impacto_de_las_Red_Sociales_ICM_2014_Ing_Espinoza_UACH.pdf
- [13] Gómez M, Roses S, Farias Batlle, P, (2012). *Ibid*,
- [14] Imbernón, Silva y Guzmán, 2011, *Competencias en los procesos de enseñanza-aprendizaje virtual y semipresencial*, *Comunicar*, n° 36, v. XVIII, 2011, *Revista Científica de Educomunicación*; ISSN: 1134-3478; páginas 107-114.
- [15] Martínez, V. y Chesñevar, C. (2012), *Experiencias sobre el uso de Facebook en un curso universitario presencial*. Universidad Nacional del Sur. Argentina. Recuperado el 26 de septiembre de 2017, de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/4737/1/Rojas_hj.pdf.

- [16]. Valerio, G. y Valenzuela, R. (2011). Redes sociales y estudiantes universitarios: Del nativo digital al informívoro saludable. El profesional de la información. México. 20(6) 667-670.
- [17]. Sandoval Martín, M. T. (2000), "Algunas cuestiones sobre el uso de Internet para los próximos años", en: Revista Latina de Comunicación Social, núm. 31, disponible en <http://www.ull.es/publicaciones/latina/aa2000kjl/z3ijl/88sandoval.htm>
- [18]. García Canclini, N. (1995), Consumidores y ciudadanos, México, Grijalbo.

V .BIOGRAFÍA



Rosa Elena Vielma Castillo. 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 basado en competencias. Editorial Académica Española.



María Isabel Luna Reyes San Pedro de las Colonias, 20 de Diciembre de 1977 Licenciatura en Informática. Maestría en Educación. Universidad del Valle de México 2015. Instituto Tecnológico de Torreón. Actualmente labora como docente en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en la carrera de Ingeniería Industrial. Jefa del Departamento de Residencias 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.



Edna del Carmen Aguilar Favela. 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.

Desarrollo de una aplicación móvil para el seguimiento de los eventos de un congreso

M.G. Flores-Luévanos^{*}, E. Moreno-Núñez², K.V. Rodríguez-Lozano³

Resumen—En los últimos años las aplicaciones para dispositivos móviles han construido un entorno propio y constituido un fuerte impulsor de innovación. El mercado de las apps crece constantemente, utilizando diferentes plataformas de desarrollo y tratando de captar la atención de los usuarios. Entre las variadas aplicaciones de este tipo se encuentran las orientadas a la educación, así como a la gestión de eventos. Las instituciones educativas las utilizan, de acuerdo a sus necesidades, como un complemento facilitador que a la vez proyecta una imagen profesional al público asistente a sus eventos.

El Instituto Tecnológico Superior de Lerdo es una universidad que cuenta con una amplia infraestructura y realiza eventos de alta calidad para mostrar a los estudiantes y al público en general las tecnologías más novedosas en los diferentes ramos de la ingeniería, siendo el Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería (CONINCI) el evento donde se exponen estos temas. En el artículo se describe el desarrollo de una aplicación móvil que permite al usuario consultar los eventos del congreso y dar seguimiento a aquellos de su interés, por medio de la recepción de notificaciones en su dispositivo móvil.

Palabras claves—Aplicación Móvil, Congreso, CONINCI, Desarrollo, Software.

In recent years, mobile applications have built their own environment and have driven innovation. The apps market is constantly growing, using different development platforms and trying to capture the attention of users. Among the various applications of this type are those oriented to education, as well as to the management of events. Educational institutions use them, according to their needs as a facilitator supplement that also projects a professional image to the public that attending events.

The Instituto Tecnológico Superior de Lerdo is a university that has an extensive infrastructure and performs high quality events to show students and the public the latest technologies in the various branches of engineering, being the International Congress of Sciences of the Engineering (CONINCI) the stage where these topics are exposed. The article describes the development of a mobile application that allows the user to consult congress events and follow up on those of interest, by receiving notifications on his mobile device.

Keywords— Mobile Application, congress, CONINCI, Development, Software.

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos móviles han avanzado de una manera sorprendente desde aquellos con las funciones esenciales de comunicación, hasta los dispositivos multitarea actuales, que son capaces de soportar la mayoría de las actividades diarias del usuario, por medio de aplicaciones instaladas. El mercado de estas aplicaciones móviles crece constantemente, utilizando diferentes plataformas de desarrollo y tratando de captar la atención de los usuarios. Las aplicaciones móviles o apps son programas que se ejecutan en dispositivos móviles tan variados y versátiles que pueden realizar miles de funciones [1], estas aplicaciones móviles están estructuradas para adaptarse a las características de los dispositivos, permitiendo explotar al máximo y poder ejecutar infinidad de aplicaciones (por ejemplo, la localización o el acelerómetro en algunos videojuegos, etc.) [2].

Existen diversos mercados para las aplicaciones, uno de ellos es enfocado al ámbito de la educación. Entre las apps que se pueden aplicar, son aquellas que permitan la gestión y organización de eventos adaptándose a las necesidades de la Institución Educativa [3], esto con el objetivo de proporcionar una imagen de profesionalidad a sus asistentes [4].

El Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería (CONINCI) es un magno evento anual del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo que cuenta con la participación internacional y nacional de conferencistas, ponentes, instructores y profesionales de la ingeniería, al que asisten los estudiantes de la región lagunera. Es el escenario donde se exponen los avances en investigación aplicada, proyectos e ideas innovadoras, sirve como medio de difusión de la tecnología y como agente impulsor de la cultura tecnológica para la comunidad académica, comercial e industrial. El CONINCI es un evento de carácter internacional que tiene como objetivo motivar y promover el interés de la comunidad investigadora, profesional y estudiantil por la ciencia aplicada; responde a la necesidad de generar un espacio de participación de expertos en diversas áreas de la Ingeniería, con la finalidad de apoyar ideas innovadoras, difundir tecnología, intercambiar experiencias, e impulsar la innovación e

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico SIN, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México. María Guadalupe Flores Luévanos* floresluevanos@itslerdo.edu.mx.

inventiva de los futuros ingenieros que la institución aportará al país.

El presente artículo describe el proceso de una investigación aplicada que tuvo como objetivo desarrollar una aplicación móvil para dar seguimiento a los eventos del congreso del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. La app fue desarrollada para dispositivos móviles con sistema operativo Android® a partir de la versión 4.0 y el lenguaje de programación Java® para Android® en el entorno de desarrollo Android Studio®.

En la parte técnica del escrito se detalla la metodología aplicada en el proyecto, así como las herramientas tecnológicas de software que fueron utilizadas en cada una de las etapas de desarrollo.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Fundamento Teórico

Android Studio®

Android® es un sistema operativo y una plataforma de software basada en Linux. Como sistema operativo, su uso no se restringe sólo a teléfonos celulares, también se le encuentra en tabletas, reproductores de música e incluso computadoras de escritorio. Android® fue desarrollado por Android Inc., una empresa que fue adquirida por Google® en 2005. [5]

Con el objetivo de agilizar el proceso de desarrollo, las aplicaciones en Android se basan en componentes, que se declaran en el archivo `AndroidManifest.xml`. Dichos componentes son: actividades, intentos, receptores de eventos y Servicios. [6]

Java® y JDK

Java® es un lenguaje de programación con alta caracterización técnica: orientado a objetos, robusto, seguro, independiente de la arquitectura, portable, multihilo y dinámico. El paquete de desarrollo de Java (JDK por sus siglas en inglés) es un entorno gratuito con herramientas de compilación, ejecución y depuración, que permite a los ingenieros de software construir aplicaciones, applets y componentes en Java. JDK incluye el ambiente en tiempo de ejecución para Java (JRE, por sus siglas en inglés), programas de software para la ejecución de las aplicaciones, interfaces de programación de aplicaciones (API) para clases estándar, herramientas de interfaces de usuario, entre otras utilerías. [7]

JAVA® para Android®

Las aplicaciones Android están programadas en Java® y corren en una máquina virtual llamada Dalvik, de manera

individual, de modo que la ejecución entre aplicaciones se realiza en forma aislada. Dalvik ha sido desarrollada por Google® y es óptima para dispositivos empujados. [8].

El núcleo de las aplicaciones de Java® para Android® se basa en Linux para el manejo de los procesos, la memoria y el hardware. También incluye un entorno de ejecución para las aplicaciones, un marco de trabajo (framework) de desarrollo para que los desarrollos dispongan de los servicios Android®, un kit de desarrollo de software (SDK) con complementos (plug-in), emuladores, entre otros. [8]

PHP®

PHP (acrónimo recursivo de PHP: Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de código abierto adecuado especialmente para el desarrollo web y en la programación de scripts del lado del servidor. El código de PHP está encerrado entre las etiquetas especiales de comienzo y final `<?php` y `?>` que permiten entrar y salir del "modo PHP". Lo que distingue a PHP®, es que el código es ejecutado en el servidor, generando código HTML con PHP, el cual será enviado al cliente. El cliente recibirá el resultado de ejecutar el script, desconociendo su código. [9]

JSON

JSON es el acrónimo para JavaScript Object Notation, esta notación se refiere a un formato de texto ligero para la representación y el intercambio de datos estructurados, es fácil de leer y escribir para los seres humanos y sencillo de analizar y generar para las máquinas [10]. JSON es utilizado para el intercambio de información entre sistemas. Utiliza Javascript como lenguaje y sintaxis para la definición de objetos contenidos en archivos de texto que son transferidos internet. JSON puede comunicar datos entre scripts Javascript y scripts PHP. [11]

Funciones JSON en PHP

PHP dispone de funciones con notación de objetos JSON, permitiendo convertir un objeto PHP a un string con notación JSON, así como crear un objeto PHP a partir de un string codificado con JSON.

PHP produce y consume datos cargados con notación JSON, por medio de funciones existentes en los servidores de PHP. [11]

MySQL®

MySQL® es un sistema gestor de bases de datos relacionales. Ha sido desarrollado de manera dual por la corporación Oracle© y con licencia público general GNU (GPL por sus siglas en inglés). Se considera a MySQL® como la base de datos de código abierto más popular del mundo, gracias a su rendimiento, confiabilidad y facilidad

de uso. MySQL® ofrece un conjunto muy completo de herramientas para el desarrollo y la gestión de aplicaciones críticas de negocio [12].

Para poder administrar la base de datos, realizar tareas de modelado de datos y utilizar herramientas de administración de usuarios, configuración de servidores, copias de seguridad, entre otros, es necesario contar con MySQL Workbench®, el cual es un entorno de desarrollo visual unificada muy útil tanto para arquitectos y administradores de bases de datos así como para desarrolladores de aplicaciones [13].

SQLite®

SQLite® es una biblioteca que implementa un motor de base de datos SQL transaccional, auto-contenido, incorporado. Su código es de dominio público, de uso gratuito para cualquier propósito, comercial o privado. SQLite® lee y escribe la base de datos SQL completa en archivos de disco. SQLite® es una biblioteca compacta, con todas las funciones habilitadas, su tamaño puede ser inferior a 500 KB. Estas características han erigido a SQLite® en una opción ampliamente seleccionada por los desarrolladores para sus aplicaciones de base de datos en dispositivos como teléfonos móviles, PDAs y reproductores de MP3 [14].

B. Metodología de desarrollo

Proceso unificado de desarrollo (PUD)

La metodología para el desarrollo de la aplicación web se basó en el Proceso Unificado de Desarrollo (PUD). Los aspectos clave que distinguen a este proceso son tres: casos de uso, arquitectura, y la naturaleza iterativa e incremental del desarrollo [15]. Estas características se detallan enseguida:

- Cada caso de uso describe una funcionalidad del sistema que brinda al usuario un resultado de valor.
- La arquitectura de software es la vista del diseño completo con las características más importantes y visibles, se configura a partir de las necesidades de la empresa reflejadas por los interesados.
- Las iteraciones son pasos que se repiten en el flujo de trabajo, los incrementos se refieren a crecimientos en el producto de software en construcción.

III. RESULTADOS

A. Especificación de Requerimientos.

La arquitectura utilizada para la aplicación es de tipo cliente-servidor; el cliente es la aplicación instalada en el dispositivo móvil y el servidor es una computadora en la que se ejecuta una interfaz de programación de aplicación

(API, por sus siglas en inglés) utilizando PHP con funciones JSON.

El nombre de la aplicación es Mi CONINCI, la que permite el registro, acceso, visualización de eventos y recepción de notificaciones en relación al CONINCI.

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

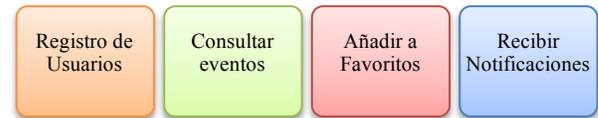


Gráfico 1. Funciones de la aplicación
Fuente: Elaboración propia.

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

1. Registro de usuarios
Los usuarios deberán ingresar sus datos personales para acceder al sistema; mismos que serán almacenados en una base de datos. El registro será único. El usuario podrá acceder al sistema ingresando: nombre completo, número de control (en caso de ser estudiante perteneciente al ITSL), correo electrónico y número telefónico.
2. Consultar información de los eventos
El sistema deberá mostrar un menú de opciones donde se ofrecerá información de cada una de las tareas a realizar dentro del CONINCI 2017, las cuales son: Conferencias, Ponencias y Talleres, además de que se ofrecerá un apartado de favoritos en el menú.
3. Añadir eventos específicos a favoritos.
Los usuarios ya registrados podrán añadir eventos que seleccionen para agregar a sus favoritos.
4. El sistema enviará notificaciones de recordatorio de los eventos seleccionados como favoritos. La aplicación se encargará de enviar notificaciones al dispositivo móvil donde se esté utilizando la aplicación en forma de recordatorios. Estas notificaciones serán enviadas al usuario 15 minutos y 24 horas antes de que inicie el evento.

B. Etapa de Diseño de la aplicación móvil.

En la figura 1, se presenta el diagrama de casos de uso que fue creado utilizando la herramienta de software orientada al lenguaje unificado de modelado StarUML®. En dicho diagrama se observan las siguientes funciones:

- Registrarse
- Consultar
- Conferencias.
- Ponencias.
- Talleres.
- Favoritos.
- Ver Ubicación.
- Consultar información del CONINCI

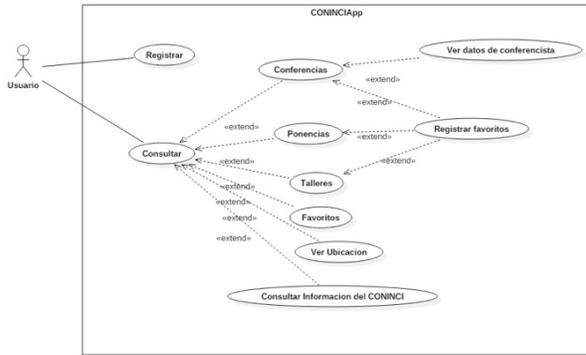


Figura 1. Diagrama de casos de uso de aplicación Móvil
Fuente: Elaboración propia.
Entrono de Desarrollo: StarUML®.

En la figura 2, se presenta el diagrama de clases del sistema, dicho diagrama fue diseñado utilizando la herramienta StarUML®.

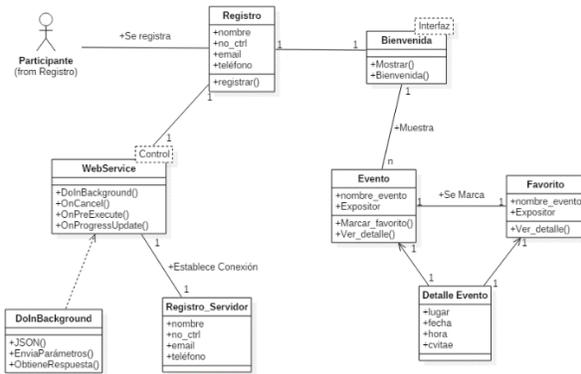


Figura 2. Diagrama de clases de la aplicación Móvil
Fuente: Elaboración propia.
Entrono de Desarrollo: StarUML®.

En seguida, en la figura 3, se presenta el diagrama relacional de la base de datos de la aplicación móvil implementado con el sistema gestor de base de datos MySQL®.

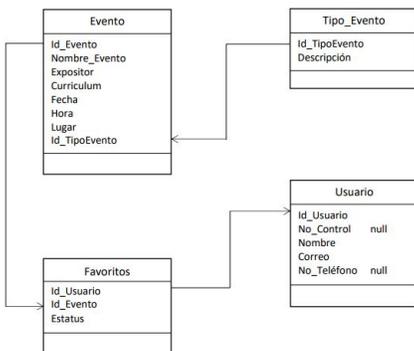


Figura 3. Esquema relacional de la Base de Datos.
Fuente: Elaboración propia

C. Maquetado de la Aplicación.

La organización y elaboración del prototipo, se realizó con el software libre NinjaMock®. En seguida se muestran las principales pantallas diseñadas para la aplicación.

La figura 4 muestra tres pantallas previas al registro y la pantalla en donde el usuario ingresa los datos de entrada para el registro en el sistema. Las pantallas de inicio dan una guía rápida de lo que se puede hacer con el sistema, estos pasos pueden ser omitidos y entrar directamente a la aplicación.



Figura 4. Pantallas de inicio y registro al sistema
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: NinjaMock®.

La figura 5 muestra las distintas pantallas que se relacionan a las diferentes opciones del menú principal. Al seleccionar la ponencia, conferencia o taller se muestra el detalle del evento y permite agregarlo a los favoritos pulsando el botón con imagen de un corazón.



Figura 5. Pantalla de menú principal
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: NinjaMock®.

D. Implementación

Para registrar un usuario la aplicación solicita la información correspondiente de cada usuario y la almacena en la base de datos dentro del servidor. Los datos del registro son enviados a PHP por medio de POST, para después enviar a Javascript el resultado de validar esos datos en el servidor. Como la validación puede ser positiva o negativa, el script PHP tiene que mandar una respuesta a Javascript desde PHP utilizando la notación JSON. Para crear la cadena de los datos enviados se utilizó la función de PHP llamada json_encode(), esta función recibe los datos a convertir en notación JSON y devuelve una cadena

de texto con el JSON producido. En la figura 6 se muestra la pantalla de registro de la aplicación móvil



Figura 6. Pantalla de Registro
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: Android Studio®.

Una vez iniciada la sesión se puede acceder a la aplicación. En la figura 7 se muestra el menú principal de la aplicación donde aparecen las distintas opciones de la misma así como el botón con los accesos a las funciones extras de la aplicación.



Figura 7 Menú principal.
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: Android Studio®.

La aplicación tiene también importantes enlaces de acceso presionando el menú flotante: el mapa de los edificios del ITSL donde serán los eventos, la cuenta oficial de Facebook del ITSL, Encuesta de Servicios, Pagina WEB de la aplicación y Galería de fotografías. La forma de acceder a cada opción se muestra en la figura 8.



Figura 8. Menú flotante
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: Android Studio®.

La figura 9, muestra los apartados de cada una de las opciones del menú principal, estas opciones deben ser seleccionadas por el usuario. El sistema proporciona en su apartado de “Ponencias”, “Conferencias”, “Talleres” y “Favoritos”, la información oportuna para que el usuario esté enterado de lugar, fecha, hora, breve descripción de la ponencia, así como un breve currículum del expositor.



Figura 9. Pantallas de opciones de menú
Fuente: Elaboración propia
Entrono de Desarrollo: Android Studio®.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los dispositivos móviles, particularmente los teléfonos inteligentes y las tabletas, se han posicionado como los de mayor auge en los años recientes, entre los demás aparatos tecnológicos. Su uso en la educación es un fenómeno irreversible, como lo demuestra la evolución de plataformas para los aprendizajes electrónico y móvil. Todo apunta a que el desarrollo de aplicaciones móviles relacionadas con la educación continuará en ascenso.

Los estudiantes universitarios actuales utilizan los móviles en todos los ámbitos de su vida cotidiana; a ellos les resulta más familiar, cómodo e interesante buscar información en su celular que en cualquier otro medio, incluyendo los impresos como folletos, revistas o libros. Observando esta tendencia el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo consideró el desarrollo de una aplicación móvil para que sus alumnos contaran con esta herramienta para seguir los eventos de su Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería, marcar sus eventos favoritos y recibir notificaciones antes del inicio de éstos.

Con la realización de este proyecto, el ITSL refrenda su interés en la aplicación de la investigación en software y se une a un selecto grupo de instituciones tecnológicas públicas de educación superior en México que desarrollan soluciones para dispositivos móviles.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los siguientes estudiantes de ingeniería en sistemas del ITSL, por su valiosa participación en el

desarrollo de este proyecto: Blanca Estrella Sánchez, Deborah Rodríguez, Héctor Sifuentes, Luis Ángel Borrego y Víctor Bryan Chávez.

Así mismo, las autoras agradecen a la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades otorgadas para la ejecución de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] Roberto Jose Zurita del Pozo, Oscar Omar Apolinario Arzube y Jorge Arturo Chicala Arroyave y Viviana Fabiola Pinos Medrano (2016): "Los beneficios del uso de las aplicaciones móviles en las instituciones educativas públicas", Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (noviembre 2016). En línea: <http://www.eumed.net/rev/atlante/2016/11/aplicaciones.html>
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/atlante1611/aplicaciones>
- [2] Allen, Jonathan P. (2003). "The evolution of new mobile applications: a sociotechnical perspective". International journal of electronic commerce, v. 8, n. 1, pp. 23-36.
- [3]Eventive. (13 de Diciembre de 2012). Eventive: Aplicaciones para eventos líderes. Obtenido de <https://eventiveapps.wordpress.com/>
<https://eventiveapps.wordpress.com/2012/12/13/siete-ventajas-de-contar-con-apps-moviles-para-eventos/>
- [4] Rebeca. (21 de Enero de 2015). Blog Congreso Movil. Obtenido de <https://www.congresomovil.com/>
<https://www.congresomovil.com/blog/2015/01/apps-para-congresos-y-eventos-cuales-son-las-ventajas/>
- [5] Báez, M., Borrego, Á., Cordero, J., Cruz, L., González, M., Hernández, F. & Torralbo, P. (2012). Introducción a Android. EME Madrid, España, 121.
- [6] Universidad Carlos III de Madrid. (2010). Software de Comunicaciones. Obtenido de Aplicaciones en Android: <https://sites.google.com/site/swcuc3m/home/android/generalidades>
- [7] JOYANES, L. y Zahonero, I.(2014). Programación en C, C++, JAVA y UML (2a ed). México DF., Programación en C, C++, Java y UML . McGraw-Hill Interamericana.
- [8] Blanco, P., Camarero, J., Fumero, A., Werterski, A., & Rodríguez, P. (2009). Metodología de desarrollo ágil para sistemas móviles. Introducción al desarrollo con Android y el iPhone. Dr. en Ing. Sist. Telemáticos, 1-30. JAVA para Android
- [9] Cowburn, P. (03 de 10 de 2016). PHP Documentation Group. Obtenido de PHP: <http://php.net/manual/es/intro-what-is.php>
- [10] European Computer Manufacturers Association, ECMA-404. The JSON Data Interchange Format, ECMA, 2013. Obtenido de <https://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-404.htm>
- [11] Alvarez, M. A. (20 de 03 de 2017). Desarrollo Web.com. Obtenido de Manual de Trabajar con JSON desde PHP: <http://www.desarrolloweb.com/manuales/php-json.htm>
- [12] Oracle Corporation and/or its affiliates. (2017). MySQL.com. Obtenido de <https://www.mysql.com/products/workbench/>
- [13] Oracle Corporation and/or its affiliates. (2017). MySQL.com. Obtenido de <https://www.mysql.com/products/workbench/>
- [14] SQLite. (24 de Agosto de 2017). About SQLite. Obtenido de SQLite: <https://www.sqlite.org/about.html>
- [15] Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). El proceso unificado de desarrollo de software. (R. S. Corporation, Ed.) Madrid, España: Addison Wesley. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0BwWwTdm7msEKMxVSOHpOc05wNTg/view>

VII. BIOGRAFÍA



María Guadalupe Flores Luévanos. Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, es Ingeniero en Sistemas Computacionales. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México (2002). Estudió la Maestría en Administración. Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coah., México. (2004). Actualmente es Profesor Titular 'A' del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México. Imparte cátedra en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Sus áreas de interés son el desarrollo de aplicaciones móviles en el área de Sistemas Computacionales.



Moreno Núñez Elda. Nació en Gómez Palacio, Durango, México. Es Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México (1995). Obtuvo el grado de Maestría en Administración en la Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coah., México (2012). Actualmente es Profesora Asociada 'C' en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México, institución a la que pertenece desde 2005. Imparte cátedra en las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales e Ingeniería Ambiental. Colaboró durante ocho años en la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte de la Comisión Nacional del Agua. Sus áreas de interés son la educación, la ingeniería de software y los sistemas de información geográfica.



Rodríguez Lozano Karla Verónica. Nació el 01 de junio de 1981 en la ciudad de Torreón, Coahuila. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna, en el año de 2012, obtuvo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales, y obtuvo el grado de maestro en Administración en el año de 2005, siendo cursada esta, en la Universidad Autónoma de Coahuila, campus laguna, ambos en México. Experiencia docente de 10 años en la impartición de clases en las áreas de sistemas computacionales con más de 27 materias distintas. Docente con actividades en el área de investigación y desarrollo tecnológico produciendo 14 proyectos de Software y un registro de marca, integrando alumnos a los proyectos de investigación. Experiencia Profesional de más de 12 años en el soporte empresarial en el ámbito de las tecnologías de la información.

Estudio numérico de túnel de viento didáctico del TecNM/ITLaguna

M. Rivero-Corona¹, F.S. Sellschopp-Sánchez^{2,*}, E. Arroyo-Chavarría³, J. Barajas-Hernández³, E. Ramos⁴

Resumen— En este trabajo se evalúa numéricamente el comportamiento aerodinámico de distintas configuraciones de las secciones de entrada y salida de un túnel de viento didáctico que se construirá en el Instituto Tecnológico de La Laguna. El túnel de viento tendrá una geometría cilíndrica con un diámetro de la sección de prueba de 1.1 m y una longitud de 2.44 m. El análisis se realizó utilizando el modelo de turbulencia SST en el software COMSOL Multiphysics. Se realizó un análisis paramétrico en el que se consideran que el diámetro de la sección de entrada varía entre 1.3 m y 2.3 m, el diámetro de salida varía entre 1.2 m y 1.6 m, y la velocidad oscila entre 1 y 7 m/s. Estos valores se determinaron de acuerdo a las restricciones de espacio donde será instalado el túnel, así como los requerimientos de velocidad para el aerogenerador.

Palabras claves— Modelo de turbulencia SST, CFD, Túnel de viento

Abstract— In this work an aerodynamic numerical evaluation of a didactic wind tunnel with different configurations of ingress and egress sections is performed. The didactic wind tunnel will be built at the Instituto Tecnológico de La Laguna. The device includes a cylindrical geometry with a test section diameter of 1.1 m and a length of 2.44 m. The analysis is performed using the SST turbulence model in the COMSOL Multiphysics software. A parametric analysis is performed in which the diameter of the inlet section is considered to vary between 1.3 m and 2.3 m, the outlet diameter varies between 1.2 m and 1.6 m, and the wind velocity is between 1 and 7 m/s. Tunnel dimensions were determined according to the space limits where it will be installed, as well as the speed requirements for the wind turbine.

Keywords— CFD, SST turbulence model, Wind tunnel.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la dinámica de fluidos está llena de conceptos abstractos, métodos matemáticos, y resultados experimentales que dificultan su comprensión por parte de estudiantes de pre- y posgrado. Una opción viable que ha demostrado ser una gran ayuda en el entendimiento de la

mecánica de fluidos es mediante experimentos de laboratorio que inculcan en el estudiante la teoría y práctica de la experimentación. Sin embargo, la didáctica experimental en laboratorio debe asegurar que las condiciones del fluido sean lo más ideales posibles a fin de que la comprensión de los estudios aerodinámicos coincidan en la teoría y en la práctica.

Si se considera el auge de la energía eólica y la necesidad en formación de recursos humanos con una comprensión profunda de los fenómenos físicos presentes en el diseño y análisis de turbinas eólicas, se tiene la necesidad de desarrollar herramientas que les faciliten esto. En el ámbito de la energía eólica, el túnel de viento es un instrumento que se usa para estudiar el efecto del flujo de aire sobre obstáculos sólidos, como los álabes. El túnel de viento es un espacio especialmente diseñado y protegido en el cual se hace fluir aire para obtener condiciones de flujo determinadas. Estas condiciones incluyen una velocidad definida y una distribución de la velocidad predeterminada, así como también distintos parámetros de turbulencia [1]–[3]. La visualización del flujo se realiza a través de paredes transparentes ubicadas en la sección de prueba, que corresponde a la sección del túnel en donde se realizarán los experimentos. Las técnicas de caracterización del flujo dependen de las condiciones de operación del túnel y de las características del túnel mismo. Entre las técnicas que se pueden emplear se enlistan la velocimetría por imágenes de partículas (PIV por sus siglas en inglés), anemometría láser Doppler (LDA por sus siglas en inglés), anemometría de hilo caliente (CTA por sus siglas en inglés), cámaras de humos, entre otras [4].

Los túneles de viento se han utilizado de manera extensiva en aplicaciones industriales y de investigación durante las últimas seis décadas. La forma y tamaño de los túneles varía dependiendo la aplicación. El túnel de viento más grande del mundo se encuentra localizado en el Centro de Investigación Ames de la NASA (en inglés National Aeronautics and Space Administration) y tiene una sección de prueba de 24.38 m de alto por 36.57 m de ancho [5]. Sin embargo, existen túneles mucho más pequeños que se utilizan para la calibración de sensores pequeños.

En este artículo se presenta el análisis de comportamiento quasi-estático de un túnel de viento didáctico con la finalidad de obtener un diseño del túnel

¹ CONACYT – TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

² TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

³ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Av. Cuauhtémoc y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México

⁴ Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos

* sellschopp@hotmail.com

que proporcione un perfil de velocidad de viento adecuado a las necesidades. El estudio numérico presentado permitirá analizar el perfil de velocidad ante las diversas posibles configuraciones de la sección de entrada y salida del túnel y seleccionar el que mejor se adapte a las condiciones deseadas.

II. PARÁMETROS ADIMENSIONALES

En muchas ocasiones para analizar experimentalmente algún sistema es necesario realizar modelos a escala de dicho sistema. Para que los resultados obtenidos de experimentos a escala sean aplicables a los sistemas reales es necesario que los modelos a escala cumplan con ciertos criterios de similitud. Estos criterios están dados por los números o parámetros adimensionales que resultan de comparar dos o más fenómenos presentes en el problema a analizar. Para el caso del estudio de dinámica de fluidos presentado en este trabajo, existen dos parámetros principales: el número de Reynolds (Re) y el número de Mach (Ma). Aunque existe una mayor cantidad de números adimensionales, estos están fuera de los objetivos del presente trabajo.

El número de Reynolds relaciona los efectos viscosos y los efectos inerciales en el flujo de un fluido, por lo que para un flujo dado el número de Reynolds indica si el flujo es laminar o turbulento. El número de Reynolds está definido como:

$$Re = \frac{U_0 L \rho}{\mu} \quad (1)$$

Donde U_0 y L son la velocidad y longitud características del problema, y ρ y μ la densidad y viscosidad dinámica del fluido.

Por otro lado, el número de Mach está definido como la razón entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido en el fluido c ,

$$Ma = \frac{U_0}{c} \quad (2)$$

El número de Mach está relacionado con los efectos de compresibilidad del fluido, y para $Ma < 0.3$ el fluido se puede considerar como incompresible.

III. TÚNELES DE VIENTO

El túnel de viento es un instrumento creado y diseñado para producir de manera controlada una corriente de viento que puede ser mayormente uniforme de baja turbulencia con la finalidad de estudiar el efecto aerodinámico del flujo de aire sobre elementos de interés [6]. La forma de generar la corriente de viento se puede hacer mediante impulsores de aire (air-drives) como los compresores de aire presurizado, ventiladores axiales, ventiladores centrífugos o sopladores. En el caso de los compresores se consideran de mayor costo debido a que es

necesario contar con mayor equipamiento como tanques de almacenamiento presurizado así como las líneas de conducción que soporten la presión, entre otros. En los casos restantes, se trata de equipos más comunes con una diversidad que van desde ventiladores o sopladores que son movidos por poleas a través de bandas o movidos por transmisión directa a la flecha, y que pueden ser instalados para empujar o aspirar el aire que pasará a través de la cámara de pruebas del túnel de viento [7].

Debido a que existe una gran cantidad de aplicaciones en donde los estudios aerodinámicos son requeridos, los túneles de viento permiten experimentar con modelos escalados de tales aplicaciones, y por ello se tienen diferentes geometrías de túneles de viento, así como una clasificación de túneles por régimen de velocidades. Referente a las geometrías de túneles de viento, existen básicamente dos tipos: de circuito abierto y de circuito cerrado. El túnel de circuito abierto toma el aire por uno de los lados directamente del medio ambiente y se fuerza a pasar a través del túnel mediante los impulsores de aire, como se observa en la Figura 1. Este tipo de túnel presenta menor costo de fabricación y puede ocupar poco espacio, debe evitarse tener obstáculos a la entrada y salida del túnel y finalmente se presenta un mayor consumo de energía por el proceso de forzar al aire del medioambiente a pasar a través del túnel. En cambio, el túnel de circuito cerrado (ver Figura 2) presenta mayor costo de fabricación y requiere mayor espacio, y dado que el túnel se diseña para que el aire recorra un circuito cerrado, no se presentan los problemas del túnel de circuito abierto, presentando además un menor consumo de energía [7].

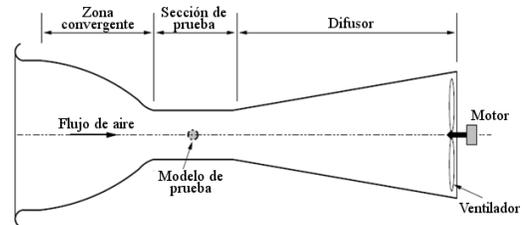


Figura 1. Túnel de viento de circuito abierto.

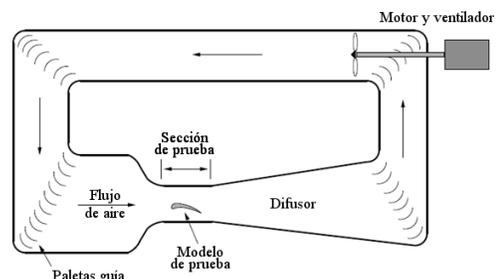


Figura 2. Túnel de viento de circuito cerrado.

Los túneles de viento se diseñan bajo especificaciones de los estudios de interés que se busca experimentar, por ello se clasifican por rango de velocidad tomada en la sección de prueba, la cual se dimensiona en valores de velocidad del sonido o del número de Mach [8]. De esta manera se presentan tres clasificaciones por rango de velocidad [7]: subsónico ($Ma < 1$), transónico ($Ma \sim 1$) y supersónico ($Ma > 1$).

Los túneles subsónicos generalmente presentan la cámara de pruebas después de la zona convergente o zona de contracción, en donde la velocidad del viento aumenta por la mayor relación de área de entrada de aire versus el área de la cámara de pruebas, obteniendo así una reducción en la presión y la densidad del aire permanece constante. Esta característica del túnel permite realizar experimentación en aerodinámica de sustentación por baja velocidad de viento, vehículos y turbinas de viento.

Los túneles transónicos y supersónicos, a diferencia de los túneles subsónicos, se presenta una modificación en la densidad de aire debido a la compresibilidad que se presenta, por lo que la densidad cambia más rápidamente que la velocidad por un factor cuadrático del número de Mach [8]. De esta forma al aumentar la presión de entrada y hacer pasar la masa de aire a través de un orificio de estrangulamiento, la velocidad del aire alcanza velocidades muy elevadas. En este tipo de túneles, la sección de prueba se tiene al final del túnel, después del difusor, por lo que se considera de gran importancia buscar una adecuada relación entre la zona de contracción y la de difusión, para evitar oscilaciones en la corriente de viento [7], [8].

Es importante mencionar que los túneles con la sección de prueba abierta tienen una clara ventaja en cuanto al acceso y caracterización del flujo, respecto a los de sección cerrada. Sin embargo, al estar expuesta la sección, ésta interactúa con el ambiente por lo que se presentan problemas severos de fluctuaciones en el flujo, por lo que requieren una análisis extensivo posterior a su fabricación. Por esta razón, los túneles más comunes son los de sección de prueba cerrada. Es importante puntualizar un aspecto en el diseño de las secciones transversales, en las cuales una sección rectangular ofrece la ventaja en cuanto a la facilidad en la instalación de los modelos a probar (ya que es sobre una superficie plana), comparados con secciones circulares, aunque éstas presentan una mejor distribución de los esfuerzos mecánicos.

Los túneles de viento también se pueden clasificar de acuerdo al tipo de estudio para el cual fueron desarrollados. Existen túneles para el estudio de problemas relacionados con la capa límite terrestre, por ejemplo en aplicaciones en las que se requiere analizar cargas de viento sobre estructuras, patrones de dispersión, erosión,

flujos en y sobre zonas urbanas y/o zonas con distinto tipo de vegetación, entre otros. Existen túneles para estudios de aerodinámica sobre distintos objetos, como personas o animales, buscando desarrollar mecanismos o sistemas que permitan el uso más eficiente de la energía (por ejemplo el análisis de corredores de carreras en bicicleta). Por otro lado se han desarrollado túneles de viento aeroacústicos para el análisis aerodinámico y acústico de distintos sistemas que generan mucho ruido, como vehículos motores o aeronaves. También se han desarrollado túneles de viento exclusivamente para estudiar problemas relacionados con automóviles, en los cuales se buscan obtener los parámetros aerodinámicos que afectan el rendimiento de los automóviles, manejabilidad, enfriamiento de los sistemas, entre otros problemas. Por otro lado, existen túneles diseñados principalmente para la visualización del flujo: túneles de humo. En estos los métodos experimentales usados incluyen análisis de imágenes y video. En cualquiera de los escenarios anteriores, los estudios incluyen flujos en estado estacionario y estudios de flujos en estado transitorio.

Como se ha visto, existe una gran cantidad de diseños de túneles de viento que fueron desarrollados para propósitos muy específicos. Por esta razón no se puede concluir que algún diseño es mejor que otro.

IV. MÉTODO NUMÉRICO

El constante incremento en la capacidad de cómputo en las últimas décadas ha contribuido de manera significativa, y en distintos aspectos, en el desarrollo y análisis de túneles de viento. En este sentido, el análisis numérico ha acortado el tiempo requerido para el diseño y análisis de experimentos, y disminuido el costo económico asociado a estos. Además, el análisis numérico permite tener acceso a una mayor cantidad de información que la disponible con diversas técnicas experimentales en las cuales muchas veces se cuenta con información incompleta en un punto, una línea o un plano dependiendo de la técnica de caracterización empleada. En este sentido es importante mencionar que la simulación numérica es complementaria a las mediciones experimentales.

La simulación numérica se llevó a cabo con el software COMSOL Multiphysics 5.2, basado en el método de elemento finito. COMSOL, a través del módulo de dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés *Computational Fluid Dynamics*) ofrece distintas formulaciones de las ecuaciones de Navier-Stokes [9] para resolver problemas con flujos turbulentos, por ejemplo: k-epsilon, k-omega y SST (por sus siglas en inglés *Shear Stress Transport*), entre otras [10]. En este trabajo se utilizó el modelo SST [11], también conocido como SST

k-omega. Este modelo se usa comúnmente en problemas que presentan gradientes de presión adversos considerables y separación de la capa límite. Estos fenómenos son de suma importancia en aplicaciones prácticas, por ejemplo en la aerodinámica de los álabes de aerogeneradores en los cuales es relevante la separación de la capa límite que se puede utilizar para controlar la operación de los aerogeneradores y en el análisis y diseño de túneles de viento en donde se deben obtener perfiles de velocidad definidos.

V. PROPUESTA PARA EL TÚNEL DE VIENTO DIDÁCTICO

El túnel de viento didáctico que se propone construir tiene como objetivo principal realizar estudios de generación utilizando una turbina eólica de baja potencia, así como promover la investigación interdisciplinaria en diversos temas del recurso eólico. Para esto el TecNM/ITL contará con un aerogenerador marca iSTA Breeze i-200 [12] con una potencia nominal de 100 Watts y una tensión de salida de 12 volts. La turbina tiene 5 aspas y el diámetro del rotor es de 0.8 m. Las características de operación de dicho aerogenerador son: velocidad de inicio de carga de 1.5 m/s, una velocidad máxima de 35 m/s y una velocidad nominal de 20 m/s.

El túnel analizado será subsónico de circuito abierto y con la sección de prueba abierta localizada en la parte posterior del túnel, ya que el aerogenerador estará ubicado en la parte posterior de túnel. El túnel inicialmente será accionado por un ventilador que empuje que ofrece una velocidad máxima del viento de 7 m/s, aunque en etapas futuras del proyecto se buscará incrementar este límite.

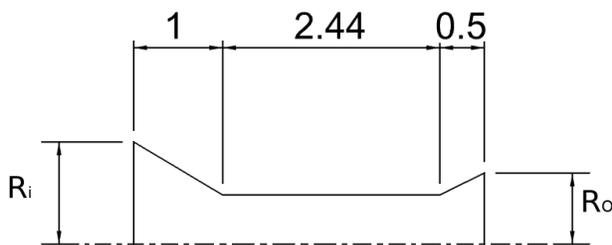


Figura 3. Geometría del túnel de viento para simulación en COMSOL. Unidades en metros. Radio de la sección de prueba 0.553 m.

En este trabajo se analiza un túnel con tres secciones: sección convergente, sección de prueba y el difusor, como se muestra en la Figura 3.

Para la construcción del túnel se cuenta con un tubo circular de 1.106 m de diámetro y 2.44 m de longitud. Este tubo constituye la sección central del túnel mostrado en la Figura 3. Debido a las limitaciones de espacio disponible para instalar el túnel de viento, la longitud total del túnel debe ser inferior a 4 m. Tomando en cuenta esta

restricción y la longitud del tubo disponible, en este trabajo se consideraron las longitudes de las secciones convergente y el difusor con una longitud constante de 1 m y 0.5 m, respectivamente. Por lo tanto el túnel analizado tiene una longitud total de 3.94 m.

VI. CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio para evaluar los perfiles de viento en el túnel consideran que la sección de la zona convergente tiene una longitud constante de 1.0 m, y el análisis de esta sección se enfoca en tres diferentes diámetros de entrada: 1.3 m, 1.8 m y 2.3 m. Así mismo, en la zona de salida del difusor se considera una longitud constante de 0.5 m y se analizan tres diámetros de salida: 1.2 m, 1.4 m y 1.6 m. Finalmente, de acuerdo a la capacidad del ventilador, se estudian 4 velocidades de corriente libre del viento: 1, 3, 5 y 7 m/s. La velocidad de corriente libre se refiere a la velocidad del fluido a una distancia tal que los efectos del túnel, y en general de cualquier sólido, sobre el fluido sean despreciables. En este caso la velocidad de corriente libre tiene una componente y es en la dirección axial.

En este trabajo se realizó un estudio paramétrico considerando los tres diámetros de la zona convergente, los tres diámetros del difusor y cuatro velocidades de viento, dando como resultado un total de 36 simulaciones.

A partir de los resultados obtenidos se analizarán los diversos perfiles de velocidad y presión de viento en las diferentes regiones dentro, así como fuera del túnel.

VII. RESULTADOS

Dada la geometría seleccionada para el túnel, el análisis numérico se hizo considerando un flujo axisimétrico. Esto simplifica considerablemente el costo computacional, ya que se pasa de un problema tridimensional a un problema bidimensional. Es decir, únicamente se analiza el plano $r - z$. Los resultados obtenidos permiten analizar distintas regiones del flujo, tanto dentro como fuera del túnel. Este trabajo se enfoca en dos variables: la velocidad (ambas componentes) y la presión.

En la Figura 4 se presenta la gráfica de contornos de la magnitud de las componentes radial (izquierda) y axial (derecha) para el túnel de viento con radio de entrada $R_i = 1.15 \text{ m}$, radio de salida $R_o = 0.80 \text{ m}$ y una velocidad de viento de 7 m/s. Es importante notar que para $r = 0 \text{ m}$ corresponde al eje del túnel. Se puede observar de la componente radial que en la sección de medio el flujo es básicamente axial, ya que la componente radial es aproximadamente cero. Esto se puede verificar en la gráfica de la componente axial, en donde se observa que la velocidad se mantiene constante en esta sección. En las regiones de entrada y salida del túnel se presentan flujos

bidimensionales, ya que ambas componentes son distintas de cero.

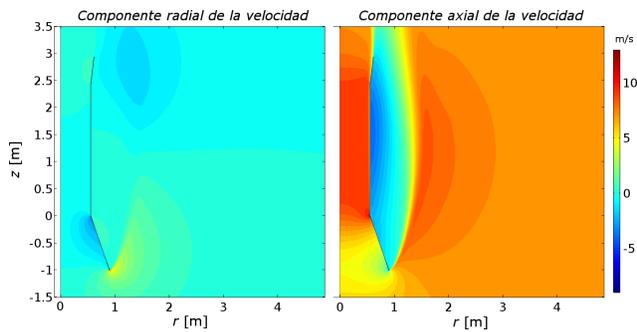


Figura 4. Componentes radial y axial de la velocidad para $U_0 = 7 \text{ m/s}$, $R_i = 1.15 \text{ m}$ y $R_o = 0.80 \text{ m}$.

Además en la parte externa del túnel se presenta una zona de recirculación (se tienen velocidades negativas) que se extiende por su longitud. Esto se puede observar en la Figura 5, en donde se presentan las líneas de corriente y en color la presión. Las líneas de corriente corresponden a líneas que siguen la dirección del flujo en cada punto. De las Figuras 4 y 5, se puede observar claramente que dentro del túnel una caída en la presión implica un incremento en la energía cinética del fluido. Para el flujo externo (fuera del túnel), el mínimo de la presión se presenta en el centro de la recirculación. Otro aspecto importante es que los gradientes de presión máximos se presentan en los vértices internos del túnel, por lo que sería deseable que la geometría tuviera un perfil suave, ya que los gradientes de presión están relacionados con el desprendimiento de la capa límite. Sin embargo, cumplir con este requisito implica un incremento en el costo de fabricación del túnel.

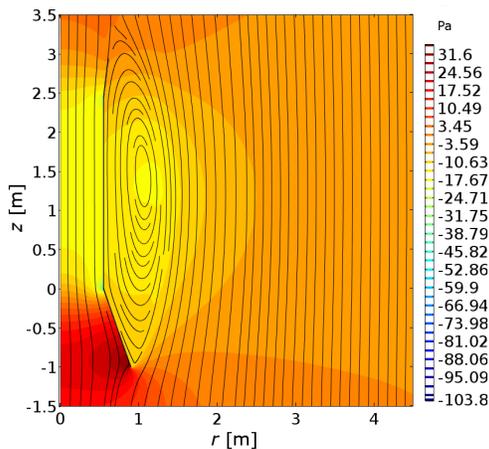


Figura 5. Distribución de la presión en la zona del túnel de viento y líneas de corriente para el flujo a $U_0 = 7 \text{ m/s}$, $R_i = 1.15 \text{ m}$ y $R_o = 0.80 \text{ m}$.

Con la finalidad de analizar los resultados de todas las simulaciones y comparar los comportamientos de velocidad y presión a lo largo del interior del túnel, se elaboraron gráficas de las variables en el eje del túnel para visualizar las diferencias existentes. En las Figuras 6 y 7 se muestra la velocidad y presión normalizadas, respectivamente, en el eje del túnel de viento para distintas configuraciones de la sección de entrada y salida del túnel. La gráfica de velocidad se normalizó con respecto a la velocidad de corriente libre, mientras la gráfica de presión se tomó como referencia la presión máxima que se localiza antes de la entrada al túnel.

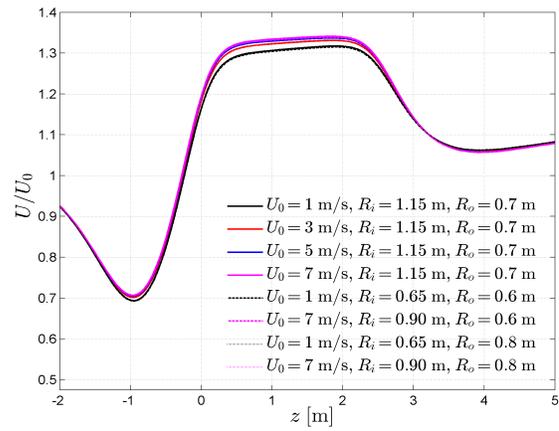


Figura 6. Velocidad normalizada con la velocidad de corriente libre en el eje del túnel como función de z para distintas configuraciones.

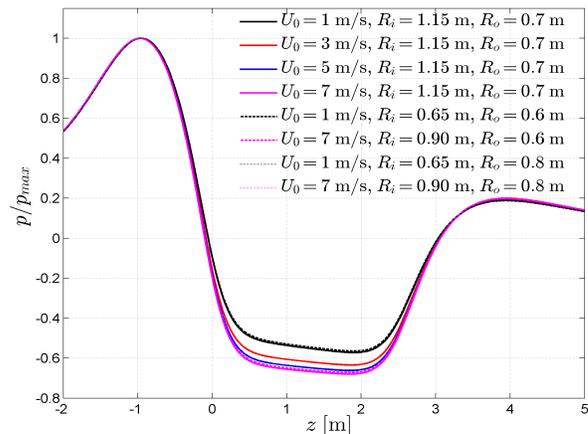


Figura 7. Presión normalizada en el eje del túnel como función de z para distintas configuraciones.

En la Figuras 6 y 7 se puede observar que las distintas dimensiones consideradas para la sección de entrada y salida no tienen un impacto considerable en los perfiles de la velocidad axial y presión en el eje del túnel. Además se puede ver que existe una relación inversa entre la presión y la velocidad que puede ser explicada por la ecuación de

Bernoulli [9], que indica que un incremento en la presión implica una caída en la velocidad, para una línea de corriente localizada en el eje del túnel. En la Figura 6 se puede observar que a velocidades de corriente libre mayores, se tienen un ligero incremento respecto a velocidades menores, o una menor caída en la presión (ver Figura 7).

En la Figura 6 se muestra que la máxima velocidad es entre un 32 y 34% superior a la velocidad de corriente libre, y el máximo se presenta justo al final de la zona de prueba, en donde la sección transversal se ensancha. Este mismo punto corresponde al mínimo de la presión.

La ecuación que describe esta relación es lineal y está dada por $U_{max} = 1.343U_0 - 0.0296$ con $R^2 = 99.99$.

VIII. CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento del flujo de aire dentro de un túnel de viento considerando diferentes diámetros de entrada en la zona convergente y del difusor. Los resultados muestran que no existe una diferencia significativa en los perfiles de la velocidad axial y la presión en las distintas configuraciones, aunque a velocidades de corriente libre mayores se observa un ligero incremento en la velocidad (caída en la presión) respecto a velocidades de corriente libre menores. Se obtuvo que el incremento de velocidad fue de aproximadamente 34% en la sección de prueba y se determinó la expresión que relaciona la velocidad máxima y la velocidad de corriente libre que es válida únicamente dentro del rango de diámetros analizados. Además se observó que en los vértices se presentan los mayores gradientes de presión y estos se incrementan cuanto mayor es el ángulo por lo que es deseable tener una transición más suave entre las distintas secciones del túnel. Por tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos la mejor opción es el menor diámetro de abertura en la zona convergente y eliminar la zona del difusor.

IX. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM por los recursos para el desarrollo de este proyecto. M. Rivero agradece a Cátedras CONACYT.

X. REFERENCIAS

- [1] S. Okamoto, *Wind Tunnels*. InTech, 2011.
- [2] J. B. Barlow, W. H. Rae, and A. Pope, *Low-Speed Wind Tunnel Testing*. 1999.
- [3] J. C. Lerner and U. Boldes, *Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamics Research*. 2011.
- [4] C. Tropea, A. Yarin, and J. F. Foss, Eds., *Springer handbook of experimental fluid mechanics*, no. 1. Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [5] WIRED, "Climbing inside the world's largest wind tunnel." [Online]. Available: www.wired.com/2017/02/climb-inside-worlds-largest-wind-tunnel. [Accessed: 01-May-2017].

- [6] N. A. Ahmed, Ed., *Wind Tunnel Designs and their Diverse Engineering Application*. InTech, 2013.
- [7] L. Cattafesta, C. Bahr, and J. Mathew, "Fundamentals of Wind-Tunnel Design," *Enycl. Aerosp. Eng.*, no. December, 2010.
- [8] NASA, "Wind tunnel design." [Online]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/tunnoz.html>. [Accessed: 01-May-2017].
- [9] D. J. Acheson, *Elementary Fluid Dynamics*. Oxford University Press, 1990.
- [10] J. Bredberg, "On Two-equation Eddy-Viscosity Models," Goteborg, Sweden., 2001.
- [11] F. R. Menter, "2-Equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *Aiaa J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598-1605, 1994.
- [12] "iSTA Breeze," 2017. [Online]. Available: www.istabreeze.com/online. [Accessed: 01-May-2017].

XI. BIOGRAFÍA



Erika Janeth Arroyo Chavarria. Egresada de la carrera de Ingeniería Eléctrica, reconocida por mejor promedio de generación 2005 en el TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. A partir de ese momento y hasta el año 2011 colaboró en el departamento de proyectos en empresa líder en el ramo de instalaciones eléctricas en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Ella actualmente forma parte de la planta académica de la carrera Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son generación de energía eólica.



Eduardo Ramos. Doctor en Física por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador Titular C del Instituto de Energías Renovables - UNAM ubicado en Temixco, Morelos, México. Las líneas de investigación del Dr. Ramos incluyen el análisis del fenómeno de convección natural con y sin rotación, flujos en gotas y burbujas, flujos magnetohidrodinámicos, así como fenómenos de transferencia de calor en estos y otros sistemas.



Michel Rivero Corona. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



José Arturo Barajas Hernández. Egresado de la carrera Ingeniería Industrial Electricista del Instituto Tecnológico de la Laguna en Octubre de 1983 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de M. C. en Ingeniería Eléctrica en julio del 2003 en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Actualmente forma parte de la planta académica de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de investigación están en el control de velocidad de máquinas eléctricas.

Análisis de la Radiación Solar en Tres Ciudades de Coahuila y Durango

S. Orozco^{1,*}, M. Rivero²

Resumen— La energía proveniente del Sol es la principal fuente de energía en procesos físicos, biológicos y químicos, que son vitales para la vida del Planeta. Además es una fuente inagotable de energía que puede ser transformada en energía térmica (calor) y eléctrica (celdas fotovoltaicas y concentración solar). Dada su importancia es necesario medir y/o estimar la cantidad de energía solar que llega a cada punto de la superficie terrestre. En este trabajo se utiliza un método para la determinación de la radiación solar directa en las ciudades de Torreón, Saltillo y Durango, a partir de información disponible de radiación solar global en las Estaciones Sinópticas Meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional. De acuerdo con los resultados obtenidos, Saltillo tiene el mayor número de horas al día con nublados, mientras que Durango y Torreón presentan el mayor número de horas al día con asoleamiento. Una dependencia de la radiación solar directa con el índice de claridad fue desarrollada, donde la curva muestra un comportamiento similar para Durango, Saltillo y Torreón.

Palabras claves—Índice de Claridad, Radiación solar difusa, Radiación Solar directa.

Abstract—Energy from the Sun is the main source of energy in physical, biological and chemical processes that are vital to the life of the Planet. It is also an inexhaustible source of energy that can be transformed into thermal (heat) and electrical energy (photovoltaic cells and solar concentration). Given its importance, it is necessary to measure and / or estimate the amount of solar energy that reaches each point of the earth's surface. This work uses a method to determine the direct solar radiation in the cities of Torreón, Saltillo and Durango, from available information of global solar radiation in Synoptic Meteorological Stations of the National Weather Service. According to the results obtained, Saltillo has the highest number of hours per day with overcast condition, while Durango and Torreón present the highest number of hours per day with sunny condition. A dependence of the direct solar radiation with the clarity index was developed, where the curve shows a similar behavior for Durango, Saltillo and Torreón.

Keywords— Clearness Index, Diffuse Solar radiation, Direct solar radiation.

XII. INTRODUCCIÓN

El Sol es la principal fuente de energía para todas las formas de vida que se conocen en la Tierra. Además, la energía del Sol es crucial en procesos biológicos, climáticos, ambientales e hidrológicos, y en la industria solar [1] [2]. En los últimos años, la industria solar ha experimentado un alto crecimiento, debido a incremento en costos de los combustibles fósiles, disminución de las reservas fósiles totales, problemas de contaminación y a las estrategias y programas que México ha impulsado, relacionadas a la transición de un camino sustentable, diversificación de la matriz energética y seguridad energética del país [2], [3].

Las tecnologías solares, tanto fotovoltaicas como térmicas, crecen a tasas aceleradas en el mundo. Sin embargo, el éxito del diseño y la utilización eficaz de las tecnologías solares para aplicaciones tales como: suministro de energía y agua para usos industriales, agrícolas y domésticos, dependen en gran medida de la disponibilidad de información sobre la radiación solar característica de la ubicación [4]. Por ello, es de vital importancia medir y/o estimar la cantidad de energía solar que llega a cada punto de la superficie terrestre.

México, por su ubicación geográfica (Hemisferio Norte, entre latitudes de 14°32'0'' y 32°43'0'', incluyendo la línea del Trópico de Cáncer y con una superficie de aproximadamente 2 millones de km²), recibe altos índices de irradiancia solar, un promedio superior a 4.6 kWh m⁻² día⁻¹ [3], comparable con regiones desérticas como el desierto de Atacama en Chile o el desierto de Sahara en África. México tiene alrededor cuenta con distintas redes de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio nacional [5]. Una de estas redes está conformada por las Estaciones Sinópticas Meteorológicas (ESIME) que consta de 136 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio nacional, que registran radiación solar global, temperatura del ambiente, velocidad y dirección del viento, entre otras variable en intervalos de 10 minutos. Los sensores de radiómetros instalados son principalmente piranómetros Kipp & Zonen CMP11 [3]. Sin embargo, en las estaciones meteorológicas no se miden las componentes directa y difusa de la radiación. Además, los

¹ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Laguna. Paseo del Tecnológico 751. Colonia Ampliación La Rosita. Torreón, Coahuila, México. C. P. 27250.

² CONACYT – TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Cuauhtémoc y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México.

* sorozcoceros@gmail.com

datos de radiación solar global están disponibles sólo en unas pocas estaciones y por períodos cortos de tiempo o la calidad de los datos es muy mala por lo que la información no es útil en muchas aplicaciones [2], [6].

En diversas aplicaciones, como sistemas fotovoltaicos o concentración solar, es necesario conocer la radiación solar directa. En estos casos, con la información de las ESIME, es necesario emplear y desarrollar nuevos métodos para estimar la radiación solar directa a partir de la radiación solar global.

En el presente trabajo se emplea un método para la determinación de la radiación solar directa en las ciudades de Torreón, Saltillo y Durango, a partir de información disponible de radiación solar global de las ESIME del Servicio Meteorológico Nacional.

XIII. ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y DIFUSA

La radiación solar, sobre una superficie horizontal, en sus componentes directa y difusa es de interés por dos razones principales. La primera es que los métodos para el cálculo de radiación total sobre superficies con diferente orientación a partir de datos sobre una superficie horizontal requiere tratamiento separado de la radiación directa y difusa, y la segunda es que la evaluación del funcionamiento de sistemas de sistemas fotovoltaicos o de concentración solar se basa en la estimación de la radiación solar directa [7], [8].

La radiación solar global, I , es la suma de la radiación solar directa y difusa sobre una superficie. La radiación solar directa, I_b , es la radiación recibida del Sol sin que haya sido dispersada por la atmósfera. Por el contrario la radiación solar difusa, I_d , es la radiación recibida del Sol después de que su dirección ha cambiado por la dispersión de la atmósfera, incluyendo múltiples reflexiones con distintos sistemas como las nubes.

La radiación solar total está dada [7], [8]:

$$I = I_b + I_d \tag{1}$$

A. Modelación de la radiación solar

Para estimar las componentes directa (I_b) y difusa (I_d) de la radiación solar se emplean diversas relaciones empíricas, derivadas del análisis estadístico de series temporales de radiación solar global y directa [6], [7]. Los modelos empíricos están basados en correlaciones entre índice de claridad mensual ($\overline{K_T}$), diario (K_T) y horario (k_T) y de la fracción de radiación solar difusa, I_d/I , (radiación solar difusa entre la radiación solar global) [6].

El índice de claridad horario es el flujo total de energía recibido del Sol en una superficie, I , sobre el flujo de energía recibido fuera de la atmósfera, I_o . En otras palabras, el índice claridad es la razón de la radiación en la superficie respecto del máximo teórico para dicha

localidad. El índice de claridad horario, k_T , está dado por [6], [9]-[11]:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \tag{2}$$

La radiación solar extraterrestre (fuera de la atmósfera) sobre una superficie horizontal, para un intervalo de tiempo [7] se calcula a partir de:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} e(t) \left[\cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin\phi \sin\delta \right] \tag{3}$$

donde G_{sc} es la constante solar ($1,367 \text{ W m}^{-2}$), ϕ es la latitud de lugar, δ es la posición angular del Sol al medio día solar y ω_1 y ω_2 es el ángulo horario para un t_1 y t_2 , respectivamente. En el Apéndice I se presenta la definición de estos parámetros y la expresión que permite determinarlos. $e(t)$ es el factor de corrección de excentricidad que considera la variación de la distancia entre la Tierra y el Sol a lo largo del año, y es calculado de acuerdo con (4):

$$e(t) = 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \tag{4}$$

donde n es el día juliano. El día juliano es el número de día del año comenzando desde el primero de Enero y terminando el 31 de Diciembre, por lo que su valor oscila entre 1 y 365, o 366 para años bisiestos.

Para estimar las componentes directa y difusa de la radiación solar horaria se utilizó la aproximación de Erbs y col., que relaciona la fracción de radiación solar difusa horaria sobre un plano horizontal con el índice de claridad horario [7]. Las expresiones se enlistan en la Tabla I.

La radiación solar difusa horaria se determina a partir de información medida de radiación solar global (ver (2) y Tabla I) y posteriormente la radiación solar directa horaria se obtiene de (1).

TABLA I

EXPRESIONES DE ERBS Y COL. [7] PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DIFUSA.

$I_d/I = 1.0 - 0.09k_T$	$k_T \leq 0.22$
$I_d/I = 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4$	$0.22 < k_T \leq 0.8$
$I_d/I = 0.165$	$k_T > 0.8$

B. Metodología

El Servicio Meteorológico Nacional, SMN, está conformado por varias redes de estaciones meteorológicas. Las dos principales redes son las Estaciones de Monitoreo Automático (EMA) y Estaciones Meteorológicas Sinópticas (ESIME). Los datos de mediciones de radiación solar global, para 3 ciudades del estado de Coahuila, se obtuvieron de las redes ESIME. Los datos fueron

proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional a través de la Comisión Nacional del Agua [5].

Los datos de radiación solar global comprenden información de las estaciones meteorológicas de Durango, Saltillo y Torreón, con mediciones en intervalos de 10 minutos, para un año completo (Agosto del 2013 a Agosto del 2014). En la Tabla II se presenta la ubicación geográfica de las ESIME consideradas en este trabajo.

TABLA II

ESIME DEL ESTADO DE COAHUILA [5].

Ubicación	ϕ , °N	l_{loc} , °W	Altitud, msnm
Torreón, Coahuila	25.5333	103.4500	1,123
Saltillo, Coahuila	25.3763	101.0166	1,789
Durango, Durango	24.0947	104.5997	1,871

Los datos de las mediciones de radiación solar global fueron sometidos a diversos controles de calidad para identificar errores, inconsistencias y datos faltantes. Entre los criterios utilizados se encuentra comparar las mediciones contra valores plausibles (la radiación solar no puede exceder el valor de la constante solar o tener valores negativos) y valores dinámicos (la radiación se comparó contra la radiación solar global en ausencia de atmósfera, I_o). Además se hizo una inspección visual para identificar comportamientos anómalos, como mediciones por largos periodos con un valor constante, desfase temporal en las mediciones.

Para obtener la radiación solar global horaria se promedió la radiación medida cada 10 minutos de acuerdo a (5), en donde I_i corresponde a la radiación solar global medida cada 10 minutos.

$$I = \frac{\sum_i^n I_i}{n} \quad (5)$$

XIV. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del modelo empleado para determinar la radiación solar difusa y directa a partir de mediciones de la radiación global.

A. Índice de claridad, k_T

La distribución de la variabilidad del índice de claridad horario, definido en (2), en función del tiempo se determinó con la información de radiación solar global disponible para las ciudades de Torreón, Durango y Saltillo.

En la Figura 1 se presenta la variación del índice de claridad, k_T , en función del tiempo para Durango. Como se puede observar, en verano existe mayor dispersión de la radiación solar por los componentes (CO_2 , O_3 Troposférico, vapor de agua, aerosoles, contaminantes volátiles) presentes en la atmósfera obteniéndose índices de claridad inferiores a 0.5.

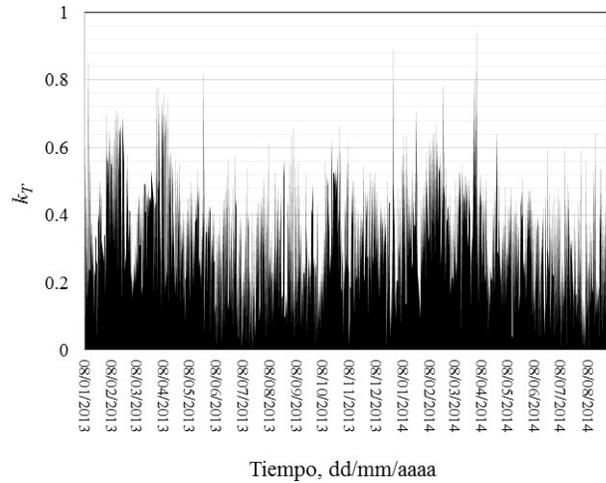


Figura 1. Variación de k_T en función del tiempo, para Durango (Enero 2013-Agosto del 2014).

De acuerdo con Yousif y col. [12], un día puede ser clasificado como nublado, parcialmente nublado, soleado o muy soleado en función del valor de índice de claridad. La clasificación se presenta en la Tabla III.

TABLA III

PARÁMETRO k_T [12].

k_T	Tipo
0-0.2	Nublado (N)
0.2-0.6	Parcialmente nublado (PN)
0.6-0.75	Soleado (S)
0.75-1.0	Muy soleado (MS)

En la Figura 2 se compara la distribución del índice de claridad para las ciudades de Durango, Saltillo y Torreón. Como se puede observar en esta Figura, Saltillo tiene 16% y 40% del horas de nublado y parcialmente nublado, respectivamente. Durango y Torreón presentan más del 50% de las horas con condiciones de soleado y muy soleado. Esta información es útil para poder si algún lugar cuenta con el potencial para el desarrollo de proyectos de tecnología solar.

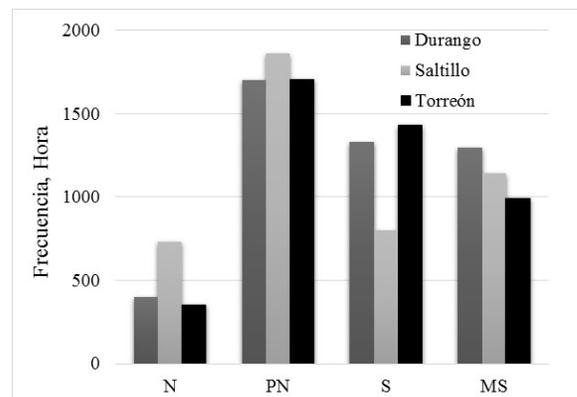


Figura 2. Distribución del índice de claridad, k_T , para las ciudades de Durango, Saltillo y Torreón (08/01/2013 al 07/01/2014).

B. Determinación de la radiación solar directa, I_b

La determinación de la componente directa de la radiación solar se realiza a partir de (1), para lo cual se emplean las expresiones propuestas por Erbs (Tabla I) para obtener la radiación difusa.

En la Figura 3 se presenta la distribución de la radiación solar directa, difusa y global para cuatro días en Torreón. En la Figura se puede visualizar las horas en las cuales la cubierta de nubes y la composición de la atmósfera atenúa la radiación directa, hasta valores mínimos. Por el contrario, para días soleados (25 de abril) la radiación directa es considerablemente mayor a la difusa para horas cercanas al medio día solar. El medio día solar se define como la hora del día en la que el Sol se encuentra en su punto más alto. El medio día solar depende de la longitud del lugar y el día juliano, y en general es diferente del medio día en el horario estándar (el que vemos todos nosotros en nuestros relojes).

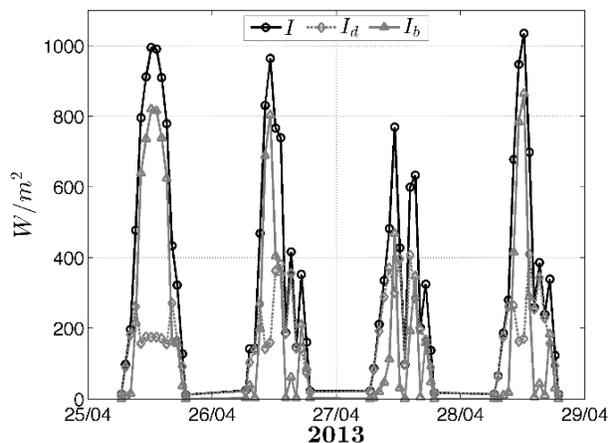


Figura 3. Variación de la radiación solar global, directa y difusa para las ciudades de Durango, Saltillo y Torreón, durante la estación de primavera del año del 2013.

En la Figura 3 se puede observar que cambios drásticos de la radiación directa conducen a una alta fracción de radiación difusa, lo cual se puede atribuir a la presencia de una cubierta delgada de nubes.

La correlación empleada (Tabla I) para determinar las componentes difusa y directa representa un comportamiento adecuado de la fracción de radiación difusa sobre una gran cantidad de horas. Por ello se considera un método aceptable en el diseño de proyectos relacionados con energía solar.

En la Figura 4 se muestra la dependencia de la radiación directa en función de índice de claridad, para las ciudades de Durango, Saltillo y Torreón. Para las ciudades de Durango y Saltillo se realizó el desplazamiento vertical con respecto I_b para su mejor visualización, ya que las tres curvas quedan sobrepuestas. La curva de los resultados

muestra un comportamiento similar para Durango, Saltillo y Torreón.

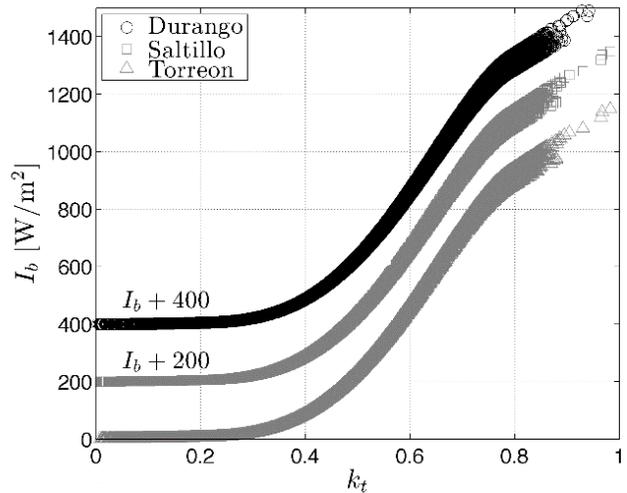


Figura 4. Dependencia de la radiación solar directa (I_b) con el índice de claridad (k_t), para las ciudades de Durango, Saltillo y Torreón.

XV. CONCLUSIONES

En diversas aplicaciones es necesario conocer la radiación solar directa y difusa, pero la información disponible únicamente incluye la radiación global. En tales casos es necesario calcular ambas componentes a partir de radiación solar global. En este trabajo se presentó la metodología para para obtener la radiación solar directa y difusa a partir de la radiación solar global. Para esto se utilizaron las expresiones propuestas por Erbs y col. Esta metodología se aplicó a las ciudades de Torreón, Saltillo y Durango. Los resultados muestran que la radiación solar directa presenta la misma relación con el índice de claridad para las tres ciudades consideradas. También se mostró que Saltillo tiene el mayor número de horas (56%) al día con nublados y parcialmente nublados, mientras que Durango y Torreón presentan el mayor número de horas al día con asoleamiento (~55%).

XVI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por proporcionar la información de las ESIME. M. Rivero agradece a Cátedras CONACYT.

XVII. APÉNDICE A: NOMENCLATURA Y DEFINICIONES.

En este apartado se definen los términos comúnmente utilizados en el estudio de la geometría solar. En [7], [8], [10] se puede encontrar una descripción más detallada.

ϕ , Latitud Ubicación angular norte o sur del Ecuador. Norte positivo.

$$-90 \leq \phi \leq 90 \quad (A.1)$$

δ , Declinación Posición angular de Sol al medio día solar con respecto al plano del Ecuador.

$$\delta = 23.45 \text{sen} \frac{360(284+n)}{365} \quad (A.2)$$

ω , Ángulo horario El desplazamiento angular del Sol este-oeste del meridiano local, debido a la rotación de la Tierra sobre su eje a 15° por cada hora, por la mañana negativos y por la tarde positivos.

$$\omega = 15(12 - (24 - T_s)) \quad (A.3)$$

θ_z , Ángulo cenit El ángulo entre la vertical y la línea al Sol, que es, el ángulo de incidencia de la radiación directa sobre una superficie horizontal.

$$\cos\theta_z = \text{sen}\phi \text{sen}\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (A.4)$$

T_s , Tiempo solar Tiempo basado en el movimiento aparente del Sol a través del cielo. A medio día del tiempo solar, el Sol cruza el meridiano del observador.

$$T_s = T_{loc} + 4(l_{st} - l_{loc}) + E \quad (A.5)$$

l_{st} , Meridiano estándar Longitud del meridiano para la zona del tiempo local.

$$l_{st} = 15 \cdot UTC \quad (A.6)$$

donde UTC es el tiempo universal coordinado, (por sus siglas en inglés *Coordinated Universal Time*).

E , Ecuación Toma en cuenta las perturbaciones de la velocidad de rotación de la Tierra, la cual afecta el tiempo en que el Sol atraviesa el meridiano del observador.

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos(B) - 0.032077\text{sen}(B) - 0.014615 \cos(2B) - 0.04089\text{sen}(B)) \quad (A.7)$$

donde:

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (A.8)$$

XVIII. REFERENCIAS

[1] Meek D. W. (1997) "Estimation of maximum possible daily global solar radiation," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 87, pp. 223–241.
 [2] Mundo-Hernández J., De Celis Alonso B., Hernández-Álvarez J., y De Celis-Carrillo B. (2014) "An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 639–649.
 [3] Riveros-Rosas D., Arancibia-Bulnes C. A., Bonifaz R., Medina M. A., Peón R. y Valdes M. (2015) "Analysis of a solarimetric database for Mexico and comparison with the CSR model," *Renew.*

Energy, vol. 75, pp. 21–29.

[4] Tchinda. (2013) "Estimation of Diffuse Solar Radiation in the North and Far North of Cameroon," *Eur. Sci. Journals*, vol. 9, pp. 370–381.
 [5] CONAGUA, "Servicio Meteorológico Nacional."
 [6] Soares J., Oliveira A. P., Božnar M. Z., Mlakar P., Escobedo J. F. y. Machado A. J. (2004) "Modeling hourly diffuse solar-radiation in the city of São Paulo using a neural-network technique," *Appl. Energy*, vol. 79, no. 2, pp. 201–214.
 [7] Duffie and W. Beckman J. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes, 3th ed.*, vol. 116.
 [8] Almorox J. y Hontoria C. (2004) "Fortran Programs for Computing the Clear Sky Solar Direct and Diffuse Spectral Irradiance," 1988.
 [9] Yorukoglu M. y Celik A. N. (2006) "A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 15–16, pp. 2441–2450.
 [10] Almorox J. y Hontoria C. (2004) "Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 9–10, pp. 1529–1535.
 [11] El-Sebaai A. A. y Trabea A. A. (2005) "Estimation of Global Solar Radiation on Horizontal Surfaces Over Egypt," *Egypt. J. Solids*, vol. 11, no. 281, pp. 73–82.
 [12] Yousif J. B. S. C. y Quecedo G. O. (2013) "Comparison of solar radiation in Marsaxlokk, Malta and Valladolid, Spain," *Renew. Energy*, vol. 49.

XIX. BIOGRAFÍA



Bioenergía.

Sayra Orozco. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor de Cátedra del ITESM Campus Laguna. Las líneas de interés de la Dra. Orozco son los modelos para la estimación de la radiación solar, Tratamiento de aguas residuales, Procesos Avanzados de Oxidación, Remediación ambiental y



Procesamiento

Electromagnético de Materiales. Michel Rivero. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero es la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos,

Análisis mediante dinámica de fluidos computacional de un álabo con perfil NACA 2411

F. Marín¹, M. Rivero^{2,*}, S. Sellschopp³, F. Alba⁴, E. Ramos⁵

Resumen—En este trabajo se presenta el análisis numérico bidimensional de un álabo con perfil NACA 2411 para determinar los coeficientes de arrastre, sustentación y presión. El perfil NACA 2411 tiene una longitud de la cuerda de 1 m. El análisis se realiza utilizando modelo de turbulencia SST en el software COMSOL Multiphysics para un flujo en estado estacionario. Se realiza un análisis paramétrico en el que se evalúan ángulos de ataque entre -5° y 8° , y números de Reynolds entre 100,000 y 800,000, que para las condiciones de flujo consideradas sean equivalentes a velocidades de corriente libre entre 1.5 y 12 m/s. Para los distintos números de Reynolds presentados, el perfil opera por debajo del ángulo de ataque crítico correspondiente, en el cual se presenta la condición de *atascamineto*.

Palabras claves— Dinámica de fluidos computacional, perfiles NACA, Modelo SST

Abstract—This work presents the 2D numeric analysis of a NACA 2411 airfoil in order to determine the drag, lift and pressure coefficients. The considered airfoil has chord length of 1 m. The analysis is performed using the SST turbulence model in COMSOL Multiphysics software for a steady state flow. A parametric study is performed for angles of attack ranging from -5° to 8° , and Reynolds numbers between 100,000 and 800,000 that under considered flow conditions correspond to free stream velocities from 1.5 to 12 m/s. For all Reynolds numbers, the airfoil operates below its corresponding critical angle of attack, in which the stall condition appears.

Keywords— CFD, NACA airfoils, SST model

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe un incremento considerable en el uso de energías renovables. Tan solo en México la capacidad instalada de energía eólica supera los 3,000 MW hasta el 2016 [1]. La conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica se lleva a cabo en aerogeneradores, en donde el viento impulsa álabes que

hacen girar un rotor al cual está acoplado un generador eléctrico. En la literatura se han reportado distintos tipos de aerogeneradores [2], [3]. La clasificación más común es respecto a la forma en la que se aprovecha el viento. En este caso las turbinas se dividen en turbinas de tipo arrastre y turbinas de tipo sustentación.

En dinámica de fluidos, cuando existe un movimiento relativo entre un objeto sólido y un fluido (que puede ser líquido o gas) se presentan distintas fuerzas, cuya naturaleza y efecto son complejos. Sin embargo, para propósitos de diseño un cuerpo experimenta dos fuerzas principales: la fuerza de arrastre y la de sustentación. Es importante hacer notar que un sólido se puede mover en un fluido, como un avión o un automóvil en movimiento, o bien el objeto puede estar fijo y el fluido moverse, como los pilares de puentes inmersos en un río.

A. Arrastre y sustentación

El flujo de un fluido sobre cualquier objeto sólido ejerce fuerzas debidas a la presión y fuerzas debidas a la viscosidad del fluido. Las componentes de la fuerza resultante que actúa sobre el objeto son la fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación, como se muestra en la Figura 1.

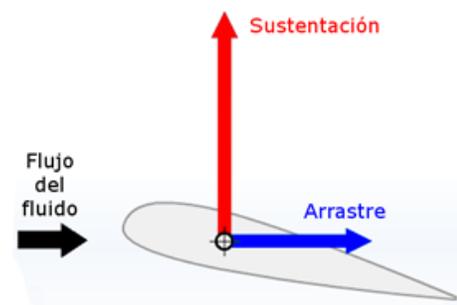


Figura 1. Diagrama de las fuerzas de arrastre y sustentación sobre un álabo.

La fuerza de arrastre, o simplemente arrastre, es la fuerza total sobre un cuerpo ocasionada por el fluido y es en dirección del movimiento relativo entre el fluido y el objeto, como se observa en la Figura 1. La fuerza de arrastre tiene dos contribuciones: una es debida a la fuerza de fricción en la superficie del perfil producto de la viscosidad del fluidos, y la segunda por la distribución asimétrica de la presión en la superficie del objeto, o bien

¹ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Av. Cuauhtémoc y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México

² CONACYT – TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

³ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

⁴ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Departamento de Ingeniería Eléctrica

⁵ Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos

* mariveroco@conacyt.mx

para el caso de un perfil aerodinámico, en las caras superior e inferior de un perfil.

La fuerza de arrastre se expresa como:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A \rho U_0^2, \quad (1)$$

donde C_D es el coeficiente de arrastre, ρ es la densidad del fluido, U_0 la velocidad de corriente libre del fluido y A el área de referencia del objeto. De esta ecuación se puede observar que la fuerza de arrastre depende linealmente de las cuatro variables antes mencionadas, es decir, si alguna se incrementa el arrastre será mayor. De los parámetros mencionados, el coeficiente de arrastre es el parámetro más difícil de determinar ya que éste depende entre otros factores de la forma del cuerpo, de la velocidad y propiedades del fluido, y el tipo de flujo que se presente.

Por el contrario, la fuerza de sustentación es una fuerza ocasionada por el fluido pero en dirección perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo (ver Figura 1). La fórmula matemática que describe la sustentación es análoga a (1), y se escribe como

$$F_L = \frac{1}{2} C_L A \rho U_0^2, \quad (2)$$

en donde C_L es coeficiente de sustentación, y al igual que el coeficiente de arrastre, depende de distintos factores. La fuerza de sustentación es producto únicamente de la distribución inhomogénea de la presión en la superficie del objeto.

Es importante resaltar que para estudios en tres dimensiones comúnmente se utilizan letras mayúsculas para los subíndices D y L , mientras que para problemas en dos dimensiones se utilizan letras minúsculas. En el primer caso la resultante será una fuerza [N], en tanto en dos dimensiones será fuerza por unidad de longitud [N/m].

B. Perfil aerodinámico

La utilidad de la fuerza de arrastre o la fuerza de sustentación dependerá de la aplicación. Por ejemplo, para un avión en vuelo se busca que el perfil del ala maximice la fuerza de sustentación y disminuya el arrastre. Por el contrario, cuando el avión aterriza, se busca lo contrario para disminuir la longitud de frenado.

Un perfil aerodinámico se refiere a la forma que debe tener un objeto sólido para maximizar la fuerza de sustentación. En la práctica existe una infinidad de perfiles aerodinámicos, pero todos ellos tienen una forma similar. El perfil, como el mostrado en la Figura 1, tiene un *borde de ataque*, que es donde incide el fluido en el perfil, y un *borde de salida*, en la parte posterior. Puesto que se desea disminuir el arrastre en el perfil, el borde de salida es afilado, lo que se conoce en dinámica de fluidos como condición de Kutta [4]. La línea recta que une el borde de

ataque y el borde de salida se denomina *cuerda*, y se define con la letra c . En problemas de aerodinámica la longitud de la cuerda se considera comúnmente como la distancia características del problema. Además, la cara superior del perfil se denomina *extradós*, o superficie de succión, y la cara inferior del perfil *intradós*, o superficie de presión. Esto se puede observar en la Figura 2. El espesor del perfil corresponde a la máxima distancia entre el intradós y el extradós. La forma de cada una de ellas proporciona características particulares al perfil.

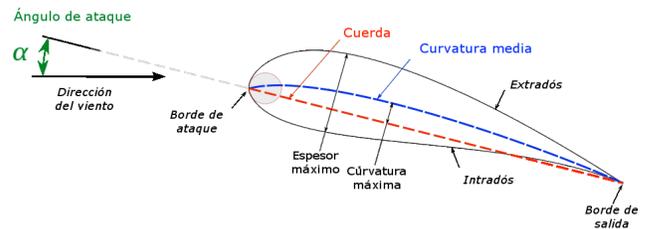


Figura 2. Esquema con las partes principales de un perfil.

Un parámetro importante en el análisis de perfiles es el *ángulo de ataque* que corresponde al ángulo existente entre la dirección del viento y la cuerda del perfil. En perfiles asimétricos, como los mostrados en las Figuras 1 y 2, existe una línea que une el borde de ataque y el borde de salida y que pasa por los puntos medios entre el intradós y extradós denominada *línea de curvatura media*. En perfiles simétricos la cuerda y la línea de curvatura media coinciden.

II. NOMENCLATURA DE ÁLABES

El diseño de álabes depende en gran medida del fabricante y de la aplicación. Existen distintas maneras de designar los álabes, siendo uno de los principales la NACA [5], por sus siglas en inglés *National Advisory Committee for Aeronautics*. Dentro de la NACA existen distintas maneras de designar un álabe. En este trabajo utilizaremos la designación mediante cuatro dígitos, es decir, de la forma NACA MPXX.

El primer dígito (M) hace referencia a la máxima curvatura que puede tener la línea media que divide al intradós y extradós entre la longitud de la cuerda. Debido a esto su valor debe ser expresado en porcentaje. Su rango está disponible desde 0 a 9.5%. El segundo dígito (P) se refiere a la posición en que se encontrará la máxima curvatura de la línea media respecto al borde de ataque. De igual manera se expresa su valor en porcentaje y solo aparece en la designación el primer dígito. Su rango de valores es de 0 a 90%. Finalmente el tercer y cuarto dígito corresponde al espesor que tendrá el perfil en función de la cuerda. Su rango de valores está desde el 1 a 40% de la

longitud de la cuerda.

Por ejemplo, el perfil NACA 5518 tiene una curvatura del 5% de la cuerda, el máximo de curvatura se encuentra a un 50% de la longitud de la cuerda respecto del borde de ataque y el espesor máximo del perfil es de 18% de la cuerda. Este perfil se muestra gráficamente en la Figura 3.

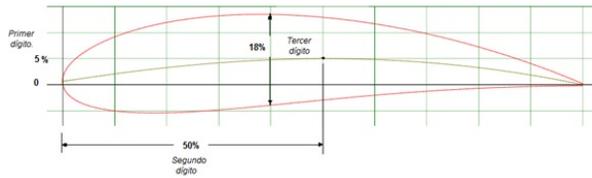


Figura 3. Perfil NACA 5518.

III. COEFICIENTES Y NÚMEROS ADIMENSIONALES

El análisis teórico y experimental ha mostrado que muchos problemas se pueden caracterizar por parámetros adimensionales. Estos números adimensionales permiten generalizar los resultados obtenidos en experimentos realizados a escala.

El número de Reynolds es tal vez el parámetro adimensional más importante ya que define el régimen de flujo existente. Este número expresa la relación que existe entre los mecanismos de convección y difusión para un problema dado y se expresa como

$$Re = \frac{U_0 L \rho}{\mu}, \quad (3)$$

donde U_0 , L y ρ se definieron previamente, y μ la viscosidad dinámica del fluido. Para un problema específico, el número de Reynolds indica si el flujo es laminar (valores bajos) o turbulento (valores elevados), y la transición entre ambos regímenes depende del tipo de flujo. Para el flujo sobre un perfil, la velocidad de corriente libre (lejos del perfil) y la cuerda se consideran como las variables características del problema.

Si bien, es importante conocer la fuerza de arrastre y de sustentación, en problemas de dinámica de fluidos es más conveniente utilizar su forma adimensional, es decir, los coeficientes de arrastre, sustentación y presión [3] que se definen a continuación. Usar estas variables adimensionales permite validar las simulaciones con datos experimentales reportados en la literatura. El coeficiente de arrastre C_l relaciona la fuerza de sustentación por unidad de longitud entre la fuerza dinámica por unidad de longitud, y en dos dimensiones se expresa como

$$C_l = \frac{F_L/l}{\frac{1}{2} \rho U_0^2 c}. \quad (4)$$

El coeficiente de arrastre C_d en dos dimensiones relaciona la fuerza de arrastre por unidad de longitud entre la fuerza dinámica por unidad de longitud, es decir,

$$C_D = \frac{F_D/l}{\frac{1}{2} \rho U_0^2 c}. \quad (5)$$

Finalmente, el coeficiente de presión es la razón entre la presión estática y presión dinámica, y está dado por

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_0^2}, \quad (6)$$

donde p corresponde a la presión está del fluido en un punto dado, y p_∞ a la presión de flujo libre (muy lejos del perfil).

IV. MÉTODO NUMÉRICO

La simulación numérica se llevó a cabo con el software COMSOL Multiphysics 5.2, basado en el método de elemento finito. COMSOL, a través del módulo de dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés *Computational Fluid Dynamics*) ofrece distintas formulaciones de las ecuaciones de Navier-Stokes [4] para resolver problemas con flujos turbulentos, por ejemplo: k-epsilon, k-omega y SST (por sus siglas en inglés *Shear Stress Transport*), entre otras [6]. En este trabajo se utilizó el modelo SST [7], también conocido como SST k-omega. Este modelo se usa comúnmente en problemas que presentan gradientes de presión adversos y separación de la capa límite. Estos fenómenos son de suma importancia en aplicaciones prácticas, por ejemplo en la aerodinámica de los álabes de aerogeneradores en los cuales es relevante la separación de la capa límite que se puede utilizar para controlar la operación de los aerogeneradores.

V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Existen dos maneras de analizar el problema del flujo de aire sobre un perfil para distintos ángulos de ataque: 1) rotar la geometría (perfil aerodinámico) y mantener la dirección del flujo en la entrada constante, o 2) mantener la geometría fija y variar la dirección del flujo en la entrada. La primera opción implica que para cada ángulo de ataque se debe mallar el dominio. Por el contrario, la segunda opción implica modificar únicamente la condición de entrada, que es más simple de implementar y requiere un menor tiempo de cómputo al eliminar los procesos de remallado. En este trabajo se optó por la segunda opción.

En la Figura 4 se presenta el dominio de simulación y las condiciones de frontera utilizadas. La cuerda del perfil tiene una longitud de 1 m. Para evitar el efecto de las

condiciones de frontera en el flujo, se definió un dominio con una distancia del al menos 180 m del perfil, 360 m en la parte posterior. Puesto que lejos del perfil la velocidad se considera constante, se especificó una condición de entrada del flujo en la cual las componentes horizontal y vertical de la velocidad de la siguiente manera $\vec{u} = U_0\{\cos\alpha \hat{i} + \sin\alpha \hat{j}\}$, en donde alpha es el ángulo de ataque. En la parte posterior del dominio (rojo) se especificó una condición de superficie libre, y en las paredes del perfil la condición de no deslizamiento. Esta condición implica que la velocidad en una superficie determinada tendrá la misma velocidad que dicha superficie, en este caso cero.

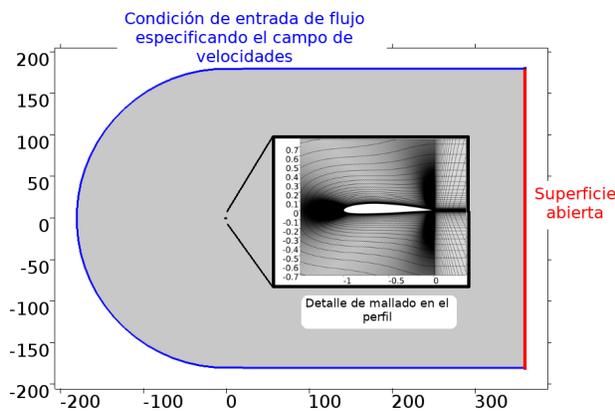


Figura 4. Dominio de simulación y condiciones de frontera utilizada. Detalle de mallado en la región del perfil.

En el análisis mediante dinámica de fluidos computacional, las regiones críticas debe resolverse correctamente o de lo contrario la solución podría no converger. Por esta razón, las zonas cercanas al borde de ataque y de salida tienen una malla considerablemente más fina, como se puede apreciar en el detalle de la Figura 4.

Los parámetros analizados en este trabajo son el ángulo de ataque, que se varió entre -5° y 8° , y el número de Reynolds, para valores entre 100,000 y 800,000. En las condiciones de flujo consideradas (ver Tabla I) los valores de Re equivalentes a velocidades entre 1.5 m/s y 12 m/s. En todos los casos presentados, el perfil opera por debajo del ángulo de ataque crítico en el cual se presenta la condición de atascamiento (*stall condition* en inglés). Esta condición se presenta cuando se excede el valor del ángulo de ataque crítico y el sistema tiene una caída considerable de la sustentación, que para sistemas eólicos significaría una reducción de la velocidad de rotación [8].

TABLA I
CONDICIONES DEL FLUJO Y PROPIEDADES DE AIRE EN LA REGIÓN DE CORRIENTE LIBRE.

Densidad del aire	1.2043 kg/m ³
Viscosidad dinámica del aire	1.814×10 ⁻⁵ kg m ⁻¹ s ⁻¹
Longitud característica (cuerda)	1 m
Velocidad	1.5 – 12 m s ⁻¹
Perfil	NACA 2411

VI. RESULTADOS

En la Figura 5 se muestra la gráfica de contornos de la presión para un número de Reynolds de 800,000. En la izquierda se muestra la distribución correspondiente a un ángulo de ataque de 5° y a la derecha para un ángulo de ataque de -5° . El ángulo se mide desde la horizontal (paralela a la cuerda del perfil) y es positivo en dirección anti-horaria. En esta Figura se puede observar que los mayores gradientes de presión se tienen en el borde de ataque, que es en donde incide el aire, y de allí la importancia del diseño para evitar la turbulencia originada por estos gradientes. Un aspecto importante a resaltar es que debido a la asimetría del perfil, la distribución de la presión es asimétrica y por lo tanto los ángulos críticos (positivo y negativo) son diferentes. Para este perfil, puesto que los gradientes de presión a lo largo del perfil son mayores para ángulos negativos, comparados con el ángulo positivo correspondiente, el desprendimiento de la capa límite se presenta a ángulos inferiores. En la Figura 5 se muestran también las líneas de corriente que para este caso corresponden a la trayectoria que seguiría una partícula en el flujo.

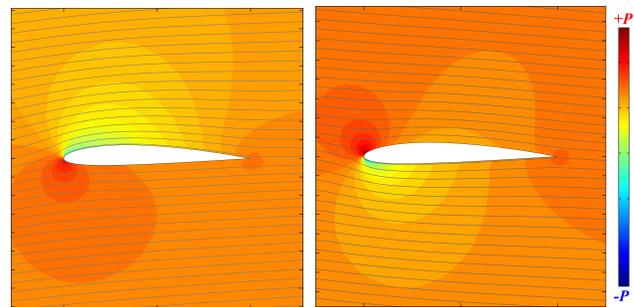


Figura 5. Gráfica de contornos de la presión y líneas de corriente para Re=800,000 con un ángulo de ataque de 5° (izquierda) y -5° (derecha).

En la Figura 6 se presenta el coeficiente de sustentación, que es proporcional a la fuerza de sustentación, como función del ángulo de ataque para todos los números de Reynolds considerados. Se puede observar que el comportamiento de la sustentación no presenta cambios significativos con el número de Reynolds, aunque se presenta un ligero incremento del coeficiente de sustentación con el número de Reynolds.

Debido a la asimetría del perfil, el ángulo de ataque para el cual se presenta una sustentación nula, corresponde a $\alpha \approx -1.9^\circ$. En el rango de valores de los ángulos de ataque considerados el coeficiente tiene un crecimiento monótono y casi lineal, aunque para valores superiores a 8° se presentará una caída significativa en la sustentación.

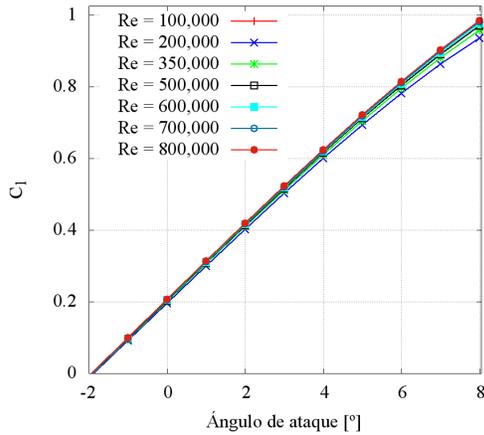


Figura 6. Coeficiente de sustentación como función del ángulo de ataque para distintos números de Reynolds.

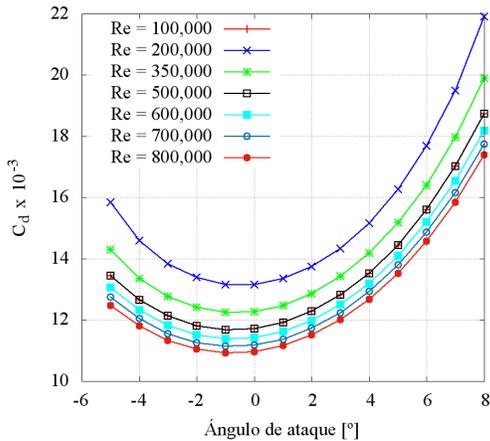


Figura 7. Coeficiente de arrastre como función del ángulo de ataque para distintos números de Reynolds.

El coeficiente de arrastre como función de ángulo de ataque para distintos valores de Re , se muestra en la Figura 7. Se puede observar que C_D para un ángulo de ataque fijo no tiene un incremento monótono con el número de Reynolds, sino que aumenta de $Re=100,000$ a $Re=200,000$, y para números de Reynolds superiores a este valor el arrastre disminuye. Se observa también que el mínimo de arrastre se presenta para $\alpha \approx -1^\circ$, y no corresponde con el ángulo para el que la sustentación sea nula.

En las Figura 8 y 9 se muestra el coeficiente de presión a lo largo del perfil (extradós e intradós respectivamente)

para tres ángulos de ataque distintos y $Re=800,000$. De acuerdo a (6), estas gráficas representan el perfil de presión normalizado con la presión dinámica para cada punto sobre la superficie del perfil. Se puede apreciar la diferencia en la distribución de la presión mostrada en la Figura 6, y además el incremento significativo (en sentido opuesto) en la presión para ángulos opuestos, es decir, para un ángulo de ataque de 5° el coeficiente de presión máximo es de aproximadamente 1. Por el contrario, para un ángulo de ataque de -5° , el valor máximo de C_p es 2.2. Para el primer caso la fuerza es en dirección vertical positiva, mientras que en el segundo es en dirección opuesta.

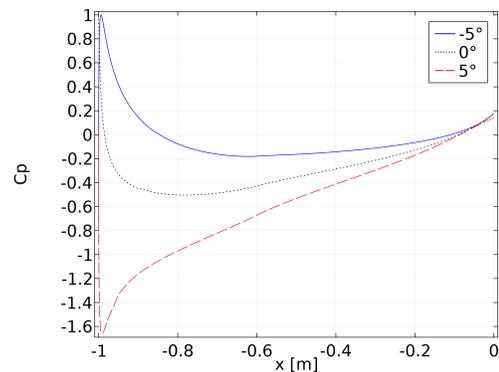


Figura 8. Distribución de la presión a lo largo del extradós para $Re= 800,000$.

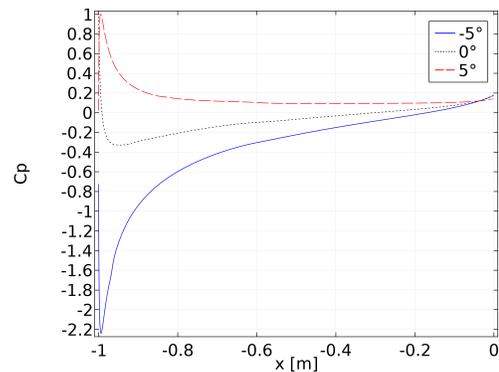


Figura 9. Distribución de la presión a lo largo del intradós para $Re= 800,000$.

VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó numéricamente el flujo de aire sobre un perfil NACA 2411 en estado estacionario. El análisis numérico se basó en el modelo de turbulencia SST, comúnmente utilizado en problemas que involucran desprendimiento de capa límite. Los parámetros evaluados son el número de Reynolds y el ángulo de ataque. El número de Reynolds varió entre $100,000$ y $800,000$, que equivalen a velocidades entre 1.5 y 12 m/s. Los ángulos de ataque considerados están por debajo del ángulo de ataque

crítico y están en el rango de -5° y 8° . Con base en los resultados numéricos se presentaron los coeficientes de sustentación y arrastre, así como el coeficiente de presión a lo largo del perfil. Los resultados muestran que, para el rango analizado, existe una dependencia casi lineal entre el coeficiente de arrastre y éste no varía significativamente con el número de Reynolds. Se observó que para el perfil considerado, con un ángulo de ataque inferior a 1.9° , se pierde la sustentación. Para el caso del coeficiente de arrastre, el mínimo se presenta a un ángulo de ataque de 1° . Además, si se considera un ángulo de ataque fijo, el coeficiente de arrastre no presenta un incremento monótono con el número de Reynolds.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM por los recursos para el desarrollo de este proyecto. M. Rivero agradece a Cátedras CONACYT.

IX. REFERENCIAS

- [1] AMDEE, "Asociación Mexicana de Energía Eólica." [Online]. Available: www.amdee.org. [Accessed: 01-May-2017].
- [2] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2011.
- [3] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 2nd ed. Wiley, 2010.
- [4] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Fluid Mechanics*, vol. 6, no. 1. Pergamon books Ltd., 1987.
- [5] H. Abbott, A. E. Von Doenhoff, and L. S. Stivers, "Report No 824: Summary of Airfoil Data," 1943.
- [6] J. Bredberg, "On Two-equation Eddy-Viscosity Models," Goteborg, Sweden., 2001.
- [7] F. R. Menter, "2-Equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *Aiaa J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994.
- [8] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, "Wind Energy Handbook, 2nd Edition."

X. BIOGRAFÍA



Luis Francisco Marín Montañez. Actualmente cursa el sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de La Laguna. Sus intereses son el análisis y de diseño mecánico de máquinas, así como de sistemas térmicos.



Eduardo Ramos. Doctor en Física por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador Titular C del Instituto de Energías Renovables - UNAM ubicado en Temixco, Morelos, México. Las líneas de investigación del Dr. Ramos incluyen el análisis del fenómeno de convección natural con y sin rotación, flujos en gotas y burbujas, flujos magnetohidrodinámicos, así como fenómenos de transferencia de calor en estos y otros sistemas.



Michel Rivero. Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero son la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, y Procesamiento Electromagnético de Materiales.



Francisco Sergio Sellschopp Sánchez. Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



Felipe de Jesús Alba Silva. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1984 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de M.E. en Economía y mercadotecnia en 2001 en la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma de Coahuila, en Torreón, Coahuila. Actualmente forma parte de la planta académica de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de especialidad son las Plantas Eléctricas de Emergencia, los Hornos de Inducción y la Automatización de procesos.

Diseño Estructural de la Sección Cilíndrica del Túnel de Viento Didáctico del TecNM/ITLaguna

E.J. Arroyo-Chavarría¹, J.A. Barajas-Hernández¹, F. Alba-Silva^{1}, J.C. Ramos-Pedroza¹.*

Resumen— En este artículo se determina la selección de perfiles a usar para la construcción de la estructura de un túnel de viento didáctico que estará ubicado en el Instituto Tecnológico de La Laguna. La geometría y dimensiones del túnel de viento serán cilíndrica con longitud de 2.44 m y diámetro de 1.10 m. Las cargas de diseño consideradas se determinan en base a los elementos electromecánicos que producen el viento, así como los pesos propios de los perfiles que forman el túnel y transmiten algún esfuerzo, con la finalidad de establecer el diseño estructural. El diseño se determina mediante un modelo matemático tridimensional del túnel de viento desarrollado en el software CYPE 3D. Los resultados de este estudio permitirán conocer el porcentaje de trabajo de los perfiles que soportan al túnel de viento.

Palabras claves— Túnel de viento, Diseño estructural, Diseño por software.

Abstract— This paper determines the selection of profiles to be used for the structure construction of a wind tunnel that will be located at the Instituto Tecnológico de La Laguna. The geometry and dimensions of the wind tunnel will be cylindrical with a length of 2.44m and a diameter of 1.10m. The design loads considered are determined based on the electromechanical elements that produce the wind, as well as the own weights of the profiles that form the tunnel and transmit some effort, with the aim to establish the structural design. The design is determined by a three-dimensional mathematical model of the wind tunnel developed in CYPE 3D software. The results of this study will allow to know the percentage of work of the profiles that support the wind tunnel.

Keywords— Wind Tunnel, Structural Design, Software Design.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo avanza a pasos agigantados, los estudiantes ya no se conforman con solo asistir a las aulas a adquirir conocimientos brindados por sus profesores. Están ansiosos por llevar a la práctica los conceptos que antes solo podían conocer por medio de algunas líneas y tablas

que un libro les proporcionaba. Por lo que es de vital importancia brindarles las herramientas necesarias para así adoptar esos conceptos y de esa forma hacerlos más competentes en el desempeño de su carrera. Una de esas herramientas es el túnel de viento didáctico, que les otorgará la capacidad de comprender energías como la eólica, que ante la necesidad imperante de utilizar energías limpias [1], es una excelente opción el poder comprender su funcionamiento por medio de la experimentación. Pero no hay que correr antes de caminar, ya que previo a poder materializar la herramienta antes mencionada, se tiene que someter a un proceso creativo con rigurosa evaluación, que le dará la forma que más convenga para su mejor aprovechamiento y funcionamiento. Así mismo se deberá respetar algunas limitantes como el espacio donde será ubicado, adoptando los resultados del análisis estructural. De esta manera podremos establecer el comportamiento de la estructura con la finalidad de seleccionar los perfiles más adecuados para soportar el túnel de viento didáctico. Posteriormente se procede al diseño estructural, que gracias a la evolución de la informática, se cuenta con software especializado en el desarrollo de estructuras metálicas, sin dejar de lado la interpretación del especialista responsable del proyecto, y de esta forma facilitar la propuesta de construcción del túnel de viento didáctico.

Uno de los pilares importantes en el diseño estructural es encontrar la solución más económica y que cumpla con los requerimientos solicitados [2]. Además de encontrar una solución que genere equilibrio y estabilidad a la estructura, pasando a ser de gran importancia conocer aspectos como espacio destinado para su colocación, uso que se le va a dar a la estructura, los riesgos que conlleva en caso de que existiera alguna falla en ella, la posibilidad de que existan pérdidas humanas por falla o si las pérdidas económicas son considerables. Así, de esta forma se puedan determinar factores de seguridad que deberán adoptarse, nunca siendo menores a los especificados en manuales de diseño y normas que rijan en nuestro país.

Los túneles de viento se pueden clasificar de distintas maneras y existe una gran variedad de ellos dependiendo del tipo de estudios para el que fueron desarrollados, por ejemplo, para el estudio de la capa límite atmosférica, calibración de sensores, estudio de la aerodinámica de autos, entre otros [3]. En el TecN/ITL se construirá un túnel de viento abierto y de baja velocidad [3], [4].

¹ TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Av. Cuauhtémoc y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México.

* felipealba@yahoo.com

Un aspecto importante a considerar en el diseño de túneles de viento es la vibración de las distintas partes del túnel que puede generar ruido, molestias en los usuarios, daños por fatiga en la estructura del túnel, así como generar turbulencia [5]. Todos estos aspectos son indeseables en la operación de un túnel de viento, por lo que en la medida de lo posible se deben evitar. Este trabajo se centra en el análisis estático de la estructura que soportará al túnel, dejando el estudio teórico y experimental de las vibraciones [6] para etapas posteriores del proyecto. En este trabajo de investigación se determinarán las cargas estáticas que actuarán sobre la propuesta de estructura de soporte del túnel y posteriormente se presenta el análisis numérico de dicha estructura. Se demuestra la utilización de herramientas computacionales de diseño estructural para conocer los esfuerzos en la estructura y así determinar los perfiles necesarios que sujetarán el túnel de viento. Finalmente los resultados que arroja la herramienta computacional deben conjuntarse con la experiencia del analista en estructuras para validar la selección de la estructura, respetando siempre los reglamentos y normas vigentes que deban ser aplicables.

II. DESCRIPCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TÚNEL DE VIENTO

Antes de poder comenzar con el proceso de diseño estructural, se tiene que iniciar con el proceso de creación de la estructura, que consiste en materializar el concepto abstracto que se tiene en mente y combinarlo con las restricciones propias de espacios y las necesidades en las dimensiones por concepto de equipos que se integrarán a la estructura final.

Se busca construir e instalar el túnel de viento dentro del laboratorio de ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna. Por lo tanto el dimensionamiento del túnel debe acotarse a dimensiones tales que no se presente la obstrucción tanto de la entrada como de la salida del viento. Por lo tanto, se propuso un túnel de viento con las siguientes dimensiones: a) zona convergente de entrada con diámetro inicial de 1.3 m y diámetro final de 1.1 m con una longitud de 1 m, b) sección de prueba cilíndrica de diámetro de 1.1 m y longitud de 2.44 m, c) zona de difusor con diámetro inicial de 1.1m y diámetro final de 1.2 m con longitud de 0.5 m. Por tanto, la longitud total del túnel es de 3.94 m.

Debido a que la mayor longitud del túnel se encuentra en la sección de prueba, se propone segmentar al túnel para llevar a cabo los estudios de esfuerzo estructural solamente sobre la parte del cilindro de longitud de 2.44 m. Para llevar a cabo esto, se considerará que a la entrada de la sección cilíndrica se tiene ya una velocidad y presión de viento tal que lo puede proporcionar un ventilador con las dimensiones ajustadas al diámetro del cilindro. Con

esto se podrán evaluar los esfuerzos sobre una estructura propuesta para la sección más larga del túnel. Y mediante los resultados obtenidos se podrán proponer los perfiles necesarios para soportar dicha sección.

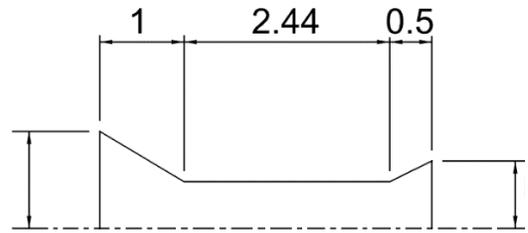


Figura 1. Longitudes del túnel de viento para diseño estructural

El ventilador que se propone para inyectar el viento a una velocidad determinada se muestra en la figura 2.

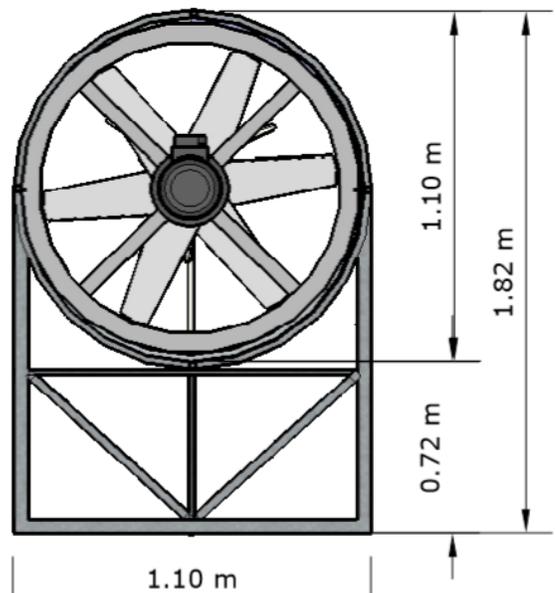


Figura 2. Vista frontal del ventilador de la sección cilíndrica del túnel de viento

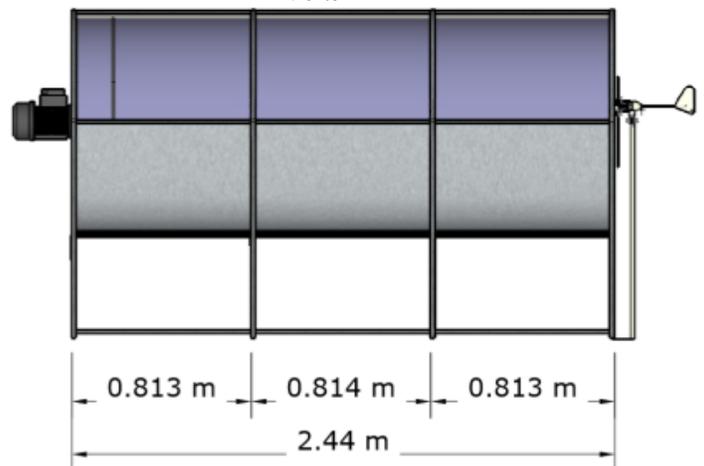


Figura 3. Vista lateral de la sección cilíndrica del túnel de viento

III. ESTUDIO DE CARGAS APLICADAS

Las cargas en términos generales se pueden distribuir en 2 apartados, cargas permanentes y cargas variables. Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas se consideran como los pesos de todos los elementos constructivos, los acabados y todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia substancialmente con el tiempo. Para la evaluación de las cargas muertas se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos unitarios de los materiales. Por otra parte, las cargas variables o vivas, son aquellas fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las construcciones y que no tienen carácter permanente [7].

En nuestro caso, la carga muerta aplicada no tendremos que determinarla, ya que el software que vamos a utilizar para dar solución a la estructura, en el momento en que estemos alimentándolo con los datos, nos pide que seleccionemos el perfil a utilizar y automáticamente incluye el peso del material en la solución estructural dada. En cambio, en el caso de la carga viva, tenemos que encontrar los valores a utilizar en base a las condiciones de uso de la estructura.

Una de las fuerzas actuantes en la estructura por concepto de carga viva será la generada por el ventilador al momento de entrar en función, creando un flujo de aire que a su vez generará una fuerza cortante horizontal o fuerza de fricción proporcional a la velocidad de viento generada que tratará de mover el túnel.

Para que un sistema que incluye fuerzas de fricción permanezca estático (que no ocurra deslizamiento), la fuerza F no puede sobrepasar un valor límite que depende parcialmente de la fuerza normal transmitida a través de la superficie de contacto. Puesto que este valor limitante también depende de la naturaleza de las superficies en contacto, debe determinarse experimentalmente [2].

$$F_h = m * g * F_r \quad (1)$$

Donde F_h es la fuerza horizontal, m , g y F_r son la masa de la estructura, aceleración de la gravedad y el factor de rozamiento, respectivamente.

Asignando valores a cada una de las variables se determina con base en el prediseño de la estructura una masa total de 350 kg. Para la gravedad manejamos la constante de 9.81 m/s² y por último el factor de rozamiento entre 2 elementos es variable según los materiales en acción. Para determinar este último factor se considera que el túnel de viento didáctico tendrá movilidad mediante un sistema de rodamiento a base de llantas de caucho con seguros para evitar desplazamientos no deseados. Y por otra parte la superficie donde se establecerá la estructura será de concreto por lo que el

factor de rozamiento dinámico para estos dos materiales está entre 1 y 0.8 cuando están secos y 0.3 cuando están húmedos. Para el caso del estudio mostrado en este artículo se considera un factor de rozamiento dinámico cercano al de la condición húmeda con la finalidad de manejar un factor de seguridad y verificar que no se desplace el túnel. Por ello se determina utilizar un factor de 0.4, de manera que la fuerza horizontal es

$$F_h = 350 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.40 = 1,373.40 \text{ N}$$

Por lo tanto, se necesita una fuerza de 1,373.40 N para mover la estructura del túnel. Es importante mencionar que el túnel estará estático, por lo que el coeficiente de rozamiento, y por tanto la fuerza horizontal, serán superiores al valor obtenido. Para verificar que el túnel no se moverá debido a la acción del viento sobre éste es necesario estimar esta fuerza definida como.

$$F = A * P \quad (2)$$

Donde F la fuerza debida a viento, A y P son el área de impacto y la presión del viento, respectivamente. De acuerdo a la ecuación de Bernoulli [8], en el caso en el que el fluido moviéndose a una velocidad V cede toda su energía a la superficie donde éste incide, la presión se determina con la siguiente fórmula:

$$P = 1.22 * V^2 \quad (3)$$

Si se considera una velocidad máxima de viento de 30 m/s que es la máxima a aplicar en los estudios al túnel y que además es muy superior a la velocidad que se espera en el túnel a construirse en el ITL [9], la presión debida al viento es

$$P = 1.22 (30)^2 = 1,098 \text{ N/m}^2$$

La fuerza que ejerce el viento sobre el túnel se obtiene al sustituir el valor obtenido para la presión en (2), es decir,

$$F = (0.95 \text{ m}^2) (1,098 \text{ N/m}^2) = 1,043.46 \text{ N}$$

En donde el área corresponde a la superficie del diámetro del tubo de 1.1 m. Si consideramos que la fuerza de empuje del viento es inferior a la fuerza horizontal F_h se puede concluir que la estructura no se moverá.

Ya que se determina esta condición, debemos de aplicar esta misma carga al modelo matemático que desarrollaremos para la solución estructural en el software *CYPE 3D* [10]. Además se consideran los apoyos como empotrados, ya que no se permitirá el desplazamiento en ninguno de los ejes, de acuerdo a las condiciones de operación que se esperan para el túnel de viento.

IV. SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

El diseño estructural es un arte en el que se utilizan las experiencias obtenidas en construcciones anteriores, realizadas con o sin éxito, las leyes de la física y las matemáticas, y los resultados de investigaciones de laboratorio, para obtener la geometría y las dimensiones de estructuras que se comporten de una manera segura y eficiente, que sean económicas en construcción y mantenimiento y que sean estéticamente agradables [3].

Así mismo, respetando todos los parámetros anteriormente descritos, y aplicando la norma para Acero formado en frío: AISI S100-2007 (LRFD), se comienza con el diseño estructural.

En la figura 4 se presenta la estructura diseñada para soportar el túnel de viento, y sobre el cual se realizará el cálculo de los esfuerzos y posterior selección del material.

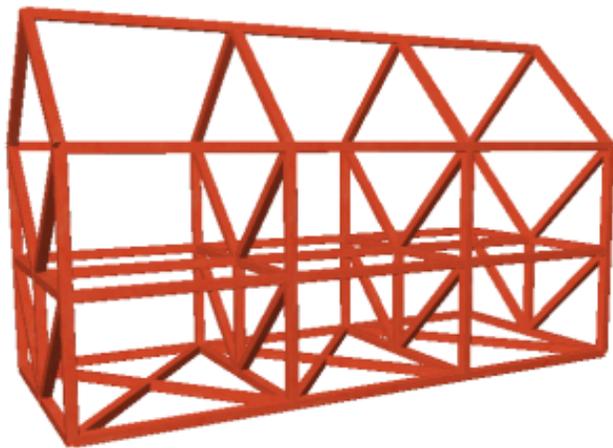


Figura 4. Modelo matemático representado por figura tridimensional. (altura 1.82 m, largo 2.44 m y ancho 1.56 m)

A continuación se aplican cargas por concepto de tablero de mediciones apoyado lateralmente sobre la estructura del túnel, así como las cargas actuantes generadas por el extractor, tanto por vibración, como por el viento generado, figura 5.

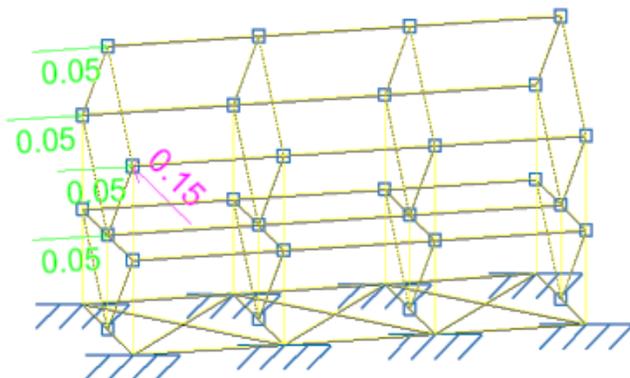


Figura 5. Esquema de cargas aplicadas en el modelo

Aunque se haya revisado anteriormente y se llegara a la conclusión de que la estructura no se movería, no quiere decir que esas cargas desaparecieran, si no que las absorben los perfiles que forman la estructura, por lo que debe considerarse en las cargas a aplicar sobre los nudos, de tal manera que el esquema de cargas aparece en la figura 5, tal y como se capturó en el software. Los valores de las cargas están dados en toneladas y equivalen a la carga total repartida uniformemente sobre los nudos, que a su vez repartirán esa carga hacia el resto de la estructura.

V. RESULTADOS

Ya que se cuenta con el modelo y las cargas aplicadas, lo único que resta por hacer es dar la orden para que el software elabore un proceso de cálculo, que tendrá a su vez que empatar con el pre diseño realizado por métodos manuales y corroborar que la selección de los perfiles fue la correcta. El tiempo que puede tomar este proceso es variable, depende en gran parte de la capacidad de la computadora donde se lleve a cabo la tarea encomendada, además de la complejidad de la estructura. Lo que sí es seguro es que este proceso será más rápido que los métodos tradicionales de diseño usados antes de existir estas tecnologías.

Al terminar este proceso de cálculo, el programa arrojará una serie de resultados donde se muestran uno a uno todos los perfiles indicando el porcentaje de trabajo al que están sujetos, siendo los resultados correctos cuando el valor esté por debajo del 100%. Por obvias razones estaría equivocado si un elemento trabaja por encima del 100%, ya que indicaría que está trabajando a más de su capacidad, en dado caso se tendrían que sustituir esos elementos, por elementos con mayor capacidad y volver al proceso de cálculo repitiendo este proceso hasta que todos los perfiles estén por debajo del 100%.

Comprobación de resistencia								
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos				Origen	Estado
			N (t)	Vy (t)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N1/N2	7.35	0.000	-0.048	-0.029	-0.001	-0.012	GV	Cumple
N1/N5	3.01	0.000	-0.035	0.006	-0.001	0.002	GV	Cumple
N5/N3	1.70	0.650	0.035	-0.006	-0.001	0.002	GV	Cumple
N3/N4	7.41	0.000	0.082	-0.028	0.000	-0.012	GV	Cumple
N6/N4	2.05	0.000	-0.009	-0.008	0.000	-0.003	GV	Cumple
N2/N6	3.09	0.650	-0.220	0.001	0.002	0.000	G	Cumple
N5/N6	3.20	0.600	-0.057	-0.014	0.000	0.005	GV	Cumple
N5/N4	0.49	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	GV	Cumple
N5/N2	2.54	0.885	0.289	0.000	0.000	0.000	G	Cumple

Figura 6. Resultados con el % de aprovechamiento

Al final del proceso nos arroja que los perfiles seleccionados fueron los correctos, siendo éstos para toda

la estructura perfil tipo PTR 2"x2" blanco formando armaduras entrelazadas para darle la rigidez requerida y conectando todos los aros que sirven como cimbra y área de sujeción de la lámina que formará el túnel de viento.

Además de la rapidez con que se trabajó, y lo satisfactorio de los resultados, se determina que la solución fue adecuada por la relación costo beneficio, ya que se consigue una estructura ligera que cumple con todos los requerimientos de su función. Por otra parte el peso de la estructura es ligera y por lo tanto de fácil manejo para su traslado.

VI. CONCLUSIONES

Se tomó una idea básica de la necesidad de crear un túnel de viento didáctico y se optó por realizar el estudio correspondiente para conseguir una estructura capaz de soportar los esfuerzos generados por equipos utilizados para el estudio de energías como la eólica. Los resultados arrojados por el simulador de esfuerzos en estructuras demostró que la selección de perfiles PTR 2"x2" soportará sin ningún problema las cargas ejercidas por el peso de la sección de pruebas cilíndrica del túnel y por las fuerza de arrastre del viento en movimiento. Por tanto, esta propuesta de estructura mostrada en la figura 4 será la que se construirá para esta sección de túnel de viento.

Se entiende que el uso de software para las soluciones estructurales es de gran utilidad, pero nunca sustituirán el uso del razonamiento humano, convirtiendo estos softwares en herramientas eficaces, pero no indispensables para la toma de decisiones, ya que éstas se dan por la experiencia, imaginación, conocimientos, que a su vez y en conjunto te dan la habilidad de encontrar la solución adecuada, que aunada a la velocidad de respuesta de herramientas como las antes descritas, hacen que la tarea del diseño estructural sea todo un deleite de ejecutar. El trabajo a futuro incluye el análisis dinámico del túnel, es decir, considerar las cargas debidas al desprendimiento de vórtices dentro y fuera del túnel, así como la posterior validación con resultados experimentales.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM por los recursos otorgados para el desarrollo del proyecto de túnel de viento didáctico.

VIII. REFERENCIAS

- [1] A. Schaffarczyk, *Understanding wind power technology: theory, development and optimisation*. 1ed, Wiley, 2014
- [2] J. D. Holmes, *Wind loading of structures*, 3th Ed, CRC Press,

- 2015
- [3] J. D. Pereira, *Wind tunnels: Aerodynamics, models and experiments*, Nova Science Publishrs, UK, 2013.
- [4] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook* 2nd Ed, Wiley, 2011.
- [5] J.B. Barlow, W.H. Rae, A. Pope, *Low speed wind tunnel testing*, 3ed, Wiley, 2010
- [6] S. Rao, *Mechanical Vibrations* 5th Ed, Pearson, 2011
- [7] Reglamento de construcción para el estado de Coahuila, 1996.
- [8] Y. Cengel y J. Cimbala, *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones* 2da Edición, McGraw Hill 2012.
- [9] M. Rivero, et.al., Estudio numérico de túel de viento didáctico del TecNM/ITLaguna, Memorias de CONINCI 2017.
- [10] <http://programas.cype.es/>
- [11] R. L. Brockenbrough, F.S. Merrit, *Manual de diseño de estructuras de acero* Tomo 1 Segunda edición, 1997
- [12] O. de Buen López de Heredia, *Manual de estructuras de acero*, 1991

IX. BIOGRAFÍA



Erika Janeth Arroyo Chavarría. Egresada de la carrera de Ingeniería Eléctrica, reconocida por mejor promedio de generación 2005 en el TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. A partir de ese momento y hasta el año 2011 colaboró en el departamento de proyectos en empresa líder en el ramo de instalaciones eléctricas en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Ella actualmente forma parte de la planta académica de la carrera Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son generación de energía eólica.



José Arturo Barajas Hernández. Egresado de la carrera Ingeniería Industrial Electricista del Instituto Tecnológico de la Laguna en Octubre de 1983 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de M. C. en Ingeniería Eléctrica en julio del 2003 en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Actualmente forma parte de la planta académica de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de investigación están en el control de velocidad de máquinas eléctricas.



Felipe de Jesús Alba Silva. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1984 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de M.E. en Economía y mercadotecnia en 2001 en la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma de Coahuila, en Torreón, Coahuila. Actualmente forma parte de la planta académica de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de especialidad son las Plantas Eléctricas de Emergencia, los Hornos de Inducción y la Automatización de procesos.



Julio César Ramos Pedroza. Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial en Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 1994 en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México. En 1998 Estudió la Maestría en Ciencias con la Especialidad de S.E.P. (Pasante de Maestría) en el Instituto Tecnológico de la Laguna en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica del Instituto Tecnológico de la Laguna en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México. Su área actual es en la especialidad de Potencia dentro de la carrera Ingeniería Eléctrica.

Tratamiento de agua por destilación solar

T. J. A. Cervantes-Vázquez^{1*}, R. D. Calderon-Lobato¹, L. C. de la Paz-Robles¹.

Resumen—El agua es uno de los recursos esenciales para el desarrollo de diferentes tipos de vida, es importante desarrollar tecnologías con fuentes de energía renovables como lo es el sol, para impulsar y sustentar de una mejor manera el manejo del recurso hídrico. El presente estudio se realizó en la Universidad Politécnica de la Región Laguna, comprendió los meses de enero-marzo de 2017, se desarrolló un prototipo funcional de un destilador solar con una capacidad para 18 000 ml de los cuales se obtuvo un destilado máximo después de 4 días de 117 ml. Se incrementó el oxígeno disuelto en un 55.8% en comparación con la muestra original, disminuyendo también la alcalinidad al encontrar menor concentración de algunas sales y reduciendo el pH hasta 7.3, así como eliminar olores y colores no deseables cumpliendo con la calidad requerida para estos parámetros establecidas en la NOM-127-SSA1-1994.

Palabras claves— alcalinidad, calidad, destilación, pH.

Abstract— Water is one of the essential resources for development of different types of life, it is important to develop technologies with renewable energy sources such as the sun, to boost and better support the management of water resources. The present study was carried out at the Universidad Politécnica de la Región Laguna, since January to March 2017, a functional prototype of a solar distiller with a capacity of 18 000 ml was developed, of which a maximum distillate was obtained after 4 days of 117 ml. The dissolved oxygen increased by 55.8% in comparison with the original sample, also decreasing the alkalinity by finding a lower concentration of some salts and reducing the pH to 7.3, as well as eliminating odors and undesirable colors, complying with the quality required for these parameters Established in NOM-127-SSA1-1994.

Keywords— alkalinity, quality, distillation, pH.

X. INTRODUCCIÓN

El agua es importante para todo tipo de actividades humanas, como por ejemplo la salud pública. En 2015 el 91 % de la población mundial contaba con acceso a fuentes mejoradas de agua potable, por lo que 663

millones de personas se abastecen de fuentes no mejoradas (OMS, 2017).

Dos terceras partes del territorio mexicano es considerado árido o semiárido, del volumen total de agua el 67 % a la industria, mientras solo el 10 % al uso de la agricultura (OECD, 2017). De acuerdo a los índices estandarizados de sequía (SI), en agosto de 2015, se muestra un área afectada del 15.54% con sequías extremas (CONAGUA, 2017).

Las cuencas centrales del norte del país presentan una calidad aceptable con un 26.1% y un 43.5% contaminada para al indicador DBO₅ y DQO respectivamente. Esta cuenca cuenta con 4.47 millones de habitantes con 78 municipios y 8 064.7 hm³ año⁻¹ de agua renovable. El 87% del uso es agrícola, el cual corresponde a 3 272 hm³ año⁻¹, del que solo se potabiliza el 12.92 hm³ año⁻¹, obteniéndose una eficiencia de potabilización del 72% (CONAGUA, 2014).

En 2014 se trataron 111.3 m³ s⁻¹ de aguas residuales, en 2 337 plantas municipales. De las cuales solo el 7.6% fueron tratamientos no convencionales por lo que es conveniente desarrollar tecnologías alternativas (CONAGUA, 2015).

Una tecnología alternativa son los destiladores solares, ya que son conocidos como procesos purificadores (CAZALAC, 2013) y desaladores de agua (Marchesi *et al.*, 2006), los cuales aprovechan la radiación solar, alcanzando altas temperaturas, condensándolas y recolectándola por gravedad hacia un depósito en la que será evaluada su calidad.

En la evaluación de la calidad del agua, el oxígeno disuelto juega un papel importante, en concentración inferior a 4 mg l⁻¹ se considera hipoxia donde la mayoría de los organismos sensibles empiezan a desaparecer.

El potencial de hidrógeno (pH) es un indicador de la cantidad de sales disueltas en el agua por lo que es importante monitorearlo así como la cantidad de sales presentes en la muestra de agua. Por lo que es de importancia darle un tratamiento eficiente y económico para dar un uso sustentable al agua de la Región Laguna. El objetivo del presente trabajo es mejorar la calidad del agua superficial con un tratamiento a base de radiación solar.

¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna, Calle Sin Nombre Sin Número Ejido Santa Teresa, C.P. 27948 Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila. Ciudad, Estado, País.

*alvaro87tomas@hotmail.com

XI. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Método

El experimento se realizó durante los meses de enero-marzo de 2017 en la Universidad Politécnica de la Región Laguna (UPRL) ubicada en el ejido de Santa Teresa, municipio de San Pedro, Coahuila, a los 25° 46' 57" de latitud Norte y 103° 11' 37" de longitud Oeste con una altura de 1,150 msnm con una precipitación pluvial inferior a 260 mm y la temperatura media anual es de 22.1°C (Flores-Sánchez *et al.*, 2015).

El agua utilizada es procedente de la ciudad de San Pedro de las Colonias, del área conocida como "La Vega", la cual es una depresión natural, en la que se acumula agua procedente de flujos superficiales de agua de lluvia y por gravedad desemboca en esta depresión formando este cuerpo de agua, presentó las características que se muestran en la Tabla I, el muestreo se realizó el 13 de enero, 16 de febrero y 31 marzo de 2017, las muestras fueron obtenidas a tres profundidades a 100, 50 y 20 cm, se homogeneizaron, almacenaron y analizaron en un lapso menor a 8 horas y fueron cerradas cuidadosamente en un contenedor para no modificar el contenido de oxígeno disuelto de acuerdo a la NOM-AA-12-1980.

En el diseño del prototipo se tomó como base del reportado por Marchesi *et al.*, 2008. Para este estudio el material utilizado en el desarrollo del destilador solar fue de vidrio de 6 mm de espesor, con un área de 30 x 30 cm. Se colocó una tapa en la parte superior unida a las paredes laterales, la primer pared de 30 cm de altitud, en la cual se instaló una entrada para el afluente de agua muestra, evitando la perdida de agua evaporada con un tapón de hule número 7, a esta misma pared se le adhirió una regla de plástico transparente de 30 cm para registrar la evaporación diaria en mm. La otra pared constó con una altura de 10 cm, a la que se le instaló una canaleta de PVC de 9 x 6.5 cm en la parte superior unida a la tapa, con la finalidad de recolectar el agua condensada para posteriormente verificar los parámetros de calidad, en la Figura 1 se muestra el esquema del destilador solar.

Los parámetros de calidad del agua evaluados en esta investigación fueron el oxígeno disuelto y pH con un multímetro marca YSI MultiLab 4010(P)-1, la concentración de sales Ca⁺², Cl⁻¹ y HCO₃⁻¹ (volumetría). Se utilizó un termómetro de mercurio marca Brannan de -10 a 120°C para registrar las temperaturas ambientales a las 8 y 15 horas. La destilación se llevó a cabo por cuatro días en los cuales se introdujo un volumen inicial 1 300 ml.

TABLA I

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE "LA VEGA" ANTES DE LA DESTILACIÓN SOLAR.

Fechas de muestreo	pH	Color/Olor	OD	Ca ⁺	Cl	HCO ₃ ⁻
				mgL ⁻¹		
13 de enero	8.80	Verde/fétido	8.02	336	80.5	35
16 de febrero	8.45	Verde/fétido	7.04	174	78.1	85
31 de marzo	8.15	Verde/fétido	4.02	218	127.8	51

pH = potencial de hidrógeno; Ca = calcio (volumetría); Cl = cloruros (volumetría), HCO₃ = bicarbonato (volumetría); OD = oxígeno disuelto.

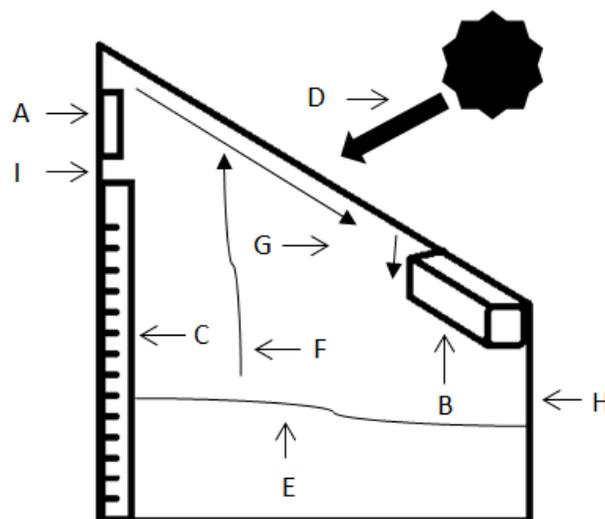


Figura 1. Prototipo de destilador solar en la UPRL. A= Afluente; B= Efluente; C= Regla graduada (mm); D= Radiación solar; E= Agua muestra; F= Vapor de agua; G= Condensación de agua; H= Pared de 10 cm; I= Pared de 30 cm

XII. RESULTADOS

En la Tabla II se observa los valores finales de las variables analizadas en donde se aprecia una mejora en el tratamiento con la destilación solar, incrementando en un 55.8% el OD, con un valor de 7.2 mg L⁻¹. Con respecto al pH disminuye en comparación con la muestra inicial de 8.15 a 7.3 donde los valores de una alta alcalinidad descienden casi a obtener un pH idóneo, el agua destilada obtiene un rendimiento promedio de 22.5 ml día⁻¹ como se muestra en la Tabla III, con temperaturas variables por día como (Figura 2), obteniéndose un máxima de un 9% en un periodo de 4 días. Durante la destilación (Figura 3) se apreciaron la desaparición del color verde y el aroma, característico de los grupos aminados (1,4-diaminobutano y 1,5-diaminopentano) procedentes de la descomposición de la materia orgánica desaparecen. El calcio disminuye en un 92.67%, al igual que los cloruros con 96.4% y el bicarbonato con 98.44%.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE “LA VEGA” ANTES Y AL FINALIZAR LA DESTILACIÓN SOLAR.

Fechas de muestreo	pH	Color/Olor	OD	Ca ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
			-----		mgL ⁻¹	-----
31 de marzo	8.15	Verde/fétido	4.02	218	127.8	51
03 de abril	7.3	Incolora/inodora	7.2	16	4.61	0.8

pH = potencial de hidrógeno; Ca = calcio (volumetría); Cl = cloruros (volumetría), HCO₃ = bicarbonato (volumetría); OD = oxígeno disuelto.

TABLA III
RENDIMIENTO AL FINALIZAR LA DESTILACIÓN SOLAR 2017.

Volumen obtenido	Fechas de muestreo			
	31/03	01/04	02/04	03/04
ml	29.25	58.5	87.75	117
%	2.25	4.5	6.75	9

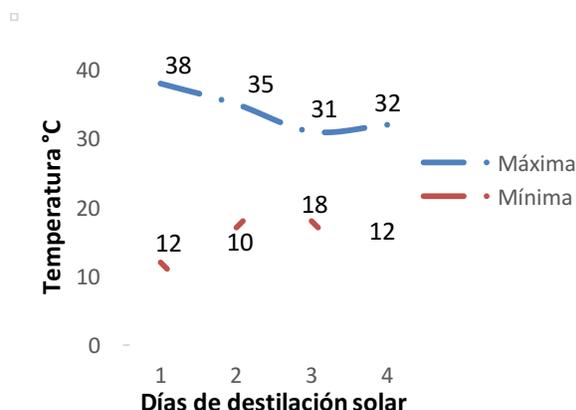


Figura 2. Variación de temperatura durante la destilación.



Figura 3. Prototipo de destilador solar de la UPRL en proceso de destilación.

XIII. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El OD se incrementó lo cual es deseado ya que se requieren concentraciones de OD 4 mg L⁻¹, favoreciendo el desarrollo de actividades antropogénicas como algunos peces de interés comercial (Zarza *et al.*, 2006), el pH muestra valores similares a los encontrados por Quipuzco L., 2012 en otros tratamientos de agua. Los valores de cloruros después del tratamiento están muy por debajo del límite permisible para consumo humano que son de 250 mg L⁻¹, así como el color y olor también satisfacen a lo recomendado por los estándares europeos de la calidad del agua potable de acuerdo a la OMS (2006) y la NOM-127-SSA1-1994. La concentración de bicarbonatos en este tipo de tratamiento no se ve afectada lo que enfatiza una de las bondades de este tratamiento físico, ya que existen tratamientos que modifican la composición química (Cajigas *et al.*, 2005) o implican un grado de tecnificación y mayor uso de recursos para obtener resultados similares (Varila y Díaz, 2008).

El uso de otras tecnologías para el tratamiento de aguas han demostrado su eficiencia para incrementar la calidad del agua, la ventaja de cada tecnología depende de las condiciones regionales del sitio de estudio se recomienda continuar el estudio de la destilación solar, por la nula aplicación de energía antropogénica para este proceso aprovechando las altas temperaturas de las zonas áridas y semiáridas.

XIV. REFERENCIAS

- [1] OMS. Organización Mundial de la Salud. Nota descriptiva. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- [2] CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Monitor de Sequía Multivariado en México (MoSeMM). Disponible en: <http://www.gob.mx/conagua/documentos/monitor-de-sequia-multi-parametrico-de-mexico-mosemm?idiom=es>
- [3] OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. Disponible en: <https://www.oecd.org/mexico/Water-Resources-Allocation-Mexico.pdf>
- [4] CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México edición 2014. [en línea]. pp. 51, 52, 183. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- [5] CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México edición 2015. [en línea]. pp. 129, 131. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>
- [6] CAZALAC. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. 33, pp. 23.
- [7] Marchesi, J., Ducculi, E., Adaro, J. y Fasulo, A. (2006). Destilación solar en la U.N.R.C. construcción y primeros resultados. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 10, pp. 32-37.
- [8] Flores-Sánchez, B.; Segura-Castruita, M. Á.; Fortis-Hernández, M.; Martínez-Corral, L.; Aldaco-Nuncio, R. A. y Orozco-Vidal, J. A. 2015. Enmiendas de estiércol solarizado en la estabilidad de

- agregados de un Aridisol cultivado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6 (7), pp. 1543-1555.
- [9] Marchesi, J., Ducculil, E., Adaro, J. y Fasulo, A. (2008). Comparación del rendimiento de un destilador solar de batea básico respecto de un destilador asistido térmicamente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 12, pp. 63-69.
- [10] Zarza-Meza, E. A.; Berruecos-Villalobos, J. M.; Vásquez-Peláez, C.; Álvarez-Torres, P.; (2006). Cultivo experimental de robalo *Centropomus undecimalis* y *Chucumite Centropomus parallelus* (Perciformes: *Centropomidae*) en estanques rústicos de tierra. *Ciencias Marina*. 32(2), pp. 219-227.
- [11] Quipuzco Ushñahua, L. (2012). Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica. 5(10). pp. 52-57.
- [12] OMS. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. (2006). [en línea]. pp. 183, 185. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full1_1_owsres.pdf?ua=1
- [13] Cajigas C.; Alvaro A.; Pérez V., Andrea y Torres L., Patricia. (2005). Importancia del ph y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Scientia Et Technica*, XI (27), pp. 243-248.
- [14] Varila-Quiroga J. A.; Díaz-López F. E. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*. 7(2), pp. 21-28.



hídrico.

De la Paz-Robles Luis Carlos. San Pedro de las Colonias, Coahuila, 02 de octubre 1996. Después el historial académico. Cursa la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental de la UPRL.

El actualmente cursa la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental de la UPRL. Ejido Santa Teresa, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. Manejo sustentable del recurso

XV. BIOGRAFÍA



Cervantes-Vázquez, Tomás Juan Álvaro.

Torreón, Coahuila, 07 de marzo de 1987. Ingeniero Bioquímico, Escuela de Ciencias Biológicas de la U. A. de C. Torreón, Coahuila, México, 2009. Maestría en Agricultura Orgánica Sustentable. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Gómez Palacio, Durango, México, 2012.

El actualmente labora en la Universidad Politécnica de la Región Laguna (UPRL). Ejido Santa Teresa, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. Manejo sustentable de recursos naturales.

M.C. Cervantes.



Calderon-Lobaro Rey David. Gómez Palacio Durango, 30 mayo de 1984. Ingeniero Bioquímico, Escuela de Ciencias Biológicas de la U. A. de C. Torreón, Coahuila, México, 2007. Maestría en Ciencias en Biotecnología Genómica. Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional, boulevard del maestro s/n, col Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México, 2009.

El actualmente labora en la Universidad Politécnica de la Región Laguna (UPRL). Ejido Santa Teresa, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. Manejo sustentable de recursos naturales. Manejo sustentable de recursos naturales.

M.C. Calderón.

Evaluación de tres diferentes sustratos para el desarrollo de Lombriz Roja californiana (*Eisenia Foetida*)

S.A. Vidaña –Martínez^{1*}, M. Hernández Lopéz¹, A.Y. Muro-Jiménez³

Resumen—En este proyecto se evaluarán tres diferentes sustratos para la reproducción y desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida* (Roja Californiana), utilizando como sustratos estiércol de: bovino, cabra y caballo. Se realizaron tres repeticiones de cada sustrato, en cajas de plástico, con tres kilogramos de estiércol cada una y se colocaron 8 lombrices adultas. A estos tratamientos se le monitorearon los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, temperatura, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de nitrógeno, porcentaje de relación carbono/nitrógeno. Al transcurrir 35 días de la aplicación de las lombrices se realizó un conteo para ver la cantidad de lombrices que se reprodujeron durante ese tiempo. Como resultado el mejor sustrato como alimento para la reproducción y desarrollo de la lombriz fue el estiércol de caballo, ya que se obtuvieron 102 lombrices adultas y 16.67 cocones. La lombricultura es una opción sustentable de utilizar los residuos orgánicos generados en la región para la generación de composta, la cual puede ser utilizada como abono orgánico para incrementar la fertilidad de los suelos.

Palabras claves—Evaluación, Sustratos, Desarrollo, Lombriz Roja Californiana

Abstract— In this project three different substrates for the reproduction and development of the *Eisenia foetida* (Red California) worm will be evaluated using bovine, goat and horse manures as substrates. Three replicates of each substrate were made in plastic boxes with three kilograms of manure each and 8 adult worms were placed. To these treatments the following parameters were monitored: pH, electrical conductivity, temperature, percentage of organic matter, percentage of nitrogen, percentage of carbon / nitrogen ratio. After 35 days of the application of the worms, a count was made to see the number of worms that were reproduced during that time. As a result, the best substrate as food for the reproduction and development of the worm was horse manure, since 102 adult worms and 16.67 cocons were obtained. The vermiculture is a sustainable option to use the organic residues generated in the region for the generation of compost, which can be used as organic compost to increase the fertility of the soils.

Keywords— Evaluation, Substrates, Development, California Red Worm

XVI. INTRODUCCIÓN

El aumento en la cantidad de residuos orgánicos generados por actividades antropogénicas ha provocado un impacto negativo a la salud y al medio ambiente, ya que estos no tienen una disposición final adecuada. La búsqueda de soluciones que posibiliten el reciclaje de los desechos orgánicos, constituye una dominante necesidad para un adecuado desarrollo tecnológico y cuidado del medio ambiente.

Una opción para el tratamiento y la utilización de residuos es la de implementar la lombricultura como técnica biotecnológica que permite utilizar lombrices con el propósito de reciclar desechos orgánicos y transformarlos en un abono de alto valor agronómico, contribuyendo a la conservación del suelo. (Duran, 1995).

La lombricomposta tiene algunas características físicas y químicas bien definidas: material oscuro, agradable olor, su bioestabilidad evita la fermentación o putrefacción, alta carga enzimática y bacteriana que promueve la solubilidad de elementos nutritivo que facilitan la absorción radicular, mantiene los minerales disponibles evitando la lixiviación y favorece la germinación y el desarrollo de plantas (Moreno, 2005).

El proceso de reproducción de las lombrices de tierra, en hábitats artificiales, tiene amplias perspectivas, con el fin de encontrar alternativas ecológicas con lo cual se pueden solucionar problemas agobiantes. Además, mediante su explotación se generan excelentes ingresos económicos que provienen de la comercialización de la lombriz y de la lombricomposta. (Ortiz, *et al* 2008).

Las familias de lombrices comúnmente utilizadas para llevar a cabo el lombricomposteo son: *Eisenia foetida* y *Lumbricus rubellus*. La crianza de estos animales requiere de un mínimo esfuerzo por parte de quienes se interesen en su manejo y reproducción (Paoletti, 1999)

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez. Lerdo 35150. Cd. Lerdo, Durango, México. (advi_66@hotmail.com)

En México la agricultura y la ganadería producen grandes cantidades de desechos orgánicos que son desperdiciados. En la ganadería estos desechos se generan principalmente en establos lecheros, granjas porcinas, y rastros, en forma de excrementos.

En la actualidad la Comarca Lagunera es la cuenca más importante del país y de Latinoamérica, con más de 300 establos tecnificados, y con aproximadamente 200, 000 cabezas de ganado lo cual hay un promedio de producción de 2'000,000 de litros diarios de leche. Esto deriva la generación de alrededor de 1'000,000 de kg/día de estiércol base seca, por lo que este tiene que ser tratado. (SAGARPA, 2000)

El censo de ganado lechero en la Comarca Lagunera del 2012 arrojó números redondos de 443,000 animales y de estos 249,000 están en producción, el resto es crianza y ganado seco. (SAGARPA, 2012)

En el año 2009-2012 según el Programa Nacional para la Prevención y Gestión integral de Residuos (PNGIR) se obtuvieron cifras de la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de 94,800 toneladas/día; 34.6 millones toneladas/año los cuales se representan de la siguiente manera:

- 53% de residuos orgánicos
- 47% Inorgánicos: 28% de estos son reciclables y el 19% no son aprovechados.

En el presente proyecto se consideró como objetivo evaluar el comportamiento reproductivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en diferentes sustratos orgánicos bajo las condiciones que prevalecen en la Comarca Lagunera.

XVII. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Localización del estudio.

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

B. Pre-composteo de los Residuos Orgánicos

La actividad inició en diciembre del 2016 con la recolección del estiércol y fue proporcionado por la Granja los Eucaliptos del ejido 13 de marzo de Gómez Palacio

Dgo. Se realizó el pre-composteo de tres diferentes sustratos (estiércol: bovino, caballo y cabra) con una duración de tres meses iniciando el primero de enero del 2017 y finalizando el 24 de abril del 2017. Una vez obtenido el sustrato pre-compostado se dio inicio a la instalación de los tratamientos.

C. Selección de especie.

Para medir el comportamiento reproductivo de la lombriz de tierra, se utilizaron lombrices de la especie *Eisenia foetida*, la cual es una de las especies más comúnmente utilizadas para realizar el lombricomposteo, debido a que estas lombrices crecen más rápido, se mantienen más saludables, viven más tiempo, y se reproducen a mayor velocidad (Paoletti, 1999)

D. Procedimiento

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

E. Variables Evaluadas y Diseño Experimental

En este estudio se evaluaron los parámetros necesarios para la reproducción y generación de lombricomposta durante el periodo de diciembre del 2016 a mayo del 2017. Las variables evaluadas en la lombricomposta y lixiviado fueron: pH por el método potenciométrico, temperatura, conductividad eléctrica por el método Electrométrico, porcentaje de humedad (SPARK), porcentaje de Nitrógeno por el método Kjeldahl (Jones, 2001), porcentaje de materia orgánica por el método Walkley y Black.

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

XVIII. RESULTADOS

Temperatura

Las temperaturas registradas durante el experimento oscilaron entre los 28° y 29°, sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los sustratos. De acuerdo a Martínez Cerdas 2017, la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo de las lombrices es de 25°C, Hernández *et al.*, 2000) menciona que la temperatura ideal es de 30°C, y Díaz (2002) afirma que la temperatura optima esta entre los 25°-40°C. Por lo que las condiciones fueron adecuadas para el experimento.

pH

Este parámetro presento diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los sustratos (cuadro 1). Obteniendo los siguientes pH: $T_1 = 8.7$, $T_2 = 8.2$, $T_3 = 8.1$. Siendo el de mayor significancia el T_2 y T_3 con un pH de 8.1 Y 8.2 respectivamente, ya que según (Ravera y De Sanzo 1999; Frederickson y Ross-Smith, 2004) consideran un pH óptimo de 6.5-7.5, quedando estos ligeramente por encima del rango óptimo. Para el estiércol de vaca (T_1) mostró una mayor alcalinidad (8.7), este pH es mayor al señalado como óptimo. Se puede considerar que nuestros rangos de pH se encuentran en niveles óptimos según Hernández y Rodríguez *et al.* (2009) afirman que el pH ideal para la reproducción de la lombriz es de 8.5-9.0.

C.E (dS m⁻¹)

La conductividad eléctrica resultó significativamente diferente ($p < 0.05$) para los sustratos. El estiércol de vaca (8.35 dS m⁻¹) tuvo un valor mayor, el de cabra con (1.66 dS m⁻¹) éste fue el que presento menor conductividad. El estiércol de caballo (2.41 dS m⁻¹), se encontró dentro del nivel óptimo (cuadro 1). Mejía Araya, 2017, afirma que la conductividad eléctrica ideal es de 2.5 dS m⁻¹, para un nivel adecuado es de 3.0 dS m⁻¹ y si sobrepasa el 8.0 dS m⁻¹ hay peligro de muerte de las lombrices.

% HUMEDAD

En este factor no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los sustratos ya que la humedad registrada durante el experimento fue de 73-79% (cuadro 1). Mejía Araya 2017, afirma que la humedad óptima es del 75%, el nivel adecuado es del 70-80%, menciona que la humedad

es vital para la supervivencia de la lombriz, Díaz (2002) afirma que el estiércol retiene del 60-70% de agua.

CUADRO I.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA REPRODUCCIÓN DE LOMBRIZ EISENIA FOETIDA.

TRATAMIENTO	TEMP (°C)	PH	CE (mS)	H %
T ₁	29 a*	8.7 b	8.353 c	79.53 a
T ₂	28.933 a	8.267 a	2.4167 a	77.6 a
T ₃	28.9333 a	8.1333 a	1.6633 b	73.63 a

*letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, ($p \leq 0.05$). Dónde: T₁= Estiércol de vaca, T₂=estiércol de cabra, T₃=estiércol de caballo, CE= Conductividad Eléctrica, H= Humedad, TEMP= Temperatura.

Materia orgánica

Los mayores niveles de materia orgánica se observan en el estiércol de caballo, mientras que en el estiércol de cabra está un 36.2% por debajo de ellos, (cuadro 2). Por otro lado, Ferruzzi (1987) expresa que toda enmienda utilizada para elaboración de compost de lombriz origina un material con aceptables valores de materia orgánica.

% NITROGENO

Haciendo una comparativa simple, la concentración natural de Nitrógeno en las zonas áridas son menores al 1%, en la lombricomposta fue de 1.01 a 3.61% N, (cuadro 2), siendo este resultado similar al de Vivek y Singh (2000) los cuales obtuvieron una concentración de 2.53% de N y quedando por encima del valor obtenido por Velazco *et al.* (2001) con 1.49% de N. Taiz y Zeiger 1998, afirman que el nitrógeno es uno de los macronutrientes más importantes para el desarrollo de las plantas que normalmente es requerido en concentraciones de 1.5% N.

Relación C/N

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los sustratos, (cuadro 2.). El estiércol de cabra presentó una mayor relación C/N (35.433) seguido por el de vaca (17.4), mientras que el de caballo presenta (15.9). Estos resultados concuerdan con los reportados por Soto (2004), pero fueron más altos que los reportados por Guadarrama y Taboada (2004).

CUADRO II.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA REPRODUCCIÓN DE EISENIA FOETIDA.

TRATAMIENTO	M.O %	N %	C/N %
T1	98.6 a*	3.617 a	35.433 c
T2	75.933 b	2.56 b	17.4 b
T3	61.907 c	1.0133 c	15.9 a

*letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, ($p \leq 0.05$). Dónde: T1=Estiércol de vaca, T2=estiércol de cabra, T3=estiércol de caballo, M.O%= porcentaje de materia orgánica, N%= porcentaje de nitrógeno, C/N%= porcentaje de carbono/nitrógeno.

Conteo de lombrices y cocones

El conteo de lombrices se realizó el 02 de Junio del 2017, transcurridos 35 días no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0.05$), aun cuando T₃ presento en forma poca significa hasta el momento una mayor reproducción de las lombrices (Cuadro 3)

El conteo de cocones se realizó la misma fecha que el de las lombrices, de acuerdo a los resultados obtenidos (cuadro 3), por la prueba de comparaciones en parejas de medias Tukey (95%, no hay diferencia significativa entre el número de cocones por tratamiento). Aún sin ser significativo estadísticamente, en el tratamiento T₃ se encontró el mayor de numero de cocones, encontrando una relación de 16.67 cocones/mes. Según Cristales, 1997, la máxima producción reportada de cocones de *Eisenia foetida* ha sido encontrada de 466 cocones provenientes de 10 lombrices adultas en 3 meses; de estos capullos nacieron 2,150 lombrices y señalando en 3 meses el período de máxima producción de cocones. La producción de cocones está fuertemente influida por la T°; la producción se incrementa, con el incremento de la T°, siendo mayor en *Eisenia foetida* a T° constante de 25 °C.

CUADRO III.

CONTEO DE LOMBRICES Y COCONES EN LOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA REPRODUCCIÓN DE EISENIA FOETIDA.

TRATAMIENTO	LOMBRICES No.	COCONES No.
T ₁	10.00 a*	5.00 a
T ₂	91.7 a	2.667 a
T ₃	102.0 a	16.67 a

*letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, ($p \leq 0.05$). Dónde: T1=Estiércol de vaca, T2=estiércol de cabra, T3=estiércol de caballo.

XIX. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El crecimiento y reproducción de la lombriz *Eisenia foetida* están directamente relacionados con el tipo de sustrato en el cual vive y se desarrolla.

Los resultados sugieren que el mejor sustrato para la alimentación, adaptación, reproducción de la lombriz roja californiana es el T₃, que es 100% estiércol de caballo se obtuvieron 102 lombrices adultas y 16.67 cocones. Se lograron mantener las condiciones ideales en cada uno de los tratamientos para la reproducción de la lombriz *Eisenia foetida* las cuales se mantuvieron en los rangos óptimos con temperaturas de 25 a 30°C, pH de 8.1 a 8.7, porcentaje de humedad del 79%, Conductividad eléctrica de 1.66 a 8.3 dSm⁻¹, porcentaje de materia orgánica del 61.90 a 98.6%, porcentaje de nitrógeno que fue del 1.01 al 3.6%, porcentaje en relación carbono/nitrógeno del 15.9 a 35.43%.

Aunque en el programa estadístico la diferencia no es significativa, hay diferencias notables a simple vista con respecto al desarrollo de las lombrices, por lo que se harán nuevos conteos posteriormente, donde las proyecciones de crecimiento puedan apreciarse en forma significativa de acuerdo a las proyecciones hechas conforme a la experiencia.

XX. AGRADECIMIENTOS

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

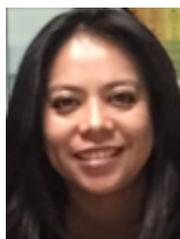
Al Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), por la aportación de la Lombriz *Eisenia Foetida* (Roja Californiana).

XXI. REFERENCIAS

- [15] Contreras. J.L, Rojas. J, Acevedo. I, Adams. M 2014 Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicomposta de pergamino de café y estiércol de bovino. Rev. Fac. Agron (LUZ). 2014, Sumpl. 1:489-509.
- [16] Díaz E.: Guía de Lombricultura, Lombricultura una alternativa de producción, para emprendedores y productores del agro. ADEX, Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de la Rioja.
- [17] Duran, GB. 1995 Efecto de la incorporación de lombriz de tierra (*Eisenia fetida* Sav.) y estiércol de bovino en el suelo sobre la producción de materia seca de espinaca (*Spinacia oleracea* L.). Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Agroecología. Chapingo, México.

- [18] Frederickson J., Ross-Smith S. 2004 Vermicomposting of precomposted mixed fish/shelfish and green waste.
- [19] Ferruzzi, C. 1987. Manual de lombricultura. Madrid. España. Ed. Mundiprensa. p. 138.
- [20] Guadarrama R. O. y Taboada S. M. 2004. La Lombricultura, una Propuesta al Medio Rural. Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. Guadalajara, Jal. Méx.
- [21] Hernández, D.: Lombricultura contra contaminación ambiental. Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional. Universidad Nacional de Costa Rica, ciudad (2002).
- [22] HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, O. A., C. Vences-Contreras, D. L. Ojeda-Barrios, M. M. Barrios-Burrola y C. H. Chávez-González. 2009. Tasa de emergencia de lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) bajo tres enmiendas orgánicas. *Tecnociencia Chihuahua* 3(3) 147-153
- [23] Moreno, A., 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies vegetales. *Revista Agraria* 2: 15-23.
- [24] Ortiz Mejiaz, J. A.; Rodríguez Lopez, J. S.; Arreola Ávila, J. G.; Méndez Rivera, J. S.; Santamaría Cesar, E.; Cisneros Vazquez, J. M. COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) EN DIFERENTES SUSTRATOS Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. VII, núm. 1, 2008, pp. 15-19 Universidad Autónoma Chapingo Durango, México.
- [25] Pedro Mejía Araya, Manual de Lombricultura, Agroflor. Kilometro 8.3- camino Villarrica Loncoche-Fono. www.lomfrigorflor.cl fecha de consulta: 06 de Junio del 2017.
- [26] Paoletti, M.G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74:137-155.
- [27] Programa Nacional para la Prevención y Gestión integral de Residuos (PNGIR) 2009-2012. Cifras de Generación de residuos urbanos (RSU)
- [28] Ravera A. R. y De Sanzo, C.A. 1999. Como Criar Lombrices Rojas Californianas, Programa de Autosuficiencia
- [29] REINES, A., M; J.I. Simón Zamora; A. Ibarra Valenzuela; B. Castro Medina. 2008. Memoria del III Curso Internacional de Agricultura Orgánica. Eco-Agro un paso más. 7 al 11 de mayo de 2008, Guamúchil, Sinaloa, México. 93 pp.
- [30] Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ,1990-2000, Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Leche de Ganado Bovino en México.
- [31] Max Jones J, Ochoa Ochoa F.Sjerwell Cabello Cruz Fernández C, 2012. Proyecciones para el Sector Agropecuario de México. (SAGARPA)
- [32] SCHULD, M.; R. Christiansenz; L. A. Scatturiez; J. P. Mayo. 2005. Pruebas de aceptación de alimentos y contraste de dietas en lombricultura. *Rev electrónica de veterinaria REDVET* 6(7) 12 p.
- [33] Soto M. G. 2004. Regulaciones en la producción y uso de abonos orgánicos. Buenos Aires, Argentina.
- [34] Taiz, L. y E Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. P. O. Box 407.23 Plumtree , Road, Sunderland, MA, 01375 U.S.A. 792p. Fecha de consulta: 14 Junio Del 2017.
- [35] Vivec Kumar, K.P. Singh. (2000). Enriching vermicompost by nitrogen rxing and phosphate solubilizing bacteria. *Bioresource Technology* 76 (2001) 173±175
- [36] Velasco Velasco J, Ferrera Cerrato R, Almaraz Suárez J.J.(2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y azospirillum brasilense en tomate de cascara. *Terra volumen 19 numero 3*, 2001.

XXII. BIOGRAFÍA



Vidaña Martínez, S. A. nació el 6 de junio en la Ciudad de Durango. Cursó estudios de Ingeniería Química y Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica el año 2003 en el Instituto Tecnológico de Durango, en la Ciudad de Durango, Dgo. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en Cd. Lerdo, Durango, México donde se desempeña como docente en la división de Ingeniería Ambiental.



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



Ana Yadira Muro Jiménez nació en la ciudad de Lerdo Durango el 16 de Enero de 1993. Actualmente es aspirante a egresar de la carrera de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la ciudad de Lerdo Durango, México, 2017.

Construcción de un Lombricario para la Reproducción de lombriz “*Eisenia Foetida*” y Generación de Vermicomposta

M, Hernández-López.^{1*}, S.A, Vidaña-Martínez,¹, De la Rosa-Lugo, S.²

Resumen—En la actualidad la generación de residuos orgánicos generados por comercios, industria, hogar, etc., representan un problema ambiental, por lo que una de las preocupaciones actuales es su tratamiento, que implica la disposición, transformación y un adecuado aprovechamiento de los mismos. La Comarca Lagunera representa una de las cuencas lecheras más importantes, el estiércol generado por las vacas presenta un reto para su aprovechamiento, por lo que la propuesta en este proyecto es la construcción de un lombricario en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo para la reproducción de lombriz *Eisenia Foetida* (Roja californiana), la generación de vermicomposta y lixiviado a partir de residuos orgánicos (estiércol de Bovino, hojarasca y pasto). Se construyó el lombricario de acuerdo a especificaciones dadas en la literatura, se incorporó el sustrato y la lombriz y se mantuvieron controlados diversos parámetros (Temperatura, Humedad, pH), para garantizar la reproducción de la lombriz y se evaluó con diversas pruebas de laboratorio la calidad de la vermicomposta obtenida. A partir de los resultados obtenidos se concluye que el vermicompostaje es una opción viable para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la industria ganadera.

Palabras claves— Residuos, Vermicomposta, Lixiviado Lombriz *Eisenia Foetida*,

Abstract— Currently the generation of organic waste generated by businesses, industry, home, etc., represents an environmental problem, so one of the current concerns is its treatment, which involves their disposal, transformation and proper use. The Comarca Lagunera represents one of the most important dairy basins, manure generated by cows presents a challenge for its use, so the proposal in this project is the construction of a worm-container in the facilities of the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo for the reproduction of *Eisenia Foetida* worm (Californian Red), the generation of vermicompost and leachate from organic residues (Bovine manure, litter and grass). The worm was constructed according to specifications given in the literature, the substrate and the worm were incorporated and various parameters (Temperature, Humidity, pH) were maintained to guarantee the reproduction of the worm and was

evaluated with various laboratory tests. quality of the vermicompost obtained. From the results obtained it is concluded that vermicomposting is a viable option for the use of the organic residues generated in the livestock industry.

Keywords— Waste, Vermicompost, Leachate, Worm *Eisenia Foetida*, Vermicompost.

XXIII. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos orgánicos ocupa un lugar prioritario en cuanto a los problemas a resolver actualmente, las actividades del hombre provocan que la cantidad de residuos sea cuantiosa y en muy pocas ocasiones tienen un tratamiento adecuado que apoye a la sustentabilidad. Los residuos orgánicos durante su proceso de descomposición producen olores desagradables, además de propiciar la presencia de fauna nociva y la contaminación del medio ambiente en general debido a la formación de lixiviados y a la emisión de gases de efecto invernadero.

La Comarca lagunera es la cuenca lechera más importante del país, con más de 2'000,000 de litros diarios de leche dado sus 200,000 cabezas de ganado bovino en producción aproximadamente. Sin embargo para tener ese número de cabezas de ganado bovino se requiere tener ganado de reemplazo y en desarrollo por lo que en total se tiene más de 400,000 cabezas con el principal objetivo de producir leche en la región. Lo anterior deriva en más de 1'000,000 de kilogramos de estiércol base seca, producido por día, por lo que este tiene que ser tratado y dosificado adecuadamente para evitar posible contaminación del suelo y el agua del acuífero subterráneo (SAGARPA, 2000).

De acuerdo a datos obtenidos del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PNPGIR) 2009-2012, se tuvo una generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de 94.800 toneladas/día; 34.6 millones toneladas/anual de estos, de los cuales:

- 53% residuos orgánicos
- 47% Inorgánicos: 28% potencialmente reciclables y 19% no aprovechados

La práctica de la fertilización de suelos en México,

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez. Lerdo 35150. Cd. Lerdo, Durango, México. (moni_herlop@hotmail.com)

hasta algunos años se basaba en el uso de fertilizantes químicos, lo que provocó la marginación de los abonos orgánicos y al mismo tiempo provocó la contaminación de los suelos, por lo que en la actualidad se hace necesario retomar el uso de este tipo de abonos que han sido usados desde tiempos remotos y que han demostrado su influencia sobre la fertilidad de los suelos (López, 2000).

Una opción viable para el tratamiento de residuos orgánicos, de forma particular el desecho del ganado bovino y que además promueve el tratamiento de suelos para aumentar su fertilidad, es el vermicompostaje, que en resumen es un proceso donde la materia orgánica es transformada para formar composta, o abono natural usando la cría de lombrices para la producción de humus a partir de materia orgánica. La función específica de las lombrices es la de alimentarse de la materia orgánica y sus excreciones son lo que se conoce como vermicomposta que es un abono orgánico que posee excelentes características que favorecen el cultivo de todo tipo de plantas, además producen lo que es conocido como ácido húmico que es el lixiviado resultante del proceso de producción de vermicomposta.

La vermicomposta tiene algunas características físicas y químicas bien definidas: material oscuro, agradable olor, su bioestabilidad evita la fermentación o putrefacción, alta carga enzimática y bacteriana que promueve la solubilidad de elementos nutritivos que facilitan la absorción radicular, mantiene los minerales disponibles evitando la lixiviación y favorece la germinación y el desarrollo de plantas. Como funciones adicionales aumenta la resistencia de las plantas contra plagas, enfermedades y organismos patógenos. El humus o lixiviado producido en el proceso de Vermicomposta regenera las características químicas del suelo, mantiene un pH neutro, mejora las características estructurales del suelo amortiguando el efecto de compuestos químicos aplicados y aumenta la retención hídrica, disminuyendo el consumo de agua por cultivos (Moreno, 2005).

De acuerdo a la literatura, se estima que hay en el planeta más de 8500 especies de lombrices, entre las cuales la más conocida es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*); sin embargo para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices especiales, que reúnan ciertos requisitos tales como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad para adaptarse a condiciones adversas. Las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) han sido criadas de forma intensiva desde los años 50 y son consideradas una excelente opción para la obtención de Vermicomposta

debido a su resistencia a factores ambientales y potencial para la reproducción y su capacidad de apiñamiento (Schuldt, 2007). Existe una gran cantidad de aplicaciones que se puede dar al cultivo de lombriz y el uso de la composta generada, se pueden mencionar por ejemplo: el uso de la carne de lombriz con alto contenido proteico dirigido a la industria alimenticia (harina de lombriz para consumo humano y animal), su uso en la industria farmacéutica (colágeno, recuperación de tejidos, mejora de masa muscular, etc.), y el humus de lombriz y la composta en la regeneración de suelos, sólo por mencionar algunos de sus beneficios. (García et col., 2012).

Si se consideran los problemas de contaminación de suelo y agua en la Región Lagunera incrementados por las actividades socioeconómicas de la región generando una gran cantidad de residuos que tratamiento para ser reutilizados, se considera que mediante el lombricompostaje es posible incrementar el valor económico de los mismos, convirtiéndolos en productos que benefician el medio ambiente.

En el presente proyecto se consideró como objetivo la construcción de un lombricario para la reproducción de lombriz *Eisenia Foetida* (Roja californiana) y la generación de vermicomposta y lixiviado a partir de residuos orgánicos (estiércol de Bovino, hojarasca y pasto), los cuales serán aplicados a los jardines del instituto para incrementar la fertilidad del suelo.

Dentro de los beneficios adicionales obtenidos con instalación del lombricario, se encuentra el hecho de que los alumnos de la carrera de Ingeniería Ambiental del ITS Lerdo participen en proyectos de su interés y que involucren las asignaturas para ser aplicadas en un proyecto de investigación que contribuya al mejoramiento de suelos.

XXIV. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Localización del sitio

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

B. Pre-composteo de los Residuos Orgánicos

Esta actividad se llevó a cabo el 8 de agosto del 2016 con la recolección del estiércol de Bovino donado por la

Granja Los Eucaliptos ubicada en el Ejido 13 de Marzo y la acumulación de hojarasca y pasto generados en el ITSL. Se mezclaron en proporción de 70 % estiércol 15% hojarasca y 15% de pasto, se manejaron riegos cada tercer día por un periodo de 3 meses finalizando en el mes de febrero.

C. Construcción del lombricario

Se realizó una limpieza previa del sitio a ocupar, siendo el espacio utilizado de 5 m de ancho por 10 m de largo, posterior a la limpieza del terreno se niveló el suelo, usando tierra procedente del mismo instituto para rellenar espacios y evitar inundaciones por las lluvias ocasionales.

Para la instalación del cercado se ocuparon 64 tarimas de madera (palet) con dimensiones de 1.10 m de alto por 0.90 m de ancho, las cuales se unieron con pijas negras para madera de 3" 1/2 empataándose en una fila alrededor del terreno a usar, después se repitió el procedimiento pero en esta ocasión arriba de las primeras formando así paredes de 3.6m de ancho por 7.6 m de largo, dejando un espacio de 0.90 m de ancho por 2 m de altura para una puerta la cual fue realizada del mismo material, se pijo un par de bisagras de forma de libro de 3" y se instaló. Se pintaron las tarimas con pintura vinílica para protegerlas del sol y la lluvia y aumentar su periodo de vida.

En a la instalación de la sombra se utilizó una estructura de PTR calibre 14 de fierro común de 3.6 m de ancho por 7.6 m de largo, con una figura convexa, para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia. Posteriormente se colocó una lona de dimensiones 10 m de largo por 6 m de ancho sobre la estructura de PTR para cubrir el lombricario.

D. Construcción de las camas ó pilas

Se seleccionaron dos espacios para construir las camas de lombriz las cuales se rodearon en forma rectangular por blocks para la construcción de dimensiones 15 cm de ancho por 30 cm de largo y 20 cm de altura, los cuales se afilaron y se acomodaron de tal forma que se formaran dos pilas con una medida de 1.05 m de ancho por 2.55 m de largo y 0.40 m de altura, después con tierra del tecnológico se realizó un declive dentro de las pilas con una caída de 4", ya realizado el declive en la parte interna de las pilas, en el centro de tales se dejó un orificio de 2". Después se cortaron 2 tubos de PVC hidráulicos a la medida de 2.5 m para posteriormente perforarlos a lo largo de los tubos a una distancia de 5 cm, después se colocó un plástico negro, se dobló de tal manera que cubriera todas las paredes interiores de la pila para prevenir contacto con

el suelo (un hule por cama) y evitar problemas de filtración de lixiviado. El tubo de PVC una vez perforado se colocó en el interior de las camas para la recolección del lixiviado, colocando al final un bote enterrado de 20 L de capacidad, en el suelo para la captación de lixiviado.

E. Reproducción de lombriz y obtención de lixiviado

Una vez instaladas las camas en el lombricario, se colocaron los residuos orgánicos pre-composteados y se incorporaron 20 Kg de Lombriz roja californiana las cuales fueron donadas por el Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuario (INIFAP) de la Ciudad de Matamoros Coah. Se realizaron riegos cada tercer día para mantener una humedad adecuada la cual oscila entre 60 y 80%, para aumentar la reproducción de la lombriz y una alta producción de vermicomposta.

F. Variables Evaluadas

En este estudio se evaluaron los parámetros necesarios para la reproducción y generación de vermicomposta durante el periodo de Octubre del 2016 a Marzo del 2017. Las variables evaluadas en la vermicomposta y lixiviado fueron: pH, temperatura, % de humedad (SPAR), % de Nitrógeno por el método Kjeldahl (Jones 2001), % de materia orgánica por el método Walkley y Black.

XXV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se muestra el rango del pH manejado durante la producción de vermicomposta, estableciendo un rango de 8.5 a 9 siendo estos valores ligeramente superiores a los recomendados los cuales oscilan en 6.8 a 7.2 (SAGARPA 2002). Sin embargo Schuldt *et al.* (2005), Reines *et al.* (2008), Hernández-Rodríguez, *et al.* (2009) han afirmado que las condiciones óptimas de pH oscilan en 8.5 y 9 coincidiendo con los valores obtenidos en la vermicomposta obtenida.

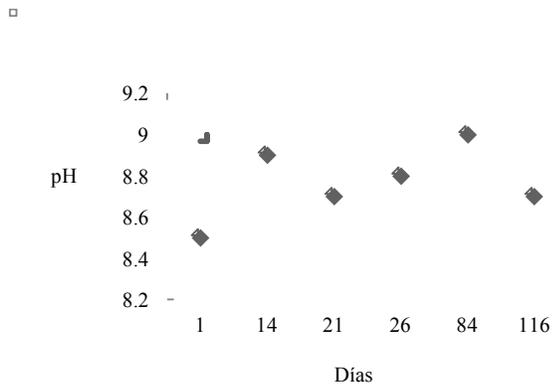


Figura 1. Gráfica de pH durante la generación de vermicomposta

Los valores de humedad manejados en el lecho oscilaron entre 74 a 86% (Figura 2), encontrándose dentro de los valores óptimos para la reproducción de lombriz según Hernández et al., (2006), La humedad es de vital importancia para el desarrollo de la lombriz, debido a que está, tiene una cutícula permeable que hace que pierda agua fácilmente, por lo tanto no debe de bajar la humedad drásticamente Miguel (2008).

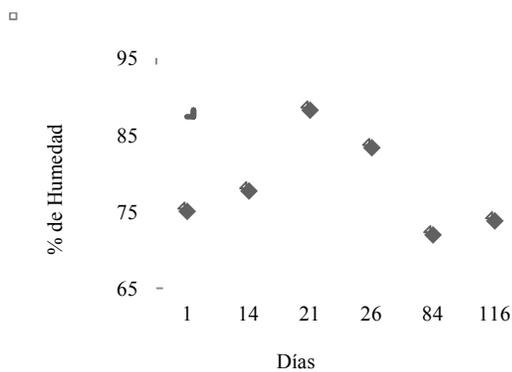


Figura 2. Gráfica del % de humedad durante la generación de vermicomposta

Las temperaturas registradas durante el experimento oscilaron entre 15 y 25 °C, coincidiendo con los valores óptimos establecidos por Barbado (2003) el cual menciona que para un eficiente desarrollo y crecimiento de las lombrices las temperaturas deben oscilar entre los 12 y 25°C.

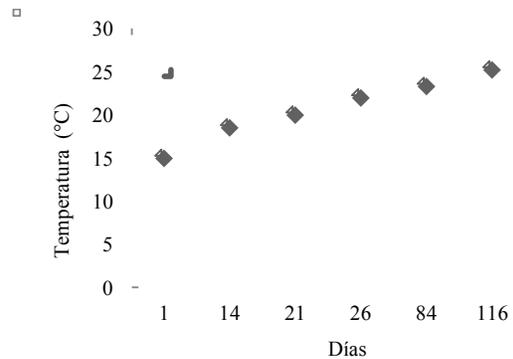


Figura 3. Gráfica de temperatura durante la generación de vermicomposta

La materia orgánica además de tener una afluencia directa sobre la fertilidad del suelo es un factor importante en la presencia y disponibilidad de micronutrientes Roca *et al.*, (2007). Por lo que nuestra muestra presenta un alto contenido de materia orgánica (Cuadro 1), con 75.9%, superiores a los encontrados por López *et al.*, (2013) con un valor de 26.89% en una vermicomposta de aserrín con estiércol de bovino.

En el Cuadro 1 se muestra el contenido de nitrógeno (N) es de gran importancia, ya que representa uno de los macronutrientes más importantes para el desarrollo de las plantas, en nuestra composta obtuvimos una concentración de N de 2.56 %, siendo este resultado similar al de Vivek y Singh (2000) los cuales obtuvieron una concentración de 2.53% de N y quedando por encima del valor obtenido por Velazco *et al.* (2001) con 1.49% de N.

El vermicomposta arrojó una relación C/N de 17.19 (Cuadro 1). La relación C/N es un indicador apropiado para probar estabilidad del material, que facilita la mineralización de la materia orgánica del suelo y suministra nutrientes al suelo. Igualmente, Conteras et al. (2014) reportaron vermicomposta de estiércol de bovino estable, con una relación C/N de 12.5 estando este valor por debajo del nuestro. Así como, Durán y Henríquez (2007) reportaron vermicompostat de solo broza de café y estiércol de C/N baja (9,2 y 10,9, respectivamente).

CUADRO I
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA VERMICOMPOSTA

Variable	Método	Unidad	Valor
pH	1:2		8.7
CE	Pasta de Saturación	dSm ⁻¹	3.5
Humedad	SPAR	%	30
Materia Orgánica	Walkley y Black	%	75.9
Nitrógeno	Kjeldahl	%	2.56
Relación C/N			17.19

La producción de vermicomposta fue de 199 Kg en 116 días (Cuadro II), lo cual coincide con lo obtenido por Fuentes (2002), el cual menciona que cada lecho o módulo, que tiene unas dimensiones de 2x1 metros y se considera como unidad de producción y de manejo, consume anualmente unos 1000 kg de alimento, lo que genera una producción de 600 kg·año⁻¹ de humus de lombriz, cuando el lecho está en etapa de reproducción.

CUADRO II
PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOSTA Y LIXIVIADO

Producto	Unidad	Valor
Vermicomposta	Kg	199
Lixiviado	L	58

XXVI. CONCLUSIÓN

- Se llevó a cabo la construcción de un lombricario en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo logrando la finalidad de este proyecto, el cual consistía en el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por el instituto, mediante la generación de vermicomposta de la cual se obtuvieron 199 Kg y 58 L de lixiviado.
- Se lograron mantener las condiciones ideales para la reproducción de la lombriz *Eisenia Foetida* las cuales se mantuvieron en los rangos óptimos con temperaturas de 15 a 25°C. pH de 8.5 a 9 y porcentajes de humedad de 68 a 86 %.
- La concentración de nitrógeno obtenida en la composta fue de 2.56 % y el contenido de materia orgánica 75.9 %, siendo estos valores suficientes para dar un gran aporte
- El vermicompostaje es una opción sustentable de utilizar los residuos orgánicos para la generación de composta, la cual puede ser utilizada como abono orgánico para incrementar la fertilidad de los suelos.
- Los alumnos de la carrera de Ingeniería Ambiental del ITS Lerdo se involucraron en las diferentes actividades que se llevaron a cabo para la construcción del lombricario y su cuidado.

XXVII. AGRADECIMIENTOS

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

Al Campo Experimental La Laguna, INIFAP, por la donación de la lombriz *Eisenia Foetida* (Roja Californiana).

XXVIII. REFERENCIAS

- [37] Barbado, J. L. (2003). Cría de lombrices, Ed. Albatros, Buenos Aires, Argentina. p. 17- 72.
- [38] Contreras J.L. , Rojas J. , Acevedo I., Adams M. (2014) Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2014, Supl. 1: 489-501.
- [39] Durán, L. y C. Henríquez. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 31(1):41-51
- [40] Fuentes Yagüe J.L. (2002). La crianza de la Lombriz Roja. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid España. ISBN: 84 341 0543. N. I.P.O. 253 ·87·002·0.
- [41] García, M., Navarro, M., Velazquez, C., Velazquez, J., 2012. Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. Estudios agrarios. 217-225.
- [42] Hernández A.J., Prietosemolí S., Faria A., Canelón R., Palma R., Martínez J. (2006). Frecuencia de Riego en el Crecimiento de Lombriz (*Eisenia spp*) y caracterización Química del Vermicompost. Revista UDO Agrícola 6 (1):20-26.2006
- [43] Hernández Rodríguez, O. A., C. Vences-Contreras, D. L. Ojeda-Barrios, M. M. Barrios-Burrola y C. H. Chávez-González. (2009). Tasa de emergencia de lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) bajo tres enmiendas orgánicas. *Tecnociencia Chihuahua* 3(3) 147-153
- [44] López, J., Díaz, A., Martínez, E., Valdez, R., 2000. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*. 19: 293-299.
- [45] López Méndez C, Ruelas-Ayala R.D, Sañudo Torres R.R, Armenta López C, Félix Herrán J.A. (2013). Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *TECNOCENCIA Chihuahua*. Vol. VII, No. 2.
- [46] Miguel Cruz. I. (2008). Tesis variación de la densidad de poblaciones de lombrices de Tierra (*EiseniaFoetida*) y calidad de la vermicomposta en Estiércol caprino. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreón Coahuila. 52 pp.
- [47] Moreno, A., 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies vegetales. *Revista Agraria* 2: 15-23.
- [48] Reine S, A., M; J.I. Simón Zamora; A. Ibarra Valenzuela; B.Castro

- Medina. (2008). Memoria del III Curso Internacional de Agricultura Orgánica. Eco-Agro un paso más. 7 al 11 de mayo de 2008, Guamúchil, Sinaloa, México. 93 pp.
- [49] Roca, N., M. S. Pazos y J. Bech. (2007). Disponibilidad de cobre, Hierro, manganeso, zinc en suelos del no argentino. *Ciencia Suelo* 25(1):31-42.
- [50] SAGARPA (2002). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 6 lombricultura. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>
- [51] Schuldt, M.; R. Christiansen; L. A. Scatturiez; J. P. Mayo. (2005). Pruebas de aceptación de alimentos y contraste de dietas en lombricultura. *Rev electrónica de veterinaria REDVET* 6(7) 12 p.
- [52] Velasco Velasco J, Ferrera Cerrato R, Almaraz Suárez J.J.(2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y azospirillum brasilense en tomate de cascara. *Terra volumen 19 numero 3, 2001*.
- [53] Vivec Kumar, K.P. Singh. (2000). Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Bioresource Technology* 76 (2001) 173±175

XXIX. BIOGRAFÍA



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

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



Vidaña Martínez, S. A. nació el 6 de junio en la Ciudad de Durango. Cursó estudios de Ingeniería Química y Maestría en Ingeniería el año 2003 en el Instituto Tecnológico de Durango, en la Ciudad de Durango, Dgo. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en Cd. Lerdo, Durango, México donde se desempeña como docente en la división de Ingeniería Ambiental.



Susana de la Rosa Lugo nació en Gómez Palacio, Durango el 06 de junio de 1995. Es aspirante a egresar de la carrera de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Lerdo, Durango, México, 2017.

Comparación de la Alteración del Peso en el Mármol tipo Café Tabaco mediante Cristalización de Sales por Cloruro de Sodio

A. M. Morales-Tassinari^{1,*}, P. Cruz-Ortega¹, M. E. Velasco-Ordoñez¹, A. Servín-Martínez².

Resumen—El presente estudio tuvo como finalidad determinar el porcentaje de pérdida de peso en el mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio. Para la prueba de cristalización de sales se utilizaron 4 grupos de 12 probetas con dimensiones de 50X50X50 mm y una tolerancia de ± 0.5 mm en cada cara. La prueba de cristalización de sales consistió en el secado de las 48 probetas a temperatura de 60 ± 2 °C durante 16 horas, enfriado de las probetas a temperatura ambiente durante 2 horas e inmersión de las probetas a temperatura ambiente durante 6 horas en solución de cloruro de sodio con concentraciones de 10%, 16% y 20%. El resultado obtenido es que el mármol tipo Café Tabaco tuvo el mayor porcentaje de pérdida de peso del 95.76% en la solución de cloruro de sodio al 16%. Este porcentaje de pérdida de peso tiene un efecto adverso en el mármol tipo Café Tabaco; por lo que, tiene una pérdida de cohesión provocando con esto una disminución de sus propiedades tanto estéticas como físicas.

Palabras claves—Alteración del peso, café tabaco, cloruro de sodio, cristalización de sales, mármol.

Abstract—The present study had the purpose to determine the percentage of weight loss in the marble type Café Tabaco from Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, through a salt crystallization test by sodium chloride. For the salt crystallization test, 4 groups of 12 specimens with dimensions of 50X50X50 mm and a tolerance of ± 0.5 mm on each side were used. The salt crystallization test consisted of drying the 48 specimens at 60 ± 2 °C for 16 hours, cooling the specimens at room temperature for 2 hours and immersing the specimens at room temperature for 6 hours in sodium chloride solution with concentrations of 10%, 16% and 20%. The result obtained is that the marble type Coffee Tobacco had the highest percentage of weight loss of 95.76% in the solution of sodium chloride to 16%. This percentage of weight loss has an adverse effect on the marble type Coffee Tobacco; so that, it has a loss of cohesion, thereby causing a decrease in both its aesthetic and physical properties.

Keywords— Weight alteration, coffee tobacco, sodium chloride, salt crystallization, marble.

XXX. INTRODUCCIÓN

En la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco, que es una roca metamórfica de color café oscuro con vetas claras sin patrón de orientación, que puede ser utilizada para fines de construcción y ornamentales. En la Figura 1, se muestra una fotografía de este material:



Figura 1. Mármol tipo Café Tabaco.

Las piedras inmersas en un determinado ambiente durante cierto tiempo tienden a alterarse, es decir, sufren cambios en su naturaleza que pueden manifestarse en su aspecto externo (color, estado de agregación...) o en su comportamiento (dureza, resistencia...); por lo que, el resultado de la alteración de los materiales rocosos puede verse como el paso de una roca sana más o menos compacta y coherente, a una roca alterada menos coherente o de peor aspecto [1].

En las últimas décadas, muchos estudios de campo y de laboratorio han demostrado que el deterioro salino es un mecanismo importante de la degradación de la piedra [2]. Las sales se movilizan en disoluciones acuosas hacia el interior de la roca, cuando el agua se evapora cristalizan dependiendo de la solubilidad de la sal, de las características del sistema poroso del material y de las

¹ Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Ingeniería Mecánica. Av. Tecnológico s/n, Colonia Barrio San Sebastián Sección Primera, C.P. 74690, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

² Instituto Tecnológico de Veracruz, Departamento de Metal-Mecánica. Cda. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Colonia Formando Hogar, C.P. 82690, Veracruz, Veracruz, México.

* tassinari.adolfo1973@gmail.com

condiciones ambientales; de esta forma, si la sal es muy soluble puede aparecer cristalización en la superficie de las piedras en forma de eflorescencias, que no son estables y se ven modificadas por variaciones en la humedad, pero si la sal es poco soluble cristaliza en el interior de la roca siguiendo una pauta de distribución que depende en gran medida de las características físicas de la roca [3].

La presencia de sales solubles no solamente altera el aspecto cuando se hacen visibles como eflorescencias, sino que pueden originar daños considerables cuando cristalizan en el interior de poros y capilares; por lo que, ponen de manifiesto que todas las sales solubles pueden producir un deterioro muy fuerte en los materiales porosos, cristalizando en los poros pueden llegar a desmoronar la fábrica de dichos materiales [4].

La cristalización de sales solubles afecta a innumerables materiales empleados en la construcción, desde rocas y piedras naturales, morteros, revocos y ladrillos, a esculturas policromadas, pinturas murales y muchos otros materiales usados tradicionalmente en la construcción o como elementos decorativos [5]. Esta cristalización se da cuando una disolución rica en sales entra en el sistema poroso en un material, y puede precipitar fases minerales salinas cuya cristalización genera una determinada presión [6]; así, las presiones ejercidas por la cristalización de sales solubles en el interior de poros o microfisuras del material pétreo puede originar fenómenos disruptivos, sobre todo en aquellos materiales con mayor abundancia de microporos, dando lugar a diferentes formas de deterioro físico-químico [7]. La alteración sufrida por el material implica tanto alteración estética como disminución de propiedades mecánicas (pérdida de cohesión de material y pérdida de masa) [6].

El presente trabajo realiza un estudio comparativo de la alteración del peso sufrida por el mármol tipo Café Tabaco de la cantera procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio.

XXXI. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La empresa Mármol Tepeaca S.A. de C.V., procesó las probetas cúbicas de mármol tipo Café Tabaco; así, del grupo de probetas procesadas por la empresa, se seleccionaron 48 probetas con base al color característico café obscuro y que en cada una de sus caras tuviera una dimensión de 50 ± 0.5 mm. A las 48 probetas se les asignó un número para que fueran identificadas durante la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio; de esta forma, las probetas PA01 a la PA12 son las probetas del grupo de control, las probetas PB01 a la PB12 son las probetas para la prueba con cloruro de sodio al 10%, las

probetas PC01 a la PC12 son las probetas para la prueba con cloruro de sodio al 16% y las probetas PD01 a la PD12 son las probetas para la prueba con cloruro de sodio al 20%. En la Figura 2, se muestra la fotografía de las 48 probetas:



Figura 2. Probetas para la prueba de cristalización de sales.

A. Obtención del peso seco inicial de las probetas

Para el secado inicial de las 48 probetas de mármol tipo Café Tabaco, el horno de secado marca Memmert modelo UP500 se precalentó a una temperatura de 60°C . Después, se colocaron las probetas en dos charolas y se introdujeron en el horno de secado. Finalmente, las probetas se mantuvieron dentro del horno de secado a temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. En la Figura 3, se muestra una fotografía de las 48 probetas dentro del horno de secado:



Figura 3. Probetas dentro del horno secado.

Para garantizar que las probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, 47, y 48, a

temperatura ambiente.

De esta forma, como los pesos no variaron se consideró que las probetas estaban secas. En las Figuras 4a), 4b), 4c) y 4d) se muestran las fotografías del peso seco inicial de las probetas PA01, PB01, PC01 y PD01 respectivamente:

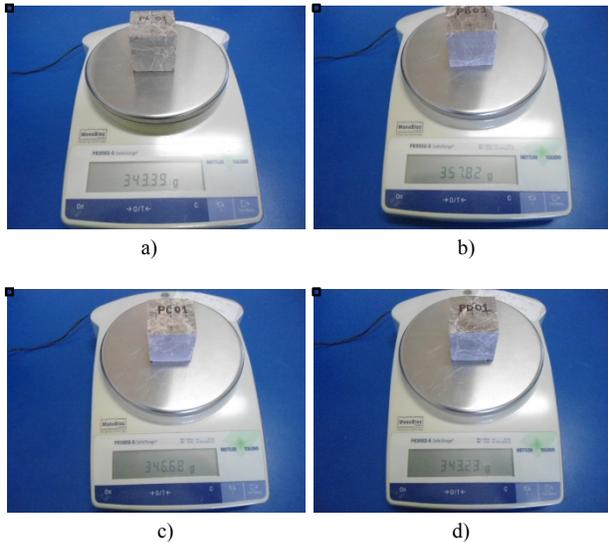


Figura 4. a) Peso seco inicial de la probeta PA01; b) Peso seco inicial de la probeta PB01; c) Peso seco inicial de la probeta PC01; d) Peso seco inicial de la probeta PD01.

B. Obtención del peso saturado de las probetas

Después de obtener el peso seco inicial, las probetas PA01 a PA12 del grupo de control se sumergieron en el contenedor con agua destilada, las probetas PB01 a PB12 se sumergieron en el contenedor con cloruro de sodio al 10%, las probetas PC01 a PC12 se sumergieron en el contenedor con cloruro de sodio al 16% y las probetas PD01 a PD12 se sumergieron en el contenedor con cloruro de sodio al 20%. En la Figura 5, se muestra una fotografía de las probetas sumergidas en las distintas soluciones:



Figura 5. Probetas sumergidas en las soluciones.

Para garantizar que las probetas estuvieran saturadas, se pesaron con una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, 47, y 48, a temperatura ambiente; de esta forma, como los pesos no variaron se consideró que las probetas estaban saturadas. En las Figuras 6a), 6b), 6c) y 6d) se muestran las fotografías del peso saturado de las probetas PA01, PB01, PC01 y PD01 respectivamente:

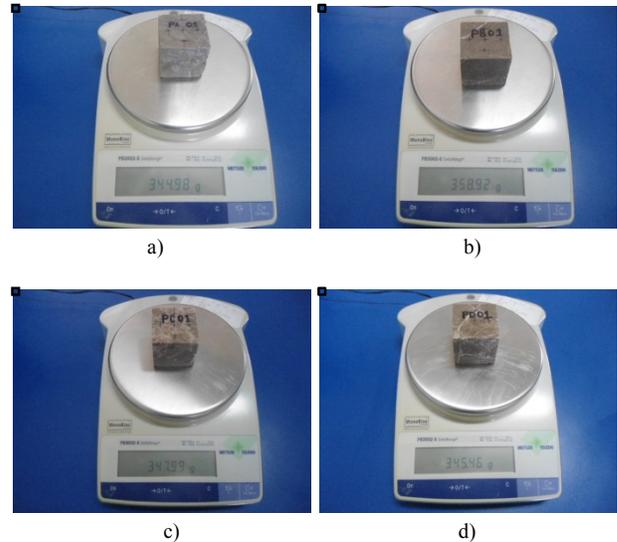


Figura 6. a) Peso saturado de la probeta PA01; b) Peso saturado de la probeta PB01; c) Peso saturado de la probeta PC01; d) Peso saturado de la probeta PD01.

C. Ciclo de prueba de cristalización de sales

El ciclo de prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio inició con el secado de las 48 probetas de mármol tipo Café Tabaco saturadas; para esto, se utilizó una horno marca Memmert modelo UP500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. Al terminar el tiempo de secado, las probetas se sacaron del horno y se pesaron con una báscula digital para obtener el peso de cada probeta y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 2 horas, para evitar en lo posible un choque térmico superficial.

Después de haber estado durante 2 horas en enfriamiento a temperatura ambiente, las probetas se sumergieron en los contenedores con las distintas soluciones salinas; así, en el contenedor con agua destilada se sumergieron las probetas PA01 a PA12, en el contenedor con cloruro de sodio al 10% se sumergieron las probetas PB01 a PB12, en el contenedor con cloruro de sodio al 16% se sumergieron las probetas PC01 a PC12 y en el contenedor con cloruro de sodio al 20% se sumergieron las probetas PD01 a PD12. Cabe mencionar que, las probetas permanecieron sumergidas durante 6

horas a temperatura ambiente para que absorbieran la solución salina.

Al término de esas 6 horas, se sacaron las probetas de las soluciones salinas terminando así un ciclo de prueba de 24 horas. De esta manera, el ciclo de prueba de secado-enfriado-inmersión que duró 24 horas, se repitió durante 15 ciclos. En las Figuras 7a), 7b) y 7c), se muestran las fotografías del proceso de los ciclos de la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio:

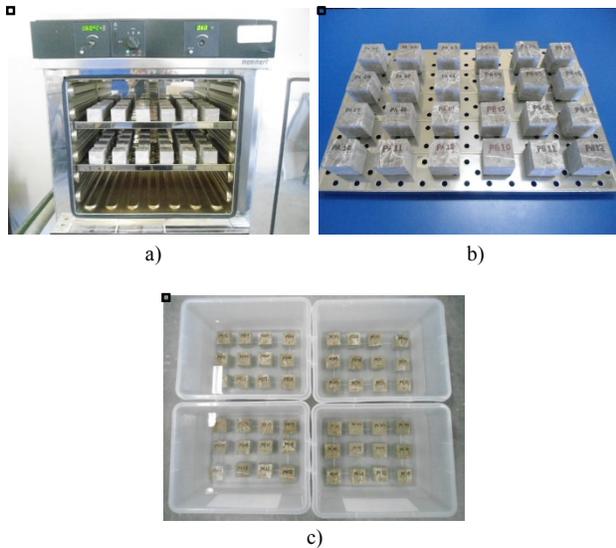


Figura 7. a) Secado de las probetas; b) Enfriado de las probetas; c) Inmersión de las probetas.

D. Lavado de las probetas

Después del quinceavo ciclo, las 48 probetas de mármol tipo Café Tabaco se lavaron con agua destilada hasta que la sal fuera eliminada por completo; para esto, se vertieron 10 litros de agua destilada en un contenedor y se lavaron superficialmente las probetas. Al término del lavado, las probetas se sumergieron en agua destilada durante dos horas y se verificó la resistividad del agua destilada. Se realizaron cuatro lavados hasta que la resistividad del agua destilada fuera la misma antes y después del lavado. En la Figura 8a), se muestra una fotografía del lavado superficial de las probetas; mientras que en la Figura 8b), se muestra una fotografía de la medición de la resistividad:



Figura 8. a) Lavado de las probetas; b) Medición de la resistividad

E. Obtención del peso seco final de las probetas

Para el secado final de las 48 probetas de mármol tipo Café Tabaco, las 48 probetas se introdujeron en el horno de sacado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. En la Figura 9, se muestra una fotografía de las 48 probetas dentro del horno de secado:



Figura 9. Probetas dentro del horno de secado.

Para garantizar que las probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, 47, y 48; por lo que, como los pesos no variaron se consideró que las probetas estaban secas. En las Figuras 10a), 10b), 10c) y 10d) se muestran las fotografías del peso seco final de las probetas PA01, PB01, PC01 y PD01 respectivamente:

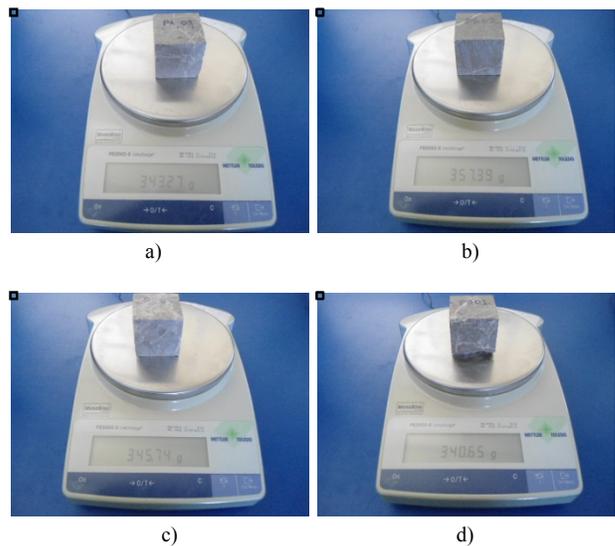


Figura 10. a) Peso seco final de la probeta PA01; b) Peso seco final de la

probeta PB01; c) Peso seco final de la probeta PC01; d) Peso seco final de la probeta PD01.

XXXII. RESULTADOS

A partir del peso seco inicial (M_o) y del peso seco final (M_f) se obtiene el porcentaje de la pérdida de peso (DWL) mostrada en la ecuación (1):

$$DWL = \frac{M_o - M_f}{M_f} \times 100\% \quad (1)$$

En la Tabla I, se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de la pérdida de peso en las distintas soluciones.

TABLA I
PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO

Solución	No. Probeta	M_o (g)	M_f (g)	DWL (%)
Agua Destilada	PA01	343.39	343.27	0.03
	PA02	355.04	354.88	0.05
	PA03	358.39	358.25	0.04
	PA04	345.10	344.97	0.04
	PA05	363.38	363.25	0.04
	PA06	338.29	338.19	0.03
	PA07	350.53	350.41	0.03
	PA08	349.34	349.23	0.03
	PA09	346.17	346.06	0.03
	PA10	348.15	348.02	0.04
	PA11	348.31	348.22	0.03
	PA12	350.17	350.07	0.03
Cloruro de Sodio al 10%	PB01	357.82	357.39	0.12
	PB02	354.76	354.28	0.14
	PB03	329.92	329.59	0.10
	PB04	344.82	344.28	0.16
	PB05	344.21	343.71	0.15
	PB06	348.28	347.82	0.13
	PB07	354.13	353.83	0.08
	PB08	342.87	341.85	0.30
	PB09	347.36	346.79	0.16
	PB10	351.10	350.64	0.13
	PB11	338.87	338.19	0.20
	PB12	349.86	349.36	0.14
Cloruro de Sodio al 16%	PC01	346.68	345.74	0.27
	PC02	351.63	350.53	0.31
	PC03	359.64	358.30	0.37
	PC04	336.90	336.27	0.19
	PC05	355.12	354.60	0.15
	PC06	352.47	350.29	0.62
	PC07	350.35	350.12	0.07
	PC08	334.06	333.48	0.17
	PC09	355.13	352.78	0.67
	PC10	353.93	353.21	0.20
	PC11	349.37	348.62	0.22
	PC12	344.59	343.00	0.46
Cloruro de Sodio al 20%	PD01	343.23	340.65	0.76
	PD02	347.25	346.77	0.14
	PD03	345.25	344.54	0.21
	PD04	344.26	343.62	0.19
	PD05	355.47	354.74	0.21
	PD06	345.84	345.54	0.09
	PD07	346.49	345.99	0.14
	PD08	354.01	353.55	0.13

PD09	339.37	338.26	0.33
PD10	354.65	354.40	0.07
PD11	349.90	348.99	0.26
PD12	356.75	356.16	0.17

Después, se realizó un análisis de varianza de un factor para determinar si existía una diferencia significativa entre el porcentaje de pérdida de peso y el porcentaje de cloruro de sodio. En la Tabla II, se muestra el resultado obtenido del análisis de varianza:

TABLA II
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA

Resumen						
Grupos	Cuenta	Suma	Prom.	Varianza		
Agua Destilada	12	0.41	0.03	0.00003		
Cloruro de Sodio al 10%	12	1.81	0.15	0.003		
Cloruro de Sodio al 16%	12	3.70	0.31	0.04		
Cloruro de Sodio al 20%	12	2.68	0.22	0.03		
Resultados del análisis de varianza						
Origen de las variación	Suma de cuad.	Grados de libertad	Prom. de los cuad.	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	0.486	3	0.16	8.97	0.00009	2.82
Dentro de grupos	0.794	44	0.02	-	-	-
Total	1.281	47	-	-	-	-

De la Tabla II, se observa que el valor de $F=8.97$ es mayor que $F_{\text{crítico}}=2.82$; esto quiere decir que, con una significancia del 5% sí existe una diferencia significativa entre las distintas soluciones salinas de cloruro de sodio. Por lo tanto, en la solución de cloruro de sodio al 16% se tiene el mayor porcentaje de pérdida de peso; de tal forma que, el mármol tipo Café Tabaco pierde en promedio un 0.31% de su peso.

Además, mediante el mecanismo de disgregación granular las probetas presentaron alteraciones visuales como grietas y rupturas. En la Figura 11a), se muestra la fotografía de la probeta PC05 con una grieta pasando por el centro de la probeta y una ruptura en la parte central derecha; mientras que en la Figura 11b), se muestra una fotografía de la probeta PC12 con agrietamientos en la parte central y una ruptura en la parte central inferior:

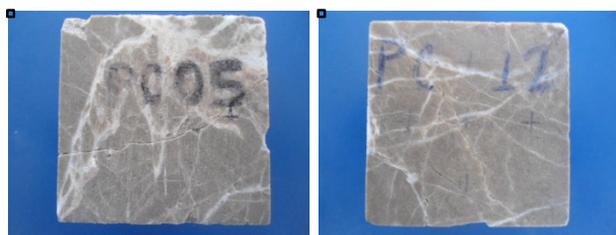


Figura 11. a) Grieta en la probeta PC05; b) Ruptura en la probeta PC12.

XXXIII. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el estudio realizado al mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, sometido a una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio se obtuvo un porcentaje de pérdida de peso del 0.31% cuando la concentración de cloruro de sodio es de 16%; además, por el mecanismo de disgregación granular algunas probetas presentaron fisuras y rupturas.

De esta forma, con base en la tipología para la alteración de peso en materiales pétreos dada por Benavente [8], el mármol tipo Café Tabaco se considera como Tipo I, ya que tiene una pérdida de masa de entre 0 a 1%; por lo tanto, este material resulta aceptable como piedra de construcción y se recomienda su uso para interiores y exteriores en ambientes salinos. Sin embargo, aunque el porcentaje de pérdida de peso es bajo, se debe considerar el uso de recubrimientos para mejorar la durabilidad de este material.

En otro orden de ideas, para conocer cómo se comporta el mármol tipo Café Tabaco en ambientes contaminados, es importante realizar un estudio de cristalización de sales por sulfato de sodio para determinar el porcentaje de la pérdida de peso y realizar una comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio.

XXXIV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por el financiamiento otorgado; además, agradecen a la empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V. por haber procesado las probetas para el estudio.

XXXV. REFERENCIAS

- [54] Alonso, F. J.; Eibert, R. M., Ordaz, J. y Vázquez, P. (2006). "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación". *RECOPAR*, no. 3, pp. 23-32.
- [55] Rodríguez, C. y Doehtne, E. (1998). "Salt weathering; Influence of evaporation rate, supersaturaton and crystallization pattern". *Earth Surface Processes and Landforms*, no. 24, pp. 191-209.
- [56] Aria, N. (2007). "Pátinas oscuras sobre rocas graníticas: Génesis y composición" Tesis Doctoral. Departamento de Edafología e Química Agrícola, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- [57] Grossi, C. M. y Eibert, R. M. (1994). "Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica". *Materiales de Construcción*, vol. 44, no. 235.

- [58] Cardell, C. (2013). "Cristalización de sales en calcarenitas: Aplicación al monasterio de San Jerónimo, Granada". Tesis Doctoral. Departamento de Minerología y Petrología. Universidad de Granada. Granada, España.
- [59] Benavente, D.; Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). "Estudio de propiedades físicas de las rocas". *Enseñanzas de la Ciencia de la Tierra*, año 12, vol.1, pp. 62-68.
- [60] Eibert, R.; Montoto, M. y Ordaz, J. (1991). "La piedra como material de construcción: Durabilidad, deterioro y conservación". *Materiales de Construcción*, vol. 41, no. 221, pp. 61-73.
- [61] Benavente, D. (2002). "Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales" Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. España.

XXXVI. BIOGRAFÍA



Morales Tassinari Adolfo Manuel. Nació el 19 de Junio de 1973 en Veracruz, Veracruz, México. Es:

- Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1998 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 2015 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como docente de Ingeniería Mecánica. Además, es líder de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.C. Morales obtuvo el reconocimiento como Green Belt Lean Six Sigma en 2015 y al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017.



Cruz Ortega Pedro. Nació el 05 de Octubre de 1985 en Ciudad Netzahualcóyotl, Estado de México, México. Es:

- Ingeniero Mecánico titulado en 2008 por el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como docente de Ingeniería Mecánica. Además, es colaborador de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

Ing. Cruz obtuvo el reconocimiento al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017.



Velasco Ordóñez María Esperanza. Nació el 12 de Enero de 1971 en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Es:

- Ingeniera Mecánica titulada en 2002 por el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Jefa de División de Ingeniería Mecánica. Además, es colaboradora de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

Servín Martínez Alberto. Nació el 15 de Febrero de 1954 en Xalapa, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1984 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ingeniería Mecánica titulado en 1995 por la Universidad Autónoma del Estado de México ubicada en Toluca, Estado de México, México.

-Doctor en Ciencias Químicas titulado en 2004 por la Universidad Nacional Autónoma de México ubicada en Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Veracruz en Veracruz, Veracruz, México, como profesor-investigador y docente de Ingeniería Mecánica y de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

Dr. Servín obtuvo el reconocimiento como profesor-investigador en el 50vo. Aniversario del Instituto Tecnológico de Veracruz.

Modelos Matemáticos y Producción Limpia en la Industria Farmacéutica

D.R Delgado^{1*}

Resumen—En este trabajo se evalúa la validez de una adaptación puntual del modelo de Jouyban-Acree (J & A), en comparación con la utilidad de la ecuación de solubilidad logarítmica-lineal propuesta por Yalkowsky y Roseman (Y & R), para la estimación de la solubilidad del isatin en mezclas cosolventes carbitol + agua, en función de la composición cosolvente y de la temperatura, en el intervalo entre 25,0 y 45,0°C. Los modelos de J & A y Y & R requieren únicamente de los valores experimentales de solubilidad de los fármacos en los solventes puros en función de la temperatura. Se encuentra que los valores obtenidos con los dos modelos presentan algunas desviaciones respecto a los valores experimentales

Palabras claves— Ecuación de Jouyban-Acree, ecuación de Yalkowsky-Roseman, modelos matemáticos, producción más limpia, solubilidad.

Abstract— In this paper the validity of a trained version of the Jouyban-Acree (J & A) model is evaluated to predict the solubility of isathin in carbitol + water cosolvent mixtures. The usefulness of the solubility log-linear equation proposed by Yalkowsky and Roseman (Y & R) is also evaluated for the same drug in this cosolvent system. The solubility estimation is studied as a function of temperature and cosolvent composition. The J & A and Y & R models require only the experimental solubility values in the pure solvents at all the temperatures evaluated. The calculated values by using both models deviate from experimental values in several cases.

Keywords— Jouyban-Acree equation, Yalkowsky-Roseman equation, mathematical models, cleaner production, solubility.

XXXVII. INTRODUCCIÓN

La producción más limpia (CP) es una estrategia de gestión ambiental que se basa en un enfoque socio-técnico. De acuerdo con el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas, también conocido como el PNUMA [1], CP se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para procesar productos y servicios con el objetivo de aumentar la eficiencia global y reducir el riesgo para los seres

humanos y el medio ambiente. Esto se consigue a través de promociones para mejorar el uso eficiente de las materias primas (incluyendo el agua y la energía), que reducen las emisiones contaminantes y el desperdicio de recursos. La implementación proactiva de CP reducirá los costes de conservación y cuidado del medio ambiente, mejorar la eficiencia del uso de los recursos, promover prácticas amigables con el ambiente, y reducir al mínimo el desperdicio de materiales [2]. En general, las prácticas CP son un medio eficaz de abordar las preocupaciones ambientales a través de una gestión óptima en la reducción del impacto ambiental y el consumo de recursos, principalmente para mejorar el rendimiento de la gestión ambiental, así como para optimizar el rendimiento económico [3,4,5,6].

Ahora bien, una de las etapas más importantes en desarrollo de productos farmacéuticos, son los estudios de solubilidad, cruciales para identificar el tipo de forma farmacéutica a desarrollar, además de ser relevantes en procesos de cristalización, purificación, cuantificación y análisis de calidad del producto final [7]. En este tipo de estudios se emplean un gran número de solventes de diferentes polaridades y en su gran mayoría tóxicos, por lo que estudios que conduzcan a predecir esta propiedad han tomado relevancia en los últimos años [8].

Desarrollar un método matemático que reduzca el número de ensayos experimentales se ha transformado en una línea de investigación de gran auge en el campo de la industria farmacéutica. Algunos de los modelos matemáticos más utilizados son de Yalkowsky-Roseman y el de Jouyban-Acree y estos a su vez combinados con la ecuación de van't Hoff [9, 10].

Este tipo de herramientas matemáticas pueden ser de gran utilidad para reducir el impacto ambiental de la industria farmacéutica desarrollando procesos más eficientes.

XXXVIII. ASPECTOS TEÓRICOS

En la literatura se han descrito diferentes métodos para estimar la solubilidad de diferentes sustancias de interés farmacéutico más mezclas cosolventes[11,12].

Uno de los modelos mas sencillos es el desarrollado por los profesores Yalkowsky y Roseman (Y-R) basado en la

¹ Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Calle 11 No. 1 G - 31 B Neiva - Huila - Colombia
danielr.delgado@campusucc.edu.co

regla de mezclas algebraicas expresado como:

$$x_{3,1+2} = x_1 \ln x_{3,1} + x_2 \ln x_{3,2} \quad (1)$$

en donde $x_{3,1+2}$ es la solubilidad calculada de la sustancia de interés en la mezcla cosolvente, x_1 y x_2 son las fracciones molares de los solvente 1 y 2 siendo 2 el solvente mas polar, $x_{3,1}$ la solubilidad de la sustancia en el solvente 1 y $x_{3,2}$ la solubilidad en el solvente 2.

En un intento de mejorar el carácter predictivo del modelo Yalkowsky-Roseman (Y-R) los profesores Jouyban y Acree propusieron la ecuación 2 (J-A) como extensión de la ecuación 1, y en la cual T es la temperatura absoluta y J_i son los respectivos coeficientes, los cuales presentan significado teórico, puesto que cada coeficiente es una función de las energías de interacción entre dos y tres cuerpos que describen las atracciones entre las diferentes moléculas en solución.

$$x_{3,1+2} = x_1 \ln x_{3,1} + x_2 \ln x_{3,2} + x_1 x_2 \sum_{i=0}^n \frac{J_i(x_1-x_2)^i}{T} \quad (2)$$

Una de las limitantes de los modelos expresados en las ecuaciones 1 y 2, es que predicen la solubilidad a una única temperatura determina, limitante que puede ser sobrepuesta combinado los modelos con la ecuación de van't Hoff (ecuación 3)

$$\ln x_1 = A \frac{1}{T} + B \quad (3)$$

Así las ecuaciones 1 y 2 se expresan como:

$$x_{3,1+2} = x_1 A_1 \frac{1}{T} + B_1 + x_2 A_2 \frac{1}{T} + B_2 \quad (4)$$

$$x_{3,1+2} = x_1 A_1 \frac{1}{T} + B_1 + x_2 A_2 \frac{1}{T} + B_2 + x_1 x_2 \sum_{i=0}^n \frac{J_i(x_1-x_2)^i}{T} \quad (5)$$

así, al combinar los dos modelos con la ecuación van't Hoff permite calcular la solubilidad a cualquier temperatura y mezcla de solventes deseadas.

XXXIX. RESULTADOS

En la tabla I se presentan la solubilidad del isatin (x_3) en mezclas cosolventes carbitol+agua a diferentes temperaturas

TABLA I
SOLUBILIDAD EXPERIMENTAL DEL ISATIN (1000x₃) EN MEZCLAS COSOLVENTES CARBITOL + AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

W ₁	298,15 K	308,15 K	313,15 K	318,15 K	323,15 K
0,0	0,0513	0,806	0,113	0,151	0,200
0,1	0,134	0,190	0,263	0,343	0,450
0,2	0,349	0,471	0,622	0,783	0,962
0,3	8,11	1,07	1,39	1,80	2,23
0,4	2,00	2,71	3,29	3,99	4,86
0,5	5,35	6,58	7,92	9,41	10,7
0,6	12,8	15,2	17,8	20,8	24,4
0,7	33,1	35,8	44,0	5,02	55,8
0,8	81,9	932	102	113	125
0,9	208	225	243	256	273
1,0	520	536	557	579	594

A partir de los experimentales presentados en la tabla I, se desafian modelos Yalkowsky-Roseman y Yalkowsky-Roseman van't Hoff (Y-R-v)

Como medida de comparación entre los valores individuales experimentales y calculados mediante los modelos Y-R y Y-R-v, se calcularon los porcentajes individuales de desviación (PID), sobre la base de la solubilidad expresada en fracción molar según la ecuación 6.

$$PID = \frac{x_{cal} - x_{exp}}{x_{exp}}$$

Así en la tabla II se presentan los porcentajes individuales de desviación a partir de los datos calculados mediante el modelo Y-R.

TABLA II
PORCENTAJE INDIVIDUAL DE DESVIACIÓN DE LA SOLUBILIDAD CALCULADA DE LA EXPERIMENTAL DEL ISATIN DE ACUERDO AL MODELO Y-R

W ₁	298,15 K	308,15 K	313,15 K	318,15 K	323,15 K
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	3,71	2,30	0,55	0,47	1,12
0,2	7,00	0,49	0,50	0,45	2,90
0,3	0,66	5,63	4,21	0,27	1,25
0,4	2,67	0,58	3,04	2,68	0,81
0,5	3,46	0,11	0,17	0,63	1,86
0,6	1,49	4,28	4,31	2,60	0,62
0,7	1,28	6,77	1,24	2,98	3,32
0,8	0,36	1,10	0,30	1,63	3,99
0,9	0,61	1,21	2,06	0,90	2,10
1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

De acuerdo a los resultados de la tabla II, el modelo Y-R tiene un potencial predictivo, la mayoría de los resultados tienen un error porcentual menor al 1%, la desviación más alta corresponde a un 7% la cual es aceptable.

En la tabla III se presentan los resultados de los porcentajes individuales de desviación del modelo Y-R

combinando con la ecuación van't Hoff. Si bien los porcentajes son mayores a los obtenidos con el modelo Y-R, los resultados tienen un porcentaje de error menor al 6%, lo cual es un error aceptable, teniendo presente que se necesita menor número de datos experimentales.

TABLA III
PORCENTAJE INDIVIDUAL DE DESVIACIÓN DE LA SOLUBILIDAD CALCULADA DE LA EXPERIMENTAL DEL ISATIN DE ACUERDO AL MODELO Y-R-v

W_1	298,15 K	308,15 K	313,15 K	318,15 K	323,15 K
0,0	5,96	5,94	5,88	5,61	5,39
0,1	6,12	6,04	5,91	5,61	5,22
0,2	5,82	5,77	5,69	5,64	5,43
0,3	5,76	5,95	5,72	5,51	5,35
0,4	6,04	5,96	5,83	5,66	5,32
0,5	5,86	5,76	5,64	5,52	5,45
0,6	5,99	5,64	5,85	5,76	5,58
0,7	5,95	5,94	5,79	5,71	5,63
0,8	6,01	5,93	5,85	5,68	5,56
0,9	6,01	5,86	5,74	5,64	5,48
1,0	5,96	5,94	5,88	5,61	5,39

Otra forma de evaluar los resultados de los modelos, es graficando los datos experimentales vs los datos calculados, así, al graficar los resultados obtenidos a partir del modelo J-A (figura 1) y el modelo J-A.v (figura 2)

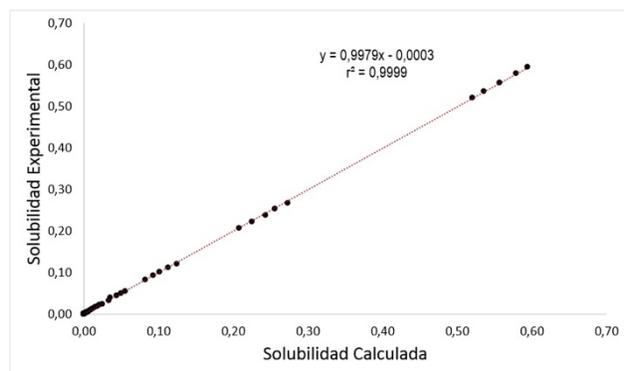


Figura 1. Simulación de la solubilidad calculada del isatin usando el modelo Jouyban-Acree

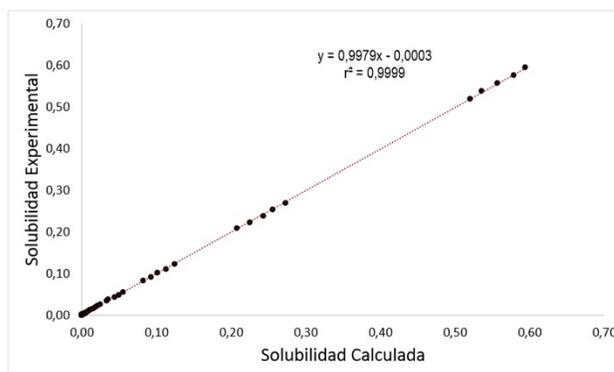


Figura 2. Simulación de la solubilidad calculada del isatin usando el modelo Jouyban – Acree – van't Hoff

Como se puede observar en ambos casos, la capacidad de predicción de los modelos J-A y J-A-v de manera global es cercana al 100%.

XL. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El modelamiento matemático puede ser una herramienta eficaz que permite reducir el número de ensayos experimentales y por ende la cantidad de insumos y residuos generados por la industria.

En el caso particular del presente trabajo tanto los modelos originales como su combinación con la ecuación de van't Hoff, demuestran ser una herramienta eficaz para calcular la solubilidad del isatin en este sistema cosolvente, lo que reduciría en gran medida el uso de recursos como reactivos, energía eléctrica y desgaste de equipos, lo que se traduce en procesos más eficientes y limpios.

XLI. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Cooperativa de Colombia, por su valiosa colaboración

XLII. REFERENCIAS

[62] UNEP, 2002a. Changing Production Patterns: Learning from the Experience of National Cleaner Production Centres. United Nations Environment Program (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics (DTIE).

[63] Yusup, M.Z., Wan Mahmood, W.H., Salleh, M.R., Muhamad, M.R. (2014) "The influence factor for the successful implementation of cleaner production: a review", *J. Teknol.* Vol. 67(1), pp. 89-97.

[64] Telukdarie, A., Brouckaert, Haung, Y. (2006) "A case study on artificial intelligence based cleaner production evaluation system for surface treatment facilities", *J. Clean. Prod.* Vol 14(18), 1622-1634.

[65] Dieleman, H. (2007) "Cleaner production and innovation theory. social experiments as a new model to engage in cleaner production", *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol. 23(2), 79-94.

[66] Zeng, S., Wang, W. (2009) "Cleaner production assessment of coal-fired power plant based on DEA. In: SUPERGEN '09. 2009

- International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, pp. 1-4.
- [67] Zeng, S.X., Meng, X.H., Yin, H.T., Tam, C.M., Sun, L. (2010) "Impact of cleaner production on business performance", *J. Clean. Prod.* Vol 18, 975-983.
- [68] Martin, A. (1993). *Physical Pharmacy*. New York: Lippincott Williams and Wilkins p. 101
- [69] Yalkowsky, S.H. (1999) *Solubility and Solubilization in Aqueous Media*. New York: American Chemical Society. P. 20.
- [70] Ruidiaz, M.A., Delgado, D.R., Mora, C.P., Yurquina, A., Martínez, F. (2010) "Estimation of the indomethacin solubility in ethanol+ water mixtures by the extended Hildebrand solubility approach" *Rev. Colomb. Cienc. Quim. Farm.*, vol 39(1) pp. 79-95.
- [71] Delgado, D.R., Peña, M.A., Martínez, F., Jouyban, A., Acree Jr W.E. (2016) "Further numerical analyses on the solubility of sulfapyridine in ethanol+ water mixtures" *Pharm. Sci.*, vol 22, pp. 143-152.
- [72] Jouyban-Gharamaleki, A., Valace, L., Barzegar-Jalali, M., Clark, B.L., Acree Jr., W.E., (1999) "Comparison of various cosolvency models for calculating solute solubility in water-cosolvent mixtures", *Int. J. Pharm.*, vol 177, pp. 93-10.
- [73] Nokhodchi, A., Shokri, J., Barzegar-Jalali, M., Ghafourian, T., "Prediction of benzodiazepines solubility using different cosolvency models", *Il Farmaco*, vol 57, pp. 555-557.

XLIII. BIOGRAFÍA



Daniel Ricardo Delgado: Nacido el 7 de febrero de 1980 en la ciudad de Gigante del departamento del Huila Colombia.

Licenciado en Biología y Química de la Universidad Surcolombiana de la ciudad de Neiva (2003), Master en Ciencias Químicas (2010) y Doctor en Ciencias Farmacéuticas (2015) de la Universidad Nacional de

Colombia de la ciudad de Bogota-Colombia

Profesor investigador del programa de Ingeniería Industrial en la facultad de Ingeniería de la Universidad Cooperativa de Colombia. Actualmente sus líneas de investigación son: Termodinámica de Soluciones, cosolvencia, modelamiento matemático y pirolisis.

Dr. Delgado D.R. miembro de Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

Análisis Preliminar de Agua para la Construcción de una Planta Purificadora en el ITSL.

A. Viramontes-Acosta^{1*}, T.E. Velásquez-Chávez¹, S.E. Filerio-Carrillo¹.

Resumen— El problema que se presenta en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, ubicado en el municipio de Lerdo, Durango, es la calidad del agua purificada que viene en los garrafones ya que tiene bajos contenidos de minerales esenciales para el ser humano, así como una gran cantidad de bacterias que son perjudiciales para la salud. Se han visto afectadas varias personas, a consecuencia del desequilibrio de sales y minerales en el agua embotellada, puesto que contiene una cantidad muy pequeña de esas sustancias, también debido a que el agua no está del todo purificada ya que contienen bacterias causantes de enfermedades gastrointestinales, esto sumado al costo que genera al ITSL. Se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos conforme a la metodología descrita en las normas mexicanas: NMX-AA-007-SCFI-2000, NMX-AA-030/1-SCFI-2012, NMX-AA-072-SCFI-2001, y los resultados fueron comparados con la NOM-127-SSA1-1994 la cual marca los límites permisibles en el agua para uso y consumo humano, dentro de los parámetros fisicoquímicos se encuentra que el pH es el único parámetro fuera de norma encontrándose este más bajo de lo establecido, dentro de los microbiológicos se encontraron enterobacterias presentes en el agua analizada, concluyendo de esta manera que es viable la instalación de una planta purificadora.

Palabras claves—Agua, Purificadora, Calidad.

Abstract— The problem presented at the Lerdo Higher Technological Institute, located in the municipality of Lerdo, Durango, is the quality of the purified water that comes in the bottles, this because it has low essential minerals contents for the human being, as well as a great amount of bacteria that are harmful to health. Several people have been affected as a result of the imbalance of salts and minerals in the bottled water, since it contains a very small amount of these substances, also because the water is not completely purified since they contain bacteria causing gastrointestinal diseases, this added to the cost that generates the ITSL. The physicochemical and microbiological analyzes were performed according to the methodology described in the Mexican standards: NMX-AA-007-SCFI-2000, NMX-AA-030/1-SCFI-2012, NMX-AA-072-SCFI-2001, and the results were compared to the NOM-127-SSA1-1994 which marks the permissible limits in the water for human use and

consumption, within the physico-chemical parameters it is found that the pH is the only parameter outside of norm, being this lower of the established, within the microbiological enterobacteria were found in the water analyzed, thus concluding that it is feasible to install a purification plant.

Keywords— Water, Purifying, Quality.

XLIV. INTRODUCCIÓN

El agua purificada es aquella que puede beberse sin peligro, pues no provoca ningún daño para la salud. Muy por el contrario, es la bebida ideal para nuestro organismo. Antes de tomarla, el agua de ríos, lagos y otras fuentes debe ser purificada, que significa depurar.

El agua purificada deber de poseer las siguientes características:

- Limpia y sin partículas visibles que estén flotando en ella y la hagan turbia.
- Incolora y transparente.
- Insípida, es decir, sin sabor, o si lo tiene, éste debe ser agradable.
- Inodora o carecer de algún olor particular.

Pero hay otras características que no se aprecian sensorialmente y que debe poseer el agua para beberla con seguridad. Una de ellas es que esté libre de microorganismos patógenos, como gérmenes y bacterias causantes de infecciones u otras enfermedades transmisibles al consumirla.

La otra característica es que debe estar libre de sustancias peligrosas para la salud como ciertos metales, exceso de sales disueltas o incluso presencia de compuestos químicos perjudiciales e indeseables para el consumo humano. Tanto los microorganismos patógenos como las sustancias dañinas podrían pasar inadvertidas, si sólo nos atenemos a comprobar las propiedades organolépticas del agua.

La desinfección del agua consiste en matar o eliminar los patógenos presentes en el suministro del agua y prevenir que crezcan de nuevo en los sistemas de distribución. La desinfección se usa para evitar el crecimiento de organismos patógenos y proteger la salud pública. La elección del desinfectante depende de la calidad de agua individual y sistema de suministro del agua. Sin desinfección, el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua aumenta.

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Ingeniería Ambiental. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez-Lerdo C.P. 35150. Cd. Lerdo Durango, México.

*adviaac@hotmail.com.

El agua puede purificarse de diversas formas con el objetivo de destruir los microbios o parásitos que se encuentren en ella, y que pueden causar enfermedades a las personas.

La Organización Mundial de la Salud establece pautas para la buena calidad de agua dentro de las normas internacionales. Al mencionar la calidad del agua se está hablando de características químicas, físicas y biológicas. La calidad del agua es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, principalmente por su efecto en la salud de la población. Los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica son factores de riesgo que afectan la calidad del agua.

XLV. METODOLOGIA

Toma de muestra:

Se tomaron dos muestras compuestas de agua de garrafón, cada muestra de 1L, con una temperatura de 22 grados y un pH de 6.8, del ITSL, el cual se encuentra en la ciudad de Lerdo, Durango. Las coordenadas de la ciudad son 25° 32' 10" N, 103° 31' 28" W con dirección en: Av. Tecnológico N° 1555 . Periférico Lerdo Km. 14.5, Plácido Domingo, 35150 Cd Lerdo, Durango, México.

Análisis Físicos:

Para la determinación de color se utilizó el método de comparación visual o espectrofotométrica según lo establece la NOM-127-SSA1-1994. Se determinó turbidez mediante el turbidímetro, la temperatura con un termómetro de cristal según la NMX-AA-007-SCFI-2000, la conductividad con un conductímetro, y el pH con un potenciómetro.

Análisis Químicos:

Se determinó cloro residual mediante titulación según la NOM-127.SEMARNAT-1994. Así como la determinación de dureza total mediante la valoración según la NMX-AA-072-SCFI-2001. Además se determinara la concentración de solidos totales en suspensión mediante filtración. Se determinará la DQO según la NMX-AA-030/1-SCFI-2012.

Análisis Microbiológicos:

Se determinó coliformes y E. Coli mediante un cultivo selectivo (NMP/100ML-1) según la NOM-127-SEMARNAT-1994.



Figura 1. Diagrama de muestreo

XLVI. RESULTADOS

Muestreo de agua de garrafón:

Se tomaron 200 ml por cada garrafón, de 5 edificios, 1 Lt en total [3].

TABLA1. TEMPERATURAS DEL AGUA MUESTREADA

Edificio	Temperatura
H	24°C
F	10°C
C	18°C
Biblioteca	30°C
D	12°C

En la tabla 1 se muestra la temperatura de las muestras obtenidas de agua, estos resultados son útiles para saber la calidad del agua en cuanto a la presencia de microorganismos, ya que la temperatura óptima para la proliferación de la mayoría de los microorganismos va de 14°C a 40°C.

TABLA 2. RESULTADOS FISICO-QUIMICOS

PARAMETRO	1 G	2 G
PH	5.83	-
CONDUCTIVIDAD	0.52	-
NITRITO	0	-
HIERRO	0	-
OX. DISUELTO	100PPM	100PPM<
SILICE	1	1.7
SULFATO	0	0
AMONIACO	0	0
FOSFATO	0	0
COBRE	0	0
TURBIDEZ	0.2NTU	
FENOLES	0	0
OX.D. TITULACION	0.05ppm	
OXIGENOMETRO	6.8ppm	
DQO	290ppm	873ppm

En la tabla 2 se muestran los análisis físico-químicos dentro de los cuales de acuerdo a la NOM 127 SSA 1994, los resultados se encuentran dentro de los parámetros permisibles a excepción del pH el cual se encuentra en un nivel más bajo, ya que los resultados normales son de 6.5-8.5 [2].

Análisis microbiológicos

Se hicieron dos repeticiones de cada muestra en agar MB y McConkey y se analizaron en microscopio con una

tinción de gram, dando como resultado bacterias gram negativas (Figura2).

El aspecto de las colonias obtenidas de la primer prueba y el resultado de la tinción de Gram, muestran que las bacterias obtenidas son *E. coli* y *K. sp.* [1].

Se debe poner atención sobre estos resultados ya que las bacterias obtenidas en estas pruebas son enterobacterias, causantes de problemas gastrointestinales en humanos, y conforme a a norma NOM-127-SEMARNAT-1994, no deben existir microorganismos en las muestras de agua para consumo humano [9].

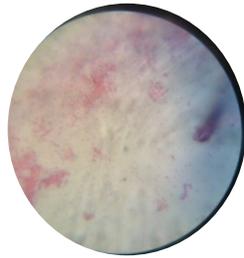


Figura 2. Tinción de Gram

XLVII. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los análisis realizados, se encontró que la calidad del agua proveniente de bidones colocados en dispensadores conforme a los fisicoquímicos y microbiológicos, se estableció que en materia para el consumo de agua segura y que no afecte la salud, se detectó que es viable la instalación de una planta purificadora, debido a su seguridad en el manejo y limpieza que muchas de la ocasiones influye en la aparición de bacterias que de acuerdo al análisis que se detectaron. Otra de las ventajas al establecer la que purificadora es el no mantener el calentamiento de los bidones [9]. Con el suministro de agua en el mismo tecnológico estamos apoyando en la sustentabilidad para evitar el uso excesivo de botellas plásticas que no sean biodegradables.

XLVIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ITSL, al laboratorio de Ambiental por las facilidades otorgadas para la realización de las pruebas realizadas.

XLIX. REFERENCIAS

- [1]. Análisis físico - químico y bacteriológico de aguas. (2008). Análisis físico - químico y bacteriológico de aguas. 2016, de microbiología e inmunología Sitio web:

<http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAguas.htm>

- [2]. Antoni Payeras. (2011). Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego. 2016, de Escuela de Bonsái Sitio web: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#comments>
- [3]. Anyela Andrea Villada Villada. (2014). Y Documentación de los manuales para la toma de muestra de calidad del agua vertimientos. 2016, de Carder Sitio web: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4558/628161V712.pdf?sequence=1>
- [4]. Calidad de agua, Jairo Alberto romero rojas, alfa omega.
- [5]. NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
- [6]. NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- método de prueba - parte 1 - método de refluo abierto
- [7]. NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- [8]. NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilizacion".
- [9]. Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. 2016, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf
- [10]. Quím. Ada Barrenechea Martel. (2008). aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. 2016, de ops-sde Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- [11]. UPCT. (2010). Análisis de aguas. 2016, de UPCT Sitio web: https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf

L. BIOGRAFÍA



Viramontes Acosta Adriana. Nació en la ciudad de Torreón, Coahuila, el 8 de julio de 1978. Curso la carrera de Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de la Laguna, en la ciudad de Torreón Coahuila terminando sus estudios en el año 2000. Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, cómo docente del área de Ingeniería Ambiental.



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



Filerio Carrillo Seth Eleazar. Nació en la ciudad de Gómez Palacio, Durango el día 13 de diciembre de 1993. Actualmente está cursando el 8 semestre de la carrera de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico superior de Lerdo.

Diseño y construcción de red hidráulica para conducción de agua en proceso industrial

A.J. Cordero-Escamilla¹, J.M. Martínez-Burrola¹, V.E. Manqueros Avilés¹.

Resumen— Una de las funciones de la ingeniería es orientar los conocimientos para su uso en actividades industriales, teniendo como reto llevar la teoría del aula a la realidad de la práctica. El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir una red hidráulica para conducir agua en un proceso industrial, cumpliendo los requisitos inherentes a un proceso productivo ya establecido. La metodología usada consistió primeramente en la definición de las condiciones de diseño, realización de diseño preliminar, cálculo de pérdidas de carga por flujo en tuberías, así como la selección de equipos y componentes requeridos, para luego efectuar la construcción; una vez instalada la red hidráulica, se hizo el diseño, fabricación e instalación del sistema eléctrico de control, efectuando finalmente las pruebas de operación. Al terminar se logró el diseño, construcción, instalación y prueba de una red hidráulica para extraer en 7 máquinas de proceso industrial un flujo de 3 GPM de agua para cada una; recolectando los flujos en un tanque intermedio y bombeándose con una rapidez de 26 o 52 GPM hacia un tanque final. Al terminar, se cumplieron todas las condiciones de diseño especificadas al inicio del proyecto.

Palabras claves— Bomba centrífuga, diseño, pérdidas en tuberías, red hidráulica.

Abstract— One of the functions of engineering is to guide knowledge for use in industrial activities, with the challenge of bringing classroom theory to the reality of practice. The objective of this work was to design and build a hydraulic system to conduct water in an industrial process, satisfy the requirements inherent to an already established productive process. The methodology used consisted primarily in the definition of design conditions, preliminary design, calculation of flow losses in pipelines, as well as the selection of required equipment and components, and then the construction; once the hydraulic system was installed, the design, manufacture and installation of the electrical control system was carried out, finally carrying out the tests of operation. At the end, the design, construction, installation and testing of a hydraulic system was achieved to extract in 7 industrial process machines a flow of 3 GPM of water for each one; collecting the flows in an intermediate tank and pumping with a speed of 26 or 52 GPM towards a final tank. When finished, all the design conditions specified at the beginning of the project were fulfilled.

Keywords— Centrifugal pump, design, losses in pipes, hydraulic system.

LI. INTRODUCCIÓN

El primero paso para efectuar un diseño es identificar la necesidad. Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del entorno particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema, por ejemplo, los procesos de fabricación de que se dispone, así como las instalaciones y condiciones de operación de las plantas industriales, vienen a ser restricciones a la libertad de acción del diseñador y por tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas. Todo lo que limite la libertad de elección del diseñador es una condición o restricción [1].

En el caso del diseño de una red hidráulica, es necesario que la instalación proyectada cubra ciertos aspectos para asegurar que la construcción, instalación, operación, y mantenimiento cumplan los requisitos definidos tanto para la propia red como para el área o proceso donde se instalará, asegurando que se realicen estas actividades de forma eficaz y eficiente. Debido a que el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo ha realizado trabajos para diferentes empresas de la región, es que tiene el vínculo con una empresa del sector alimenticio. Es a partir de una necesidad de dicha empresa, que surge este proyecto; consistiendo en el diseño y construcción de una red hidráulica para conducción de agua en proceso industrial.

A. Red hidráulica

Una red hidráulica incluye tuberías de diferentes diámetros unidas entre sí para controlar la razón de flujo, así como bombas para presurizar el fluido, y diferentes elementos (válvulas, tanques, codos, etc.) que se conectan entre sí. En una red hidráulica se debe poner particular atención a la fricción, que se relaciona directamente con la caída de presión y las pérdidas de carga [2]. Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias. Las pérdidas primarias tienen lugar en flujo uniforme, principalmente en los tramos de tubería de sección constante. Las pérdidas secundarias tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tubería [3].

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. El régimen de flujo depende

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n, Cd. Lerdo Dgo, C.P. 35158, Durango, México.
acordero@itslerdo.edu.mx

principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds (1) y se expresa para flujo interno en una tubería circular como:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1)$$

Donde V es la velocidad promedio de flujo, D es la longitud característica (diámetro para este caso), ν es la viscosidad cinemática, ρ es la densidad y μ la viscosidad dinámica. Para condiciones prácticas: el flujo en una tubería circular es laminar para $Re \leq 2300$, turbulento para $Re \geq 4000$, y transicional entre ellos.

Un elemento de interés en el análisis de flujo de tubería es la caída de presión ΔP , porque está directamente relacionada con la potencia necesaria para que la bomba mantenga el flujo. En la práctica [3], es conveniente expresar la pérdida de presión para todos los tipos de flujos internos totalmente desarrollados en (2) como:

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad (2)$$

donde f es el factor de fricción de Darcy, L es la longitud de la tubería, D el diámetro interno. En el caso de tuberías circulares con flujo interno laminar, el factor de fricción se define en (3) por:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

El factor de fricción de un flujo turbulento en tubería totalmente desarrollado en tubería circular depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa ϵ/D . La forma funcional de esta relación no se puede obtener a partir de un análisis teórico. A partir de los resultados experimentales de Colebrook, en (4) se tiene la siguiente relación implícita:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

En el análisis de los sistemas de tuberías, las pérdidas de presión comúnmente se expresan en términos de la altura de la columna de fluido equivalente (5), llamada pérdida de carga h_L , por lo que la pérdida de carga es:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Esta pérdida primaria de carga h_L representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería.

En el caso de las pérdidas secundarias (o menores), éstas se deben a que el fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias, válvulas, codos,

ensanchamientos, etc., que interrumpen el suave flujo y provocan pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla de flujo que producen. Considerando el coeficiente de pérdida K_L (definido experimentalmente por el fabricante del accesorio), la pérdida (menor) de carga para un accesorio se define en (6) por:

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

siendo V = velocidad promedio del fluido, g = constante gravitacional. Cuando ya están disponibles todos los coeficientes de pérdida, la pérdida de carga total en un sistema de tubería se muestra en (7):

$$h_{L,total} = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j K_L \frac{V_j^2}{2g} \quad (7)$$

donde i representa cada tramo de tubería con diámetro constante y j representa cada accesorio que provoca una pérdida menor.

La ley de la conservación de la energía establece que en todo circuito fundamental en una red hidráulica, las pérdidas de energía son iguales a la energía externa que recibe el fluido. Cuando un sistema de tuberías incluye una bomba [4], la ecuación de energía de flujo estacionario sobre una base de masa unitaria se puede expresar como se muestra en (8):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (8)$$

Donde h_{bomba} es la carga de bomba útil entregada al fluido, α es el factor de corrección de energía cinética cuyo valor está cerca de 1.05 para la mayoría de los flujos (turbulentos) y h_L es la pérdida de carga total en las tuberías (pérdidas primarias y secundarias) entre los puntos 1 y 2. La mayoría de sistemas de tuberías prácticos incluyen una bomba para llevar un fluido de un depósito a otro. Cuando se considera que los puntos 1 y 2 están en las superficies libres de los depósitos, la ecuación de energía se reduce para la carga de bomba útil necesaria a

$$h_{bomba} = (z_2 - z_1) + h_L \quad (9)$$

debido a que las velocidades en las superficies libres son despreciables para depósitos grandes y las presiones están a presión atmosférica. Por lo tanto, la carga de bomba útil es igual a la diferencia de elevación entre los dos depósitos más las pérdidas de carga (primarias y secundarias).

Una vez que se conoce la carga de bomba útil, la potencia mecánica que necesita aplicarse al eje de la bomba se define en (10):

$$\dot{W}_{bomba,eje} = \frac{\rho \dot{V} g h_{bomba}}{n_{bomba}} \quad (10)$$

donde \dot{W} es la potencia mecánica necesaria, \dot{V} es el flujo volumétrico o caudal, y n_{bomba} es la eficiencia de la bomba.

LII. METODOLOGÍA

En el diseño y construcción de la red hidráulica para conducción de agua en proceso industrial, se llevaron a cabo de manera general las siguientes etapas: A. Definición de condiciones de diseño; B. Diseño hidráulico preliminar; C. Cálculo de pérdidas de carga por flujo en tubería; D. Selección de equipo y componentes; E. Construcción e instalación hidráulica; F. Diseño, fabricación e instalación de sistema de control; G. Pruebas de operación.

Debido a las características de operación donde se llevó a cabo este trabajo, se consideraron dos áreas: área de máquinas y área de tanque pulmón.

A. Definición de condiciones diseño

Dado que el trabajo se realizó en una empresa industrial, las condiciones fueron definidas en conjunto con los responsables de los procesos de producción, considerando entre otras cosas: disposición de equipos e instalaciones, condiciones de operación y mantenimiento de los procesos, políticas y normativa de la empresa, así como disponibilidad de materiales, equipos y proveedores. Aunque la necesidad parecía sencilla (transportar cierta cantidad de agua en forma constante de una sección de la planta a otra), fue necesario realizar varias inspecciones a los equipos e instalaciones, tener reuniones con personal de la empresa, así como investigar de forma preliminar, posibles materiales a utilizar. Las condiciones de diseño fueron: extracción a 7 máquinas de proceso un flujo de agua @ 40 °C de 3 GPM por máquina; operación de sistema 24h/día; uso de acero inoxidable y plástico; bombas centrífugas con accionamiento eléctrico 220VCA; potencia de motor eléctrico al mínimo requerido; la red hidráulica no debería de afectar la operación, mantenimiento y apariencia de los equipos de proceso instalados; la construcción, instalación y prueba de la red hidráulica en el área de máquinas debería de hacerse en los tiempos muertos del proceso y sin afectar las actividades productivas; adquisición de materiales y servicios con proveedores locales; sistema de control automático sin monitoreo de variables.

B. Diseño hidráulico preliminar

La propuesta preliminar del diseño se muestra a

continuación:

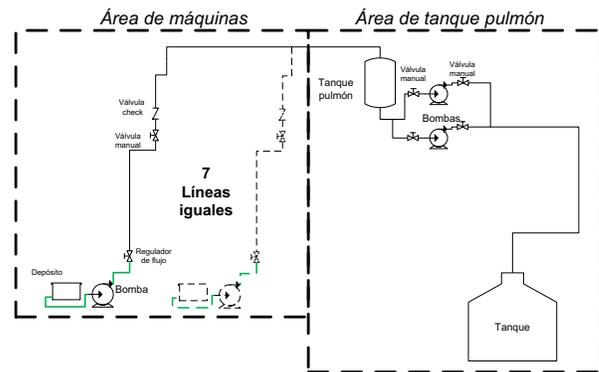


Figura 1. Diseño preliminar de red hidráulica

Para el área de máquinas se consideraron 7 líneas hidráulicas en paralelo para las correspondientes máquinas de proceso, hasta llegar a un cabezal donde se concentraban las líneas, para conducir el agua al tanque pulmón. Para el área de tanque pulmón, se consideró este como un tanque intermedio encargado de recolectar el agua proveniente de las 7 máquinas de proceso, para desplazar el agua hacia el tanque destino ubicado en otra parte de la planta.

C. Cálculo de pérdidas de carga por flujo en tubería.

Los elementos que conformaban una línea en el área de máquinas, se muestran en la siguiente tabla:

TABLA I
ELEMENTOS HIDRÁULICOS DE UNA LÍNEA EN ÁREA DE MÁQUINAS

Cantidad	Elemento
2	Reducción bushing 1-3/4", inox
6	Niple botella 3/4", inox
3	Cople 3/4", inox
2	Reducción bushing 3/4-1/2", inox
4	Niple 1/2x3", inox
2	Cople 1/2", inox
2	Tuerca unión 3/4-1/2", inox
6	Codo 45° 1/2", inox
6	Tuerca unión 3/4", inox
14	Codo 90° 1/2", inox
1	Válvula manual 3/4" esfera, inox
1	Válvula chek 3/4", inox
16 metros	Tubo inoxidable 3/4"
3 metros	Manguera 3/4", plástico

Considerando el flujo de 3 GPM y los elementos que conformaban cada línea de cada máquina, se determinó un flujo turbulento ya que $Re = 26\ 060$. Con la ecuación (4) se determinó que el factor de fricción $f = 0.026$, para a su vez con la ecuación (5) se determinó la pérdida primaria en esta sección. Para las pérdidas secundarias, los valores de K se tomaron de la referencia [3], y por medio de la ecuación (6) se determinaron las pérdidas de carga para cada tipo de accesorio. Al aplicar la ecuación (9) considerando la diferencia de alturas ($Z_2 - Z_1$) y la pérdida total h_L , se determinó que la carga de bomba útil para la

línea hidráulica en el área de máquinas era de $h_{bomba} = 12.3$ mH₂O. Para el área de tanque pulmón, los elementos que conformaban la línea en esta área se muestran en la siguiente tabla:

TABLA II
ELEMENTOS HIDRÁULICOS DE LÍNEA EN ÁREA DE TANQUE PULMÓN

Cantidad	Elemento
13	Codo 90° 2", inox
4	Válvula manual 2" mariposa, inox
3	Válvula chek 2", inox
130 metros	Tubo inoxidable 2"

Aplicando el mismo procedimiento a las condiciones de la línea hidráulica en el área de tanque pulmón, se determinó que para un flujo de 21 GPM la carga de bomba útil requerida era de 7.5 mH₂O.

D. Selección de equipo y componentes;

A partir de los requerimientos y diseños realizados, se hizo la selección de todos los elementos requeridos. Como ejemplo, se muestra la selección del modelo de bomba centrífuga para las líneas en el área de máquinas. En este equipo, la dificultad se presentó ya que por el bajo flujo y carga alta, la mayor parte de opciones comerciales se referían a bombas de desplazamiento positivo; sin embargo, era requisito del proyecto que fuera bomba centrífuga con motor eléctrico.

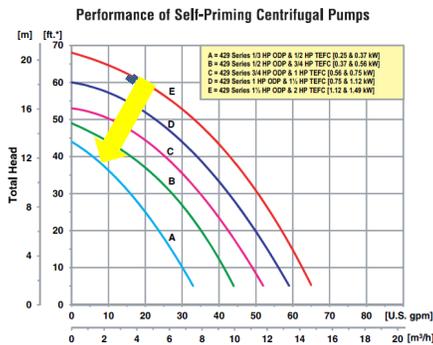


Figura 2. Curva de operación bomba AMT^R

A partir de las condiciones de diseño y los valores calculados de caudal y carga de bomba útil, se seleccionó la bomba marca AMT modelo 4294-98 (curva A de la figura 2) de 1/3 HP 1φ 220 VAC, autocebante, para emplearse en las 7 líneas del área de máquinas. De igual forma y con la correspondiente curva del fabricante, para el área de tanque pulmón se seleccionó la bomba centrífuga marca Q-Pumps, modelo QC-100, 1 HP, 3φ, 220/440 VAC, para un flujo de 26 GPM y una carga de 15 mH₂O, para usarse dos equipos en paralelo.

E. Construcción e instalación hidráulica

Los autores de este artículo fueron responsables de la supervisión de la construcción e instalación, así como de asegurarse que al terminar se cumplieran las condiciones

especificadas para el proceso, ya que los trabajos fueron subcontratados a un especialista en acero inoxidable,

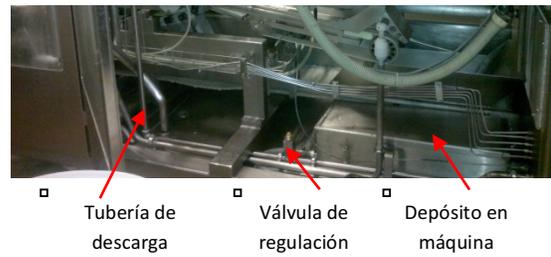


Figura 3. Instalación dentro de máquina de proceso

En la figura 3 se muestra el depósito del cual se succionaba el agua hacia la bomba (ubicada en la siguiente sección de la máquina de proceso), para luego enviarla a través de la tubería de descarga hacia el cabezal. Dadas las limitadas condiciones de espacio y accesibilidad del compartimiento de la máquina donde se ubicaría la bomba centrífuga de 1/3 HP, fue necesario hacer las conexiones de succión y descarga por medio de manguera; dicha situación se muestra en figura 4.



Figura 4. Bomba ubicada en compartimiento de máquina

El agua proveniente de la bomba se conduce por la tubería en diferentes secciones de la máquina hasta llegar a un panel de servicio, saliendo hacia la parte superior y subiéndose varios metros hasta llegar al tubo cabezal.

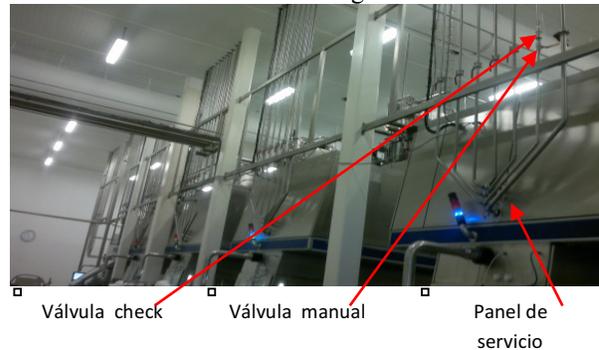


Figura 5. Tuberías de descarga hacia tubo cabezal

Como se muestra en la siguiente figura (6), las descargas de cada máquina llegaban a un tubo cabezal, el cual dirige el fluido hacia el tanque pulmón.

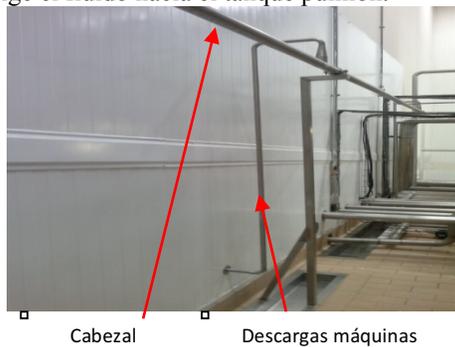


Figura 6. Tuberías de descarga hacia tubo cabezal

Para terminar la red hidráulica en el área de máquinas, la tubería conecta al tanque pulmón.



Figura 7. Tuberías de descarga hacia tubo cabezal

En la figura 7 se muestra el tanque pulmón conectado a la succión en paralelo de bombas centrífugas de 1 HP. Las descargas de dichas bombas se conectan a la tubería de 2” que dirige el agua hacia el tanque destino, ubicado en otra parte de la planta.

F. Diseño, fabricación e instalación de sistema de control

Por parte de los autores, se diseñó e implementó el control para las bombas del tanque pulmón. Se buscó que el sistema opere con dos bombas de 1 HP las cuales son activadas dependiendo del nivel que tenga el tanque pulmón, para lograr dicha acción se usaron controladores de nivel (Telemecanique modelo RM4LA32M) de conductividad los cuales están conectados a tres varillas las cuales fijan el nivel de arranque de las bombas. Es

decir las bombas están en paro si el nivel del tanque esta en vacío (es decir, ninguna de las varillas tiene conductividad), si la primera de ellas es alcanzada por el nivel del agua se acciona la bomba 1 disminuyendo el nivel; no obstante si la cantidad de flujo de las máquinas de proceso hacia el pulmón es considerable, el nivel del pulmón subirá más rápido y la varilla número dos alcanza a tener contacto con la solución, entrando así a la par de la bomba 1 también la bomba 2; y al descender el nivel y perder contacto solo se detendrá la bomba dos.

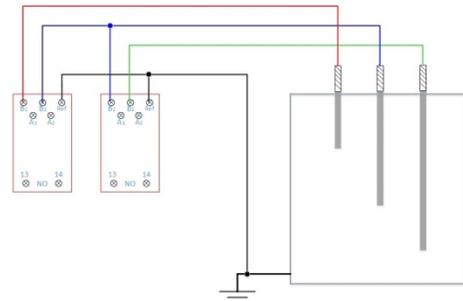


Figura 8. Interconexión de relevadores de nivel

Para lograr el arranque de la bomba 1 y conforme el pulmón alcance mayor nivel y arrancar la bomba dos, se realizó el circuito de control mostrado en la figura (9), y se puede apreciar que se dotó al circuito de un paro de emergencia para la seguridad del personal y equipo.

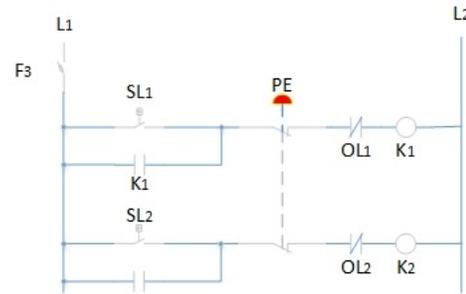


Figura 9. Control de paro y arranque de bombas de 1HP



Figura 9. Tablero de control para bombas en tanque pulmón.

G. Pruebas de operación.

Una vez terminada la instalación, fue necesario realizar pruebas para revisar el buen funcionamiento, así como inspeccionar en busca de alguna anomalía. En el caso de las líneas en el área de máquinas, fue necesario ajustar por medio de la válvula de restricción los flujos de cada equipo.

LIII. RESULTADOS

Se logró el diseño, construcción, instalación y prueba de una red hidráulica para extraer en 7 máquinas de proceso industrial un flujo de 3 GPM de agua para cada una; recolectando los flujos en un tanque pulmón y bombeándose con una rapidez de 26 o 52 GPM hacia un tanque final. El sistema es capaz de operar de forma continua, y contiene elementos que son fáciles de adquirir. Además, los trabajos se hicieron sin afectar la operatividad de la planta industrial.

LIV. CONCLUSIÓN

El sistema construido cumplió todas las condiciones de diseño especificadas al inicio del proyecto. Desde el punto de vista hidráulico, el arreglo de la red de conductos y accesorios en el área de máquinas presenta demasiadas pérdidas secundarias, sin embargo fue necesario realizarlo así para poder cumplir las condiciones requeridas en la operación, mantenimiento y estética de los equipos ya instalados.

LV. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

LVI. REFERENCIAS

- [74] Shigley, J. (1990). *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 5ª. Edición. Mc Graw Hill. México D.F.
- [75] Cengel, Y., Cimbala J. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*, 2a. edición. Mc Graw Hill. México D.F.
- [76] Mataix C. (1986) *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, 2ª, Edición. Harla. México D.F.
- [77] IMSS, Guías técnicas de construcción: instalaciones hidráulicas, sanitarias y especiales. Tomo 3, 2004.
- [78] Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas. Obtenido de: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/747.htm>
- [79] Grundfos, *Guía de productos Bombas*, Grundfos de México S.A. de C.V., 2014, Apodaca N.L.
- [80] Andrade M., Zarza N. "Cálculo de la red hidráulica para el circuito de enfriamiento de un proceso de inyección de plásticos". Tesis de Ingeniería, ESIME, Instituto Politécnico Nacional.

LVII. BIOGRAFÍA



Cordero Escamilla Armando José. Nació el 14 de Julio de 1975 en San Luis Potosí, Mex. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en el Instituto Tecnológico de Durango en 1998. Posteriormente logró la Maestría en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad, en 2008. Ha cursado diplomados en Gestión de Tecnología, Habilidades Gerenciales y Sistemas Fotovoltaicos.

Actualmente se desempeña como Profesor de Carrera de Enseñanza Superior Titular A, impartiendo clases en las carreras de Ingeniería Electromecánica, Electrónica y Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en el estado de Durango. También colabora en el área de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la misma Institución, al participar en proyectos vinculados con empresas de la región y Centros de investigación nacionales. Las áreas de interés son: térmica, hidráulica, energías renovables y procesos industriales, entre otras. El M.I. Cordero recibió el Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación Durango 2012 en el área de Desarrollo Industrial, por parte del Gobierno del Estado



Martínez Burrola, Juan Manuel. Nació el 12 de Noviembre de 1985 en Matehuala, San Luis Potosí, Mex. Obtuvo el título de Ingeniero Químico en Alimentos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, en la Cd. de Chihuahua, Mex., en Junio de 2009. Posteriormente concluyó sus estudios de posgrado en la Especialidad de Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL), en cd. Lerdo, Dgo. Méx., en febrero de 2016.

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

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

Manqueros Avilés Víctor Edi. Nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de Diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001, Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango.



Actualmente trabaja como docente e Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, dentro de la división de posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 10 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.

Biopolímero reforzado con nanotubos de carbono para su aplicación como andamios en la Regeneración de Tejido

Óseo

M.L. Flores-Cedillo^{1,*}, M.L. Morales-Barbosa², H.Z. Del Ángel-López³, A.M. Sierra-Guerrero⁴

¹**Resumen**—La Ingeniería Tisular o Ingeniería de Tejidos es una ciencia multidisciplinar que involucra el uso de soportes o *scaffolds* fabricados por diferentes materiales, los cuales como característica principal deben de ser biocompatibles con los sistemas biológicos del cuerpo humano y estar aprobados por la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA, *Food and Drugs Administration*). En este trabajo se reforzó un soporte de Ácido Poliláctico (PLA) con nanotubos de carbono de pared múltiple para evaluar la posibilidad de utilizarlo como un andamio para la regeneración ósea debido al incremento de propiedades mecánicas del biopolímero. Los resultados arrojan que al reforzar nanoestructuralmente el PLA, aumentó su Módulo elástico asemejándose a la del hueso esponjoso, compacto y cartilago, lo que sugiere estos potenciales usos al validarlos *in vitro* e *in vivo* en las fases experimentales posteriores a esta investigación. Al continuar desarrollando y caracterizando biomateriales, se permitirá ampliar el conocimiento en esta rama de la ciencia y obtener propiedades más prometedoras para ser utilizados como soportes óseos, que es una de las finalidades que persigue la Ingeniería Tisular.

Palabras clave: Ingeniería Tisular, Andamios, Biomateriales, Ácido Poliláctico.

ABSTRACT- Tissue Engineering or Engineering of Tissue is a multidisciplinary science that involves the use of supports or scaffolds manufactured by different materials, which as main characteristic must be biocompatible with the biological systems of the human body and be approved by Food and Drugs Administration (FDA). In this work a support of Polylactic Acid (PLA) with multiple wall carbon nanotubes was reinforced to evaluate the possibility of using it as a scaffold for bone regeneration due to the increase of mechanical properties of the biopolymer. The results show that by reinforcing nanostructurally the PLA, increased its elastic Modulus and its maximum deformation resembling that of spongy, compact bone and cartilage, suggesting these potential uses when validating them *in vitro* and *in vivo* in the experimental phases after this investigation. By continuing to develop and characterize biomaterials, it will

be possible to expand knowledge in this branch of science and obtain more promising properties to be used as bone supports, which is one of the purposes of Tissue Engineering.

Key words: Tissue Engineering, Scaffolds, Biomaterials, Polylactic Acid.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida parcial o total de un tejido u órgano y su función es un grave y costoso problema de salud cuyo campo es atendido por la cirugía reconstructiva y trasplantológica, pero que presenta la limitante de tener una baja cantidad de donantes órganos para trasplantes. Esta creciente necesidad de órganos, llevó a los investigadores a utilizar células autólogas para la reconstrucción de órganos y tejidos así como para atender la pérdida de su función a través de los cuatro procesos básicos: trasplantes, injertos autólogos, prótesis y regeneración tisular [1]; dando lugar a una nueva ciencia para lograr la regenerar un tejido y su función perdida por lesiones, enfermedades y/o malformaciones congénitas, esta es la Ingeniería de tejidos, mejor conocida como Ingeniería Tisular término acuñado a mediados de la década de los 80's por los doctores Robert Langer y Joseph Vacanti [2].

En la Ingeniería Tisular (por sus siglas en inglés TE: *Tissue engineering*) se utilizan estructuras o andamios de materiales que sembrados en el cuerpo sirven como estructura temporal para que las células colonicen hasta formar nuevos tejidos [3].

Los biomateriales son materiales diseñados para actuar con sistemas biológicos con el fin de evaluar, tratar, aumentar o reemplazar algún tejido, órgano o función del cuerpo. Deben ser capaces de estar en contacto con tejidos vivos, durante un periodo de tiempo, como parte del tejido, con la finalidad de completar al tejido y/o de ayudar a mejorar el funcionamiento de éste cuando forma parte de un sistema, sin afectar al resto del organismo y sin ser afectado por él, a menos que así se hubiera diseñado, como ocurre con los hilos de sutura para tejidos internos que están diseñados para ser absorbidos por el organismo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se prepararon andamios de PLLA que es una matriz polimérica biodegradable aprobada por la

¹ Dra. María Lisseth Flores Cedillo, *maria.flores@tecsuperiorslp.edu.mx

² MASC. Ma. de la Luz Morales Barbosa, luz.morales@tecsuperiorslp.edu.mx

³ MMA. Hulda Zulema del Ángel López, hulda.delangel@tecsuperiorslp.edu.mx

⁴ MPS. Adela Marisol Sierra Guerrero, adela.sierra@tecsuperiorslp.edu.mx

Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital; Carretera 57 Méx.-P.N. Tramo Oro.-S.L.P. Km 189.100 No. 6501, Delegación Villa de Pozos, S.L.P.

FDA y sobre la misma se dispersaron de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs, *Multiwall Carbon Nanotubes*, por sus siglas en inglés) oxidados debido a que se ha reportado que, durante este proceso, disminuye su potencial citotoxicidad [4].

Se utilizaron 2g de Ácido Poliláctico (PLA) el cual tiene una temperatura de fusión de El PLLA presenta una temperatura de transición vítrea entre 60-65°C, una temperatura de fusión entre 173-178°C y un módulo de elasticidad entre 2.7 a 16 GPa. Sin embargo, como la mayoría de los polímeros, presenta la incapacidad para soportar cargas y esfuerzos, por lo cual es necesario reforzarlos con nanopartículas o nanomateriales, como es el caso de los nanotubos de carbono [5].

Se utilizaron MWCNTs (Baytubes® C 150P) de la marca Bayer Material Science en forma de aglomerados. Estos nanotubos tienen un diámetro interno de aproximadamente 4 nm, un diámetro exterior de ~13 nm y una longitud de 1 a 4 µm. Estos nanotubos fueron fabricados por deposición química en base de vapor (CVD) y tienen una pureza de 95%.

Primeramente se oxidaron los MWCNTs para modificar la superficie de los MWCNTs siguiendo el método reportado por Avilés et al. con base en un tratamiento de oxidación química con HNO₃ y H₂SO₄ [6]. Luego la disolución se somete a agitación mecánica durante 30 minutos a una temperatura de 60 °C. Transcurrido este tiempo se lleva la disolución al baño de ultrasonido por 2 horas. Al transcurrir este tiempo, se filtran y lavan con agua destilada y por último se secan los MWCNTs oxidados por 4 horas a 150°C en un horno de convección (Ver Figura 1).



Figura 1. Procedimiento de oxidación ácida.

Se cortaron películas de 5 mm de diámetro que son reportados como defectos óseos de tamaño crítico [7] debido a que se proyecta su evaluación futura sobre biomodelos. El grupo control es el PLA puro.

Como es importante que el disolvente empleado disperse tanto el PLA como los MWCNTs, se utilizó el cloroformo debido a su punto de ebullición similar al del PLA (aproximadamente entre 60 y 62°C) [8].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para visualizar el patrón de dispersión de los MWCNTs sobre la superficie del PLA, se empleó un microscopio óptico con cámara de la marca Leica DM-LM procesadas con el software TV98®. En la Figura 2 se visualiza una dispersión de los MWCNTs sobre el polímero no homogénea.



Figura 2. MWCNTs dispersos en la película.

En la Figura 3, se observan los resultados de esfuerzo mecánico, se observó el Módulo elástico del PLA como se muestra en el andamio de MWCNTs/PLA se visualizó un incremento muy significativo en el polímero al reforzarlo con los MWCNTs.

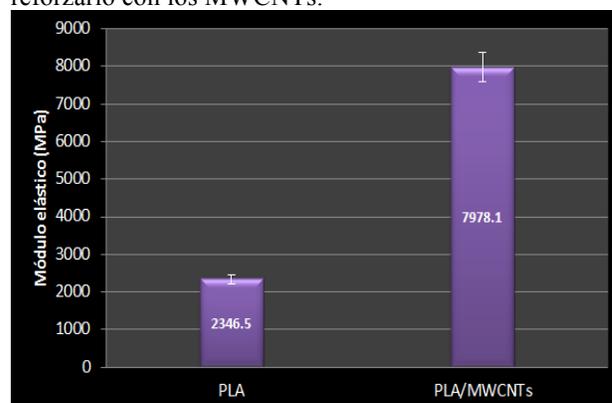


Figura 3. Modulo elástico del PLA y del PLA/MWCNTs.

Esta técnica experimental sirvió para determinar la cantidad de calor que absorbe o libera el material, cuando se calentó y enfrió incrementando 10 °C cada minuto en un intervalo de temperaturas de 0-180 °C.

En la Figura 4 se muestran las temperaturas de fusión del polímero, en el PLA se observa que se encuentra en 148-150°C en el primer y segundo calentamiento, respectivamente. En el andamio con MWCNTs/PLLA se observa un ligero aumento de 2-3°C, lo cual indica que al añadir los MWCNTs al polímero, se aumenta la cristalinidad del polímero y requiere una mayor temperatura para fundirlos.

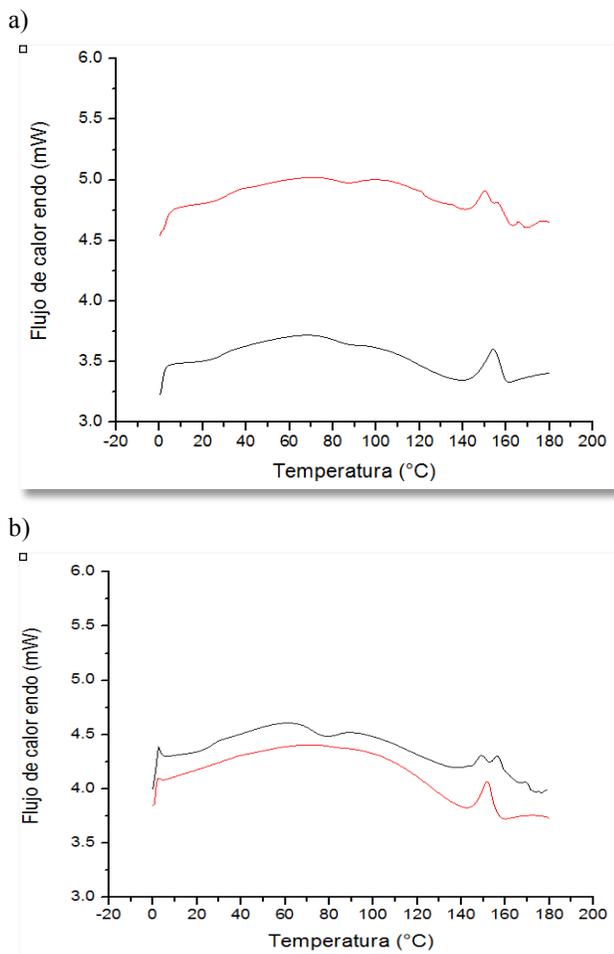


Figura 4. a) Curvas promedio de Calorimetría Diferencial de Barrido del PLA y, b) andamio MWCNTs/PLA. (Color rojo: primer calentamiento, color negro: segundo calentamiento).

En la Figura 5 se observan los resultados del ensayo colorimétrico de Vida-Muerte, después de sembrar células madre de pulpa dental (HDPSCs, *Human Dental Pulp Stem Cells*) por 14 días los cuales muestran que se presenta una viabilidad superior en los soportes con PLA/MWCNTs hasta un 30% mayor a los del PLA puro.

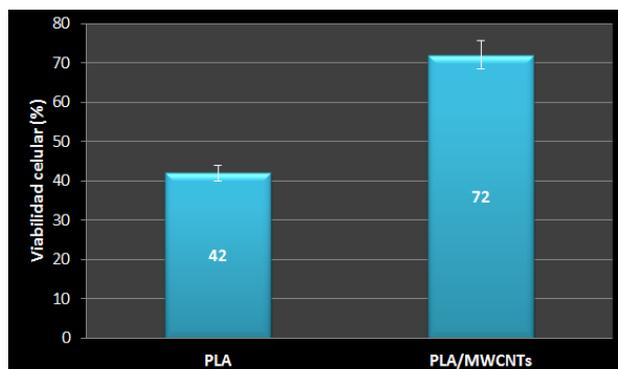


Figura 5. Ensayo de vida-muerte de PLA vs PLA/MWCNTs.

IV. CONCLUSIONES

Al continuar investigando y desarrollando biomateriales, se podrán desarrollar sustitutos biológicos que permitan restaurar, mantener y mejorar la función de los tejidos, superando las limitaciones de los tratamientos convencionales, los cuales irán en función del tipo de tejido que se desea regenerar.

En este estudio, se lograron mejorar las propiedades mecánicas del PLA gracias al refuerzo con nanotubos de carbono, debido a que el tejido óseo, requiere un elevado Módulo elástico, lo que sugiere que se pueda emplear en la regeneración de hueso compacto, esponjoso y cartílago. Sin embargo, debe ser sometido a exhaustivas pruebas *in vitro* antes de su aplicación sobre biomodelos con ensayos *in vivo*.

El ensayo de Vida-Muerte presentó un incremento del 42% al 72% en la viabilidad celular con células madre de pulpa dental (HDPSCs) a los 14 días, lo que plantearía la posibilidad de poderse emplear en un sistema biológico sin ser citotóxico.

La Ingeniería Tisular persigue desarrollar biomateriales que se mimeticen con el tipo y características de cada tejido de acuerdo a sus propiedades específicas, las cuales se deben considerar desde su fase de diseño y validarlas al caracterizar el biomaterial.

V. REFERENCIAS

- [1] M. S. Chapekar, "Tissue engineering: challenges and opportunities," *J. Biomed. Mater. Res.*, vol. 53, no. 6, pp. 617–620, 2000.
- [2] R. Langer and J. P. Vacanti, "Tissue engineering," *Science*, vol. 260, no. 5110, pp. 920–926, May 1993.
- [3] A. K. Saxena and others, "Tissue engineering: Present concepts and strategies," *J. Indian Assoc. Pediatr. Surg.*, vol. 10, no. 1, p. 14, 2005.
- [4] A. Bianco, K. Kostarelos, C. D. Partidos, and M. Prato, "Biomedical applications of functionalised carbon nanotubes," *Chem. Commun.*, no. 5, p. 571, 2005.
- [5] M. L. Flores-Cedillo *et al.*, "Multiwall carbon nanotubes/polycaprolactone scaffolds seeded with human dental pulp stem cells for bone tissue regeneration," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 27, no. 2, Feb. 2016.
- [6] F. Avilés, J. V. Cauich-Rodríguez, L. Moo-Tah, A. May-Pat, and R. Vargas-Coronado, "Evaluation of mild acid oxidation treatments for MWCNT functionalization," *Carbon*, vol. 47, no. 13, pp. 2970–2975, Nov. 2009.
- [7] S. Ochandiano Caicoya, "Relleno de cavidades óseas en cirugía maxilofacial con materiales aloplásticos," *Rev. Esp. Cir. Oral Maxilofac.*, vol. 29, no. 1, pp. 21–32, Feb. 2007.
- [8] Espinoza González C. J., "Dispersión de nanotubos de carbono en polímeros. Limitaciones y retos," *Ideas CONCYTEG*, vol. 6, no. 72, pp. 760–771, 2011.

VI. BIOGRAFÍAS



Flores-Cedillo, M. L. Nacida en San Luis Potosí, S.L.P. Actualmente es Profesora Investigadora en la División de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital.

Tiene una maestría en Ciencia de la Ingeniería Mecánica y un Doctorado en Ingeniería y Ciencia de los Materiales.

Es líder del Cuerpo Académico de Ingeniería Industrial del ITSSLPC, participa como asesora de diferentes proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, residencias profesionales, proyectos integradores y proyectos vinculados con empresas e instituciones de la región. Colabora con un grupo de investigación de la FESI-UNAM sintetizando y caracterizando materiales que puedan tener potenciales usos en la Regeneración de tejidos.

Morales-Barbosa, M. L. Nació en San Luis Potosí, S.L.P.



Es Profesora Investigadora en la División de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital y formo parte de su Cuerpo Académico.

Tiene una maestría en Administración de Sistemas de Calidad.

Aporta su experiencia de más de 25 años en la iniciativa privada en las aulas y está certificada en Sistemas de Calidad.

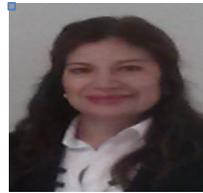
Asesora a estudiantes con proyectos de residencia profesional, tutorías, innovación tecnológica y lidera proyectos institucionales de Seguridad e Higiene, Protección Civil y el Capítulo de Ingeniería Industrial



Del Ángel-López H. Z. Potosina de nacimiento. Es maestra en Manufactura Avanzada, tiene 6 años de experiencia en la Industria, desempeñándose en el área de Calidad y Logística principalmente en el arranque de plantas, implementación de sistemas

de calidad y control de documentos, calidad proveedores, etc. Durante 6 años se ha desempeñado como docente en el área de Ingeniería Industrial, impartiendo materias de especialidad, manufactura, logística y estadísticas. Actualmente es miembro del Cuerpo Académico de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital, tiene publicaciones científicas y

académicas y participado en el desarrollo de diferentes proyectos de impacto tecnológico en empresas de la región.



Sierra-Guerrero A. M. Es nacida en San Luis Potosí, S.L.P. Tiene una maestría en Planeación y Sistemas por la Facultad de Ingeniería División Posgrado UASLP.

Cuenta con 10 años de experiencia en la industria Metal Mecánica, Textil y de Servicios.

Es auditora Certificado con la ISO 9001-2008.

Tiene 14 años de experiencia en la docencia, a nivel licenciatura y posgrado y publicaciones técnico-científicas.

INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD DE LA PYME. PROPUESTA DE PROYECTO PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO

MAAD. D.A. Noriega Rodríguez¹

Resumen— La innovación entraña el propósito de mejorar la posición competitiva de las empresas mediante la incorporación de nuevas tecnologías y conocimientos de distintos tipos. La prioridad de la innovación como factor de competitividad tiene expresiones y significados diferentes para cada sector. Por ello, abordaremos la situación de la industria metalmeccánica y las PYME como campo de acción de este proyecto de investigación aplicada, siendo éste un proyecto de innovación debido a que se ve reflejada en productos y procesos. En el contexto nacional y del sector objeto de estudio, se confirma que la innovación es más característica de empresas de mediano tamaño, de capital nacional, y que predominan actividades innovadoras de productos y en la adquisición de maquinarias y equipos, el cual incide en actividades de innovación de productos.

El problema a resolver mediante el proyecto de investigación es: ¿Cómo incrementar los resultados innovadores en las PYME del sector metalmeccánico de la región? El objetivo general consiste en: Diseñar una propuesta de proyecto de innovación, basado en el diagnóstico de los recursos e incremento de capacidades empresariales, mediante la adquisición de equipos y maquinarias, en una pequeña empresa del sector metalmeccánico de la Comarca Lagunera..

Palabras claves— innovación abierta, innovación en sector metalmeccánico, proyecto de innovación.

Abstract—Innovation involves the purpose of improving the competitive position of businesses by incorporating new technologies and different kind knowledge. The innovation priorities as a competitive factor and expressions have different meanings for each sector. Therefore, we will address the situation of the metalworking industry and SMEs as a field of action of this applied research project, this being an innovation project because it is reflected in products and processes. In the national context and the object of study sector it confirms that innovation is more characteristic of medium-sized companies, national capital and that predominate innovative product activities and the acquisition of machinery and equipment, which affects activities product innovation.

The problem to be solved by the research project is: How to increase the innovative results in the metalworking sector in SMEs in the region? The overall objective is: To design a project proposal innovation, based on the diagnosis of resources and increased business capabilities through the acquisition of equipment and machinery, in a small company in the metalworking sector of the Laguna Region.

Keywords— engineering sector innovation, innovation project, open innovation.

I. INTRODUCCIÓN

La innovación entraña el propósito de mejorar la posición competitiva de las empresas mediante la incorporación de nuevas tecnologías y conocimientos de distintos tipos. El proceso de innovación consiste así en una serie de actividades no solamente científicas y tecnológicas, sino también organizacionales, financieras y comerciales; acciones que, en potencia, transforman las fases productiva y comercial de las empresas (Albornoz, 2009). Adicionalmente, para quienes analizan la innovación como fenómeno portador de transformaciones en gran escala, ella es la base de lo que hoy se denomina como sociedad del conocimiento y es también uno de los motores de la globalización (Albornoz, 2009)

Actualmente la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, representan elementos clave para el crecimiento de la productividad a nivel mundial dentro del fenómeno de la globalización económica (INEGI, 2014). Por ello, el Plan Nacional de Desarrollo en México 2013-2018 (Economía, 2014) menciona que tanto los modelos teóricos como la evidencia empírica permiten situar a la innovación y al desarrollo tecnológico entre las principales fuerzas para el crecimiento económico.

Sin embargo, contar con un entorno propicio para la innovación es complejo ya que requiere la participación de diversos actores, lo que deriva fácilmente en problemas de coordinación. Existen fallas de mercado que con frecuencia generan una inversión privada en innovación menor a la que resultaría socialmente rentable (Economía, 2014).

La prioridad de la innovación como factor de competitividad tiene expresiones y significados diferentes para cada sector. Por ello, abordaremos la situación de la industria metalmeccánica y las PYME como campo de acción de este proyecto de investigación aplicada que se

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Cd. Lerdo, Durango, México.
Correo electrónico: diego_arm4@hotmail.com

muestra a través de la innovación en productos y procesos.

II. PARTE TÉCNICA

A. *Definiciones de Innovación.*

Según el diccionario de la Real Academia Española la innovación se define como acción y efecto de innovar (Real Academia Española (RAE), 2009), y a su vez define innovar como mudar o alterar algo introduciendo novedades (Real Academia Española (RAE), 2009).

Para la OCDE (2004), el requisito mínimo de una innovación es que se considere una novedad o una mejora para la empresa, no tiene que ser nueva para el mundo entero; un nuevo uso, una aplicación inédita que a nadie se le había ocurrido. Lo aconsejable es llevarla a cabo sin provocar problemas secundarios (Sánchez, 2010).

B. *Tipos de Innovación*

La innovación le permite a una organización crear valor a través del desarrollo de un nuevo conocimiento o por usos nuevos del conocimiento existente, mediante un proceso que comprende la definición de un problema o necesidad que debe ser atendida, la concepción de la idea que dará la solución, su adopción, su implementación y su comercialización. Este proceso se materializa en nuevos productos o servicios, o por nuevos modelos de negocios, técnicas administrativas y estructuras organizacionales (Bear, 2006).

Según el uso, las innovaciones se clasifican en tecnológicas o administrativas. Las primeras se dan por la nueva utilización de una herramienta, técnica, aparato o sistema; y las segundas modifican la estructura de la organización. De acuerdo con el grado de la innovación, se encuentran las radicales y las incrementales. La innovación también se asocia al ámbito donde ésta se realice: el mundo, el país, y al interior de la empresa (Becerra & Álvarez, 2010), pero también en las redes empresariales localizadas dentro de territorios específicos (Casas, 2011).

Una de las clasificaciones más empleadas se refiere a las innovaciones tecnológicas y no tecnológicas. Las innovaciones tecnológicas se clasifican en:

Innovación tecnológica en producto. Es la introducción al mercado de un producto tecnológicamente nuevo (cuyas características tecnológicas o usos previstos difieren significativamente de los correspondientes a productos anteriores de la empresa) o significativamente mejorado, previamente existente, cuyo desempeño ha sido perfeccionado o mejorado en gran medida (Palomino, 2010)

Innovación tecnológica en proceso. Es la adopción de

métodos de producción nuevos o significativamente mejorados. Puede tener por objetivo producir o entregar productos tecnológicamente nuevos o mejorados, que no puedan producirse ni entregarse utilizando métodos de producción convencionales, o bien aumentar fundamentalmente la eficiencia de producción o entrega de productos existentes (Palomino, 2010)

Las Innovaciones no tecnológicas se introducen sobre todo desde los estudios de la Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología, y el nuevo concepto de innovación introducido por el Manual de Oslo en el 2005. Dentro de ellas se consideran:

Innovación empresarial en la organización. Es la introducción de cambios en las formas de organización y gestión del establecimiento o local; cambios en la organización y administración del proceso productivo, incorporación de estructuras organizativas modificadas significativamente e implementación de orientaciones estratégicas nuevas o sustancialmente modificadas (Palomino, 2010).

Innovación empresarial en la comercialización. Es la introducción de métodos para la comercialización de productos nuevos, de nuevos métodos de entrega de productos preexistentes o de cambios en el empaque y/o embalaje (Palomino, 2010)

Las innovaciones empresariales de tipo comercial, organizativa y en servicio pueden servir como guía para el estudio de caso presente.

C. *La innovación en las PYME*

Los problemas más comunes a los que se enfrentan las PYME innovadoras frente a los rápidos cambios tecnológicos del entorno, están relacionados con las limitaciones de recursos, tanto de estructura interna como de financiación (Freel, 2007; Won Kang et al, 2008). El establecimiento de relaciones externas consolidadas supone una alternativa muy atractiva para hacer frente a la inseguridad que plantea el desarrollo y el uso de nuevas tecnologías, y reduce las incertidumbres en la innovación (Diez, 2002). Por otra parte, en la era de la innovación abierta «open innovation» (Chesbrough, 2003), las empresas dependen cada vez más de fuentes externas de innovación, haciendo hincapié en las ideas, recursos y personas que entran y salen de las organizaciones, buscando y utilizando una gama más amplia de las ideas externas, conocimientos y recursos; las redes se están convirtiendo en estrategias cada vez más imprescindibles para la creación de innovaciones con éxito para las PYME.

D. *Gestión de innovación según estrategia.*

La gestión de la innovación está asociada a las estrategias que adopta la empresa. Según Von Krogh,

Roos y Sloum (1994) han señalado la existencia de dos tipos de estrategia (aplicables para las PYMES): de sobrevivencia y de avance.

Las primeras, las estrategias de sobrevivencia, intentan mantener la rentabilidad actual de la empresa, están fundamentadas en el conocimiento del entorno actual, tratan de obtener provecho de las oportunidades existentes y neutralizar las amenazas, es decir, solo se fundamentan en el análisis FODA.

Las segundas estrategias, las de avance por la innovación, garantizan la rentabilidad futura (su sostenibilidad), se apoyan en cualidades o capacidades que hay que desarrollar (Leonard-Barton, 1995), intentan obtener provecho de futuras oportunidades de negocio, reconocen las necesidades futuras de sus clientes (Handsome y Norman, 1993) y tratan de neutralizar amenazas del ambiente. Estas estrategias requieren de avance, de una imagen nueva de la empresa y de su ambiente de negocios, procedente de rangos de gerencia medios o inferiores, de expertos y de clientes.

E. Estrategias integrales de innovación

Algunos estudios muestran que algunos países exitosos han desarrollado estrategias integrales para fomentar la innovación han registrado incrementos importantes en sus tasas de crecimiento económico. La tabla No. 1 muestra los efectos de la estrategia de innovación, donde en general se observan mayores tasas de crecimiento tras su implementación.

TABLA I. PAÍSES EXITOSOS CON ESTRATEGIAS NACIONALES DE INNOVACIÓN.

País	Desarrollo de estrategia integral de innovación	Crecimiento económico en el quinquenio anterior*	Crecimiento económico en el quinquenio posterior
Finlandia	Mediados de los 90's	1990-1994: -1.2%	1995-1999: 4.5%
Irlanda	1997	1992-1996: 5.9%	1997-2001: 9.2%
Singapur	Mediados de los 80's	1981-1985: 6.5%	1986-1990: 8.5%
Estados Unidos	Inicios de los 80's	1978-1982: 1.8%	1983-1987: 4.5%

Fuente: Cálculos de Secretaría de Economía (SE, 2011) con Datos de OCDE, Banco Mundial y sitios sobre las políticas de innovación de los distintos países.

*Crecimiento real anual promedio del PIB en Paridad de poder de compra (PPP).

A nivel internacional, la medición del esfuerzo que realiza un país en ciencia, tecnología e innovación (CTI) con frecuencia se hace a través de la cuantificación del gasto nacional en la Investigación, Desarrollo, Tecnología e Innovación (IDTI) respecto a su PIB. Se tienen evidencias de que los países son más competitivos y sus ingresos per cápita tienden a ser mayores cuando invierten más en IDTI y tienen al sector privado como su principal fuente de financiamiento (Secretaría de Economía (SE) (2011)).

Con respecto a las fuentes generadoras de la innovación, Fariñas & López (2004) plantean que para las Empresas de Base Tecnológica (EBT), en el caso de España, el gasto de adquisición de equipo y maquinaria para la innovación están dentro de sus prioridades, teniendo un resultado en el desarrollo de nuevos productos en el caso de las manufacturas y empresas de producción. En estas empresas, los recursos dedicados por las empresas a las actividades de innovación tecnológica se clasifican en siete categorías de gasto: I+D interna; I+D externa; adquisición de maquinaria y equipo para la innovación; adquisición de tecnología inmaterial; diseño y otros preparativos para la producción y/o distribución; formación; e introducción de innovaciones en el mercado.

F. Información Sectorial vinculada a la metalmecánica en México

En el proceso de desindustrialización (2001-2010), uno de los sectores que mayores contracciones han observado en la economía mexicana es el de la metalmecánica. En este sector se han conjugado, no sólo los efectos de la crisis financiera mundial de 2009, sino también una penetración importante de productos provenientes de China.

En la tabla II podemos observar el flujo de los empleos de la rama metalmecánica en México.

TABLA II. FLUJO DE EMPLEOS DE LA RAMA METALMECÁNICA, 2003-2010.

	Empleos 2003-2010	Empleos 2007-2010
Productos metálicos	11,861	-10,010
Maquinaria y equipo	3,863	-4,648
Equipo de computación, comunicación, medición y otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	-29,140	-48,670
Equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos	-18,540	-31,492
Equipo de transporte	-27,686	-60,015
Muebles y productos relacionados	-7,356	-9,026
Total metalmecánica	-66,997	-163,861

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011)

La industria metalmecánica en México la conforman los fabricantes de artículos de alambre, tornillos, tuercas, roldanas, forjas, alimentadores de prensas para troquelado, de fundición, de mecanizados, galvanizado, de soldadoras, herramientas para roscar, así como las empresas involucradas en los procesos de pailería, afiladoras, cizallas, cepillos, dobladoras de lámina, tornos, punzonadoras, taladros de banco, pintura de piezas metálicas, galvanizado, cromado de partes, cerraduras, llaves de mano, corte y doblado de partes metálicas, inyección de piezas de plásticos, estampado y troquelado, entre los principales rubros (Metalmecánica, 2013).

G. Metodología.

Debido a la complejidad del entorno cambiante y para entender mejor lo que pasa dentro de la empresa, se opta

por el estudio de caso, en específico de una pequeña empresa metalmeccánica “Talleres Marsal”.

Para la investigación se utilizaron diferentes métodos, en lo fundamental de carácter cualitativo, por ser un estudio de caso, con técnicas de observación, entrevistas y de intervención al participar el investigador en la elaboración del proyecto de innovación propuesto.

La investigación se estructuró en diversas fases, las cuales no fueron lineales, de la siguiente forma:

Primera fase: Investigación de carácter documental, de diferentes fuentes de la literatura para la concepción y fundamentación del proyecto de innovación a proponer, el cual estuvo desarrollándose en todas las fases de la investigación.

Segunda fase: Descripción del comportamiento innovador de las PYME de Torreón, como contexto de la empresa objeto de estudio. Dado el acceso a la base de datos del Laboratorio Empresarial de la FCA-Torreón, se seleccionaron las PYME metalmeccánicas que conformaron parte de la muestra de un estudio empírico realizado en el 2012 en el Estado de Coahuila, con dos instrumentos que captaba el comportamiento de la innovación de las PYME del 2010-2012. Los datos abarcaron sólo el municipio de Torreón: 20 empresas en la primera base de estudio, y sólo 8 empresas metalmeccánicas que resultaron innovadoras, para lo cual se utilizaron técnicas estadísticas descriptivas con SPSS.

Tercera fase: se orientó al diagnóstico previo al diseño del proyecto de innovación de producto, realizado en base a entrevista, el levantamiento de datos por el investigador, la observación participante e indicadores de rentabilidad.

Cuarta fase: Se diseña una propuesta de proyecto de innovación de producto basado en la metodología establecida por INADEM para acceder a los apoyos financieros del gobierno para los emprendedores y MIPYME, elaborado mediante técnica de trabajo grupal en la empresa.

Dentro de las técnicas específicas para la gestión empresarial, se empleó la matriz de las 5 fuerzas competitivas de Porter (1982); la Matriz de perfil competitivo, la Matriz de tecnología y producto de Morín y Seurat (1998); técnicas de investigación de mercado y el diseño de proyecto.

La empresa objeto de estudio, es pequeña, del sector metalmeccánico de la Comarca Lagunera, que cuenta con 15 trabajadores: 11 operarios y 4 administrativos. El tiempo empleado en la investigación de campo fue de mayo a diciembre del 2014.

III. RESULTADOS

A. Caracterización de la innovación de las empresas del sector metalmeccánico en la Comarca Lagunera.

Con el propósito de tener un antecedente de la innovación de las PYME en el sector metalmeccánico, se procesaron mediante técnicas de estadística descriptiva, algunas preguntas de la base de datos de los factores estratégicos de la competitividad de las MIPYME en el Estado de Coahuila del 2010 al 2012 y de su modelo de negocio, perteneciente al Laboratorio Empresarial de FCA. Se tomó en cuenta solamente al municipio de Torreón, como referente de la Comarca Lagunera, que abarcó a 20 MIPYME del sector.

Algunas características socio demográficas de la muestra son: Las PYME del sector metalmeccánico no son jóvenes, es decir no están en los primeros 5 años, que es donde se presentan más problemas de mortandad, ya que un 35 % tienen de 5 a 9 años y un 65% están en etapa de madurez. De la muestra, un 75% son pequeñas y un 25% medianas.

A continuación, en la Tabla III, se reflejan las respuestas a diversas preguntas:

TABLA III. ACTIVIDADES DE INNOVACIÓN EN PYME DE SECTOR METALMECCÁNICO TORREÓN (2010-2012)

		%	
Productos/Servicios			
Cambios o mejoras en productos/servicios existentes	No	7.1	Si 92.9
Comercialización nuevos productos/servicios	No	50	Si 50
Procesos/Servicios			
Cambios o mejoras en los procesos de producción/servicios	No	14.3	Si 85.7
Adquisición de nuevos bienes de equipos	No	21.4	Si 78.6
Sistemas de gestión			
Cambios o mejoras en dirección y gestión	No	53.6	Si 46.4
Cambios o mejoras en compras y aprovisionamientos	No	53.6	Si 46.4
Cambios o mejoras en comercialización/ventas	No	35.7	Si 64.3

Fuente: Laboratorio Empresarial FCA (2012)

Las actividades innovadoras más importantes de las MIPYME del sector metalmeccánico son en mejora de producto (92,9%), seguida de cambios y mejora de la producción (85.7%) y la adquisición de bienes y equipo es del 78.6%. En el área de las innovaciones organizacionales (administrativas) alcanzan los valores más bajos en dirección y gestión y compras y aprovisionamiento (46.4% respectivamente) y un poco superior en comercialización (64,3%). Hay que señalar que el proyecto que se propone implica un producto nuevo para la empresa dentro de su cartera, desde la modernización de sus maquinarias, así como una actividad de gestión conjunta con el gerente para analizar la situación de la empresa en el sector y mercado y la

concepción de un proyecto como forma de mejorar su actividad productiva y de comercialización.

A continuación, se puede apreciar en la siguiente tabla los resultados respecto a los tipos de alianza;

TABLA IV. TIPOS DE ALIANZAS EN PYME DE SECTOR METALMECÁNICO TORREÓN (2010-2012)

		%		%
Comercializar productos	No	35.7	Si	64.3
Compras y abastecimientos	No	53.6	Si	46.4
Logística	No	46.4	Si	53.6
Actividades I+D	No	64.3	Si	35.7
Producción	No	66.7	Si	33.3
Universidades	No	57.1	Si	42.9
Entidades Gubernamentales	No	70.4	Si	29.6
Cooperación con ONG'S	No	59.3	Si	40.7

Fuente: Laboratorio Empresarial FCA (2012)

Como puede observarse en la Tabla No. 7, las PYME del sector metalmeccánico de la región tienen alianzas sobre todo para la comercialización de productos (64.3%), seguida de la logística con un 53,6% compras y abastecimientos con 46.4%, es decir, con los agentes de la cadena de suministro. El 70,4% de MYPIMES no establece asociaciones con las entidades de gobierno que son una de las fuentes alternativas de financiamiento para la innovación. En ello reside este proyecto, que muestra la oportunidad de acceder a los recursos financieros que se otorgan a través de convocatoria del INADEM

B. Estudio de Caso Talleres Marsal: Antecedentes y datos.

En 1904 en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. se crea el taller de Herrería Martínez. En 1936 Don Agustín Martínez amplía el taller a fragua y pailería. En 1976 cambia la denominación social a Talleres Marsal, con instalaciones para la fabricación de herramientas de construcción, estructuras para procesos industriales y continuando con la tradición de los servicios de pailería y forja. De 1976 a 1984 el principal cliente en servicios fue Industrial Jabonera La Esperanza.

Actualmente se cuenta con una gran gama de productos, entre ellos: Fabricación de cangilones, gusanos, artesas, canalones, estructuras, forjados, anclas, argollas, barras de todo tipo, ganchos, etc.

La empresa está localizada en; Av. Vergel No 240 sur CP35000 Col. Centro, Gómez Palacio, Durango.

Cuenta con 15 (incluyendo nivel gerencial)

Tamaño de empresa, según número de empleados: microempresa.

Giro: Industria (metalmeccánica).

C. Análisis de las fuerzas competitivas del sector industrial.

En el poder negociador de los clientes; la gran mayoría de los clientes de Talleres Marsal son grandes empresas, correspondiéndole el mayor peso de la facturación; sin embargo, también se realizan trabajos para pequeñas y medianas empresas, en menor escala y menor frecuencia. Aproximadamente el 80% de la facturación de las ventas de Talleres Marsal corresponden a Grupo Peñoles, siendo éste el poseedor de un gran poder de negociación como cliente. Para disminuir su poder negociador como cliente a Grupo Peñoles, es ampliar la cartera de clientes y diversificar la cartera de productos para fortalecer a la empresa sujeto de estudio.

En cuanto al Poder negociador de los proveedores; En los procesos de fabricación de productos metálicos forjados y troquelados se utilizan exclusivamente el acero, el acero inoxidable y el acero comercial (según los requerimientos del cliente).

El lugar donde se decida comprar la materia prima depende de su disponibilidad, precio y condiciones de compra como el crédito (en caso necesario).

Referente a la amenaza de sustituto; El acero es uno de los materiales más utilizados en estructuras, debido a su fortaleza, bajo costo y fácil transportación. Se utiliza para tuberías (agua, aire comprimido y distribución de gas), líneas del servicio público, estructuras para la distribución de combustible, sistemas de aguas residuales, estructuras flotantes, y para colocar partes como calces, tapones, postes, conexiones para expandir y anclas. Las estructuras de acero son susceptibles a distintos factores ambientales y otros riesgos que comprometen seriamente la integridad, seguridad y durabilidad de la estructura.

El acero es propenso a la corrosión en ambientes exteriores. La corrosión es la destrucción del metal debido a cómo reacciona con el oxígeno del ambiente. Algunos métodos utilizados en la preparación de la superficie de acero son la abrasión por ráfaga en seco, abrasión con agua a alta presión, pintura y sustituir el acero por aleaciones anticorrosivas como aleaciones de titanio, de níquel, de aluminio y acero inoxidable. Éstos y otros métodos anticorrosivos son por lo general costosos y tienen ciertas limitaciones prácticas como la accesibilidad, ubicación y tiempo.

Entrando a la amenaza de nuevos competidores; Se identifica como un "posible competidor a futuro" a la empresa "Habilitaciones y servicios industriales", la cual es proveedora de Peñoles (al igual que Talleres MARSAL), pero en distintas áreas. La empresa "Habilitaciones y servicios industriales" provee al área de ingeniería en Peñoles, es decir, ellos cuentan con maquinarias más especializadas como son: dobladoras, grúas, equipo para montaje, máquinas de soldar a gasolina (trabaja sin corriente eléctrica), roladoras (para fabricar tanques), cizaña "pirañas" o llamadas también "metaleros"

que pueden realizar una gran cantidad de productos y les da una ventaja.

IV. CONCLUSIONES

La empresa objeto de estudio, Talleres Marsal, posee excelentes credenciales en Peñoles y en otras empresas en las que realiza trabajos de manera frecuente hace muchos años, al poseer una calificación sobresaliente que lo coloca como proveedor de confianza. En base al análisis de las fuerzas competitivas del sector, se realizó una comparación entre las empresas de rivalidad competitiva de los Talleres Marsal, el cual arrojó que existe una diferencia distintiva en cuanto a la calidad de sus productos intermedios y experiencia por encima de los competidores. Las causas de la mayor calidad reside sobre todo en la existencia de empresas metalmeccánicas en la región que realizan sus productos con materiales de segunda (baja calidad) y materiales chatarra, sin el consentimiento de los clientes. Este fenómeno se refleja en los bajos precios y en la poca durabilidad, terminados “pobres” y baja o nula calidad que les entregan estas empresas a sus clientes, sin contar que no cumplen con las especificaciones de los mismos.

El análisis de los competidores también evidenció la existencia de un “posible competidor a futuro”, la empresa “Habilitaciones y servicios industriales” que trabaja para Peñoles, la cual cuenta con una infraestructura de maquinarias más diversas y modernas que le permite aumentar la diversidad de su cartera de productos y obtener una ventaja con respecto a los restantes proveedores de Peñoles..

V. RECOMENDACIONES

La empresa sujeto de estudio, Talleres Marsal, posee reconocimiento, una cartera de clientes amplia y fiel. Sin embargo, como se ha visto con anterioridad, la mayoría de la producción cae sobre un solo cliente Peñoles. Se recomienda, a mediano plazo explotar sus recursos y capacidades propias, tomar ventajas de sus tecnologías propias para ampliar su cartera de clientes, diversificando su producción en varios clientes medianos y grandes. El impulso que se ha dado en los últimos años en la región de la Comarca Lagunera a la construcción del libramiento periférico norte permitirá analizar, utilizar y adquirir nuevas tecnologías para tener un mayor alcance y desarrollo.

Seguir monitoreando la oportunidad para que la empresa pueda ser sujeta a un préstamo, financiamiento o apoyo a fondos perdidos por el gobierno federal mediante INADEM u otra institución que pueda proporcionar tales apoyos.

VI. REFERENCIAS

- [1] Acosta, F. Jaime (2014) Estudio sobre el comportamiento de los sectores económicos en Coahuila: 2002-2012. Observatorio de Económico Financiero. FCA- -Torreón. UAdeC. En impresión.
- [2] Albornoz, M. (2009). Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 5, 9-25.
- [3] Bear. (2006). Where do innovation come from? USA. *Socio-Economic Review*
- [4] Becerra, F., & Álvarez, C. (2010). El Talento Humano y la innovación empresarial en el contexto de las Redes Empresariales. Retrieved from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0123592311701644?via=sd&cc=y>
- [5] Casas, Rodríguez, F. B., & Giraldo, C. M. Á. (2011). El talento humano y la innovación empresarial en el contexto de las redes empresariales *Estudios Gerenciales*, 27(119), 209-232, Colombia
- [6] Eurostat, & OCDE. (2006). Guia para la recogida e interpretación de datos sobre innovación. Retrieved from http://www.uis.unesco.org/Library/Documents/OECDOSloManual05_spa.pdf.
- [7] INEGI (2014) Encuesta de Investigación, desarrollo tecnológico e innovación ESIDET - MBN 2012. Retrieved from: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/ESIDET-MBN/ESIDETBN2012.pdf
- [8] INEGI, (2008). Encuesta Mensual industrial INEGI. México, D.F. <http://www.inegi.org.mx/>
- [9] Metalmeccánica, R. (2012). México: Pronósticos favorables para la industria metalmeccánica en 2013. *Revista Metalmeccánica*.
- [10] Palomino, H. (2010) Gestión de la innovación y la tecnología en la PYME. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3340610>
- [11] Real Academia Española (RAE) (2009) Madrid, España.
- [12] OCDE. (2004). Retrieved from www.mineco.gob.es/stfls/MICINN/.../ManuaFrascati-2002_sp.pdf
- [13] Sanchez, C. M. (2010). CULTURA ORGANIZACIONAL E INNOVACION DE EMPRESAS MEXICANAS. Master, IPN. Retrieved from <http://hdl.handle.net/123456789/10453>
- [14] Secretaria de Economía, (SE) (2011). Programa Nacional de Innovación Comité Intersectorial para la Innovación. México, DF.

VII. BIOGRAFÍA

Noriega Rodríguez Diego A. De Gómez Palacio Durango, el 2 de marzo de 1990. Egresado de la carrera de licenciatura en Administración (LAE) por el Tecnológico Laguna el 2012 con un postgrado en Administración y Alta dirección (MAAD) por la Universidad Autónoma de Coahuila en el 2015, ambas instituciones de Torreón, Coahuila, México.



Él tiene experiencia en los campos de finanzas, logística y educación. Laboró como auxiliar de logística en Chilchota Alimentos, desarrollador de planes de negocios y proyectos para solicitar financiamientos ante gobierno, analista de costos e inventarios para General Motors en Ramos Arizpe, Coahuila. Actualmente se desenvuelve como catedrático de inglés en la Universidad Tecnológica de Torreón (UTT) en Torreón, Coahuila y catedrático de varias materias en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) en la ciudad del mismo nombre en Durango, México. Con interés especial de investigación en las ciencias económico-administrativas y de la educación.

MAAD. Noriega. Miembro de egresados del Tecnológico Laguna del campo de estudio. Actual colaborador de distintas actividades realizadas en las universidades en que actualmente labora.

Ruta cultural, una oportunidad de negocio en la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla

A. B. Téllez-Zapata^{1,*}, C. Domínguez-Olmos¹, M. P. Tello Velasco¹.

Resumen— El presente trabajo fue realizado con la finalidad de identificar áreas de oportunidad de negocio para la región de Tepexi de Rodríguez y generar una propuesta en la cual se aprovechen los recursos existentes en la zona. El proyecto consistió en realizar una investigación con un enfoque cualitativo-inductivo, utilizando la entrevista como método de recolección de información; las muestras en primera instancia se eligieron por cadena o por redes, posteriormente se entrevistó a cinco de los principales actores en el ámbito religioso dentro de las comunidades. La investigación se realizó en un periodo comprendido de enero a diciembre de 2016, abarcando cuatro localidades: Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez y San Juan Ixcaquixtla. Dando como resultado la identificación de una ruta turística cultural religiosa que difunda costumbres y tradiciones de las comunidades, así también contribuya a activar la economía local y generar una alternativa de ingresos para la población.

Palabras claves—Fiestas patronales, oportunidad de negocio, región de Tepexi, ruta cultural religiosa.

Abstract— The present work was carried out with the purpose of identifying areas of business opportunity for the region of Tepexi de Rodríguez and generating a proposal in which the existing resources in the area are used. The project consisted of conducting research with a qualitative-inductive approach, using the interview as a method of data collection; the samples in the first instance were chosen by chain or by networks, and subsequently interviewed five of the main actors in the religious field within the communities. The research was carried out from January to December 2016, covering four locations: Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez and San Juan Ixcaquixtla. As a result, the identification of a religious cultural tourism route that diffuses customs and traditions of the communities, also helps to activate the local economy and generate an alternative of income for the population.

Keywords—Religious festivals, business opportunity, region of Tepexi, religious cultural route.

VIII. INTRODUCCIÓN

Para Arredondo, Hernández y Mendoza, [1] el turismo es una de las principales actividades económicas en el

mundo, genera una importante derrama económica, inversión, empleos directos e indirectos, y puede contribuir al crecimiento económico y al progreso social de los países en vías de desarrollo, favorece la realización de actividades que atienden la demanda de los turistas como el hospedaje, la alimentación, el transporte, la diversión, el conocimiento de tradiciones, atractivos y de la cultura, entre otras. Además, atrae inversión nacional y extranjera e impulsa la infraestructura regional mediante la construcción de urbanización y vías de comunicación aérea, terrestre o marítima.

De acuerdo a la Secretaría de Turismo [5] el Turismo Cultural se define como aquel viaje turístico motivado por conocer, comprender y disfrutar el conjunto de rasgos y elementos distintivos, espirituales y materiales, intelectuales y afectivos que caracterizan a una sociedad o grupo social de un destino específico.

Una forma de realizar turismo son las rutas culturales, como lo menciona Torres [3]. Las cuales, se integran fácilmente, incluso de manera espontánea, dentro de lo que se suele conocer como turismo cultural, cuya demanda crece hoy día por encima de la media del turismo en general y de la mayoría de los segmentos temáticos más conocidos. La diferencia fundamental con el resto del turismo cultural es que la ruta consiste, por su propia esencia, en recorrer y al mismo tiempo ver, conocer, sentir..., no permanecer, como puede ocurrir con gran parte del turismo de sol y playa, urbano, el de espectáculos o el deportivo.

Según datos de la Secretaría de Turismo [5], el turismo en México se incrementó en 9.5%, esto es, más del doble del crecimiento mundial en 2015, cuyas divisas reportaron una alza de 37%; esto de acuerdo a lo dicho por el director general del Consejo de Promoción Turística de México (CPTM), Rodolfo López Negrete.

Yolatl [6] expone que la ciudad de Puebla no sólo es conocida por sus tradiciones, sino también por sus templos religiosos que están llenos de historia y de gran riqueza arquitectónica. Estos inmuebles son fieles guardianes de cientos de imágenes religiosas, catalogadas como increíbles obras de arte que cualquier persona puede admirar. Por lo que durante la realización del presente trabajo se identificó como una oportunidad de negocio, la creación de una ruta turística cultural que destaque aspectos religiosos de la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla, incentivando de esta forma la economía local.

¹ Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Av. Tecnológico S/N Barrio San Sebastián Sección Primera C.P. 74690 Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.* dooc1424@gmail.com (autor correspondiente)

Coronado [2] expresa que Tepexi de Rodríguez es un municipio del Estado de Puebla que se ubica al sur de la entidad. Se revela como un sitio de especial importancia por su potencial en el crecimiento económico de la nación, ya que posee todos los elementos necesarios; su gente, su medio físico y su rica composición cultural, así como su historia. La composición geográfica del municipio es uno de los aspectos más interesantes del mismo, ya que ha preservado la huella de la flora y fauna de otros tiempos. La actividad económica a la que se le ha apostado más, es la extracción, transformación y comercialización del mármol. Ya que se encuentran importantes yacimientos de este valioso material.

Sin embargo se puede observar que a pesar de ello la comunidad de Tepexi de Rodríguez sigue teniendo un bajo desarrollo económico por lo que es importante generar nuevas alternativas de ingreso para la población.

La propuesta es el trazo y promoción de rutas turísticas enfocadas a las festividades religiosas de las comunidades aledañas a Tepexi de Rodríguez. Esto debido a que la región posee gran cultura e historia, lo que se ve reflejado en las fiestas patronales de las localidades, y si estas son difundidas despertarán el interés de muchos turistas. Tal es el caso de las comunidades de Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez y San Juan Ixcaquixtla; que forman la propuesta de la ruta turística cultural religiosa, de manera que se exponga la gran riqueza que poseen.

IX. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Descripción del método

El enfoque que se utilizó para el trabajo fue cualitativo-inductivo, tal como lo explica Sampieri, [4] se enfoca a comprender y profundizar los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con el contexto. Se realizó en un periodo comprendido de enero a diciembre de 2016 abarcando cuatro localidades, Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez y San Juan Ixcaquixtla.

Para ello en primera instancia se elaboró un protocolo de investigación dentro de la materia Taller de Investigación I, donde se realizó una indagación general de la región de Tepexi de Rodríguez para conocer el contexto actual que acontece y así detectar áreas de oportunidad de negocio que generen ingresos a la población de la región basadas en datos históricos y el entorno presente. Para esto se utilizó la recolección de información de diversas fuentes secundarias, tanto electrónicas como impresas y se procedió a su análisis. Así como, la implementación de muestras de casos-tipo, realizando entrevistas a tres empresarios de éxito en la región, para analizar e identificar las áreas de negocio que estos están aprovechando y conocer sobre algunas otras

que se pudieran derivar de ellas, siendo de gran utilidad el conocimiento del paradigma que tiene cada uno de ellos acerca de las áreas de negocio de la región. También se realizaron muestras en cadena o por redes, ya que se identificaron a tres participantes clave, los cuales sugirieron una oportunidad de negocio no muy conocida o explotada.

En una siguiente etapa, en la materia de Taller de Investigación II, se partió de lo examinado y realizado para protocolo; por lo que se eligió una línea de estudio de entre las posibles áreas de oportunidad de negocio detectadas, siendo esta el turismo cultural, debido a la gran riqueza de tradiciones y festejos religiosos en la región.

En un inicio se consideró conveniente indagar sobre datos históricos que revelaran aquellos lugares de la zona con mayor valor histórico y religioso. Al existir escasa información documental sobre el tema, se contactó y entrevistó al cronista del municipio de San Juan Ixcaquixtla el Dr. Javier Delgado Gamboa, al cual se le realizaron tres entrevistas, proporcionando datos de gran interés acerca de los pueblos prehispánicos asentados en la región y la evangelización de los mismos por los españoles, destacando los templos de mayor importancia.

A partir de esta información se eligieron cuatro parroquias con mayor valor histórico y cultural, siendo estas: Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez, y San Juan Ixcaquixtla, para conformar la propuesta de la ruta turística cultural religiosa. Posteriormente se procedió a indagar sobre la festividad realizada en torno al santo principal, es decir, la celebración de la fiesta al Santo Patrono de cada una de las comunidades, siendo estas, las más grandes y de mayor riqueza cultural histórica.

Por lo que fue importante indagar sobre la forma en que son llevadas a cabo estas fiestas patronales, desde la fecha de celebración, el Santo al cual están dedicadas, las actividades tradicionalmente efectuadas, otras fiestas de importancia, hasta el cómo surgen las costumbres y tradiciones en torno a la festividad. Por lo que se acudió a realizar entrevistas a los Párrocos Rafael Amaro Goiz de la parroquia de Tepexi de Rodríguez, Jesús C. González de la parroquia de Molcaxac; a la madre María Mendoza Gómez, hermana menor de Jesús de la parroquia de San Juan Ixcaquixtla y a un miembro activo de la comunidad religiosa de Tepexi la Sra. Maribel Gines Aranguthy.

Finalmente se analizó y concentró toda la información recabada, y fue ordenada en una tabla de forma resumida, donde se presentan los aspectos más relevantes de cada una de las fiestas patronales de las comunidades de la región de Tepexi de Rodríguez y que conforman la propuesta de la ruta cultural religiosa.

X. RESULTADOS

De acuerdo a lo descrito en el método, a partir de la información recabada acerca de las fiestas patronales de cada una de las localidades que conforman la ruta turística cultural religiosa propuesta, se realizó la Tabla I que engloba a las cuatro comunidades con mayor riqueza histórica y religiosa de la región, las cuales son: Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez y San Juan Ixcaquixtla.

TABLA I.
RUTA TURÍSTICA RELIGIOSA

Ruta Turística Religiosa				
Comunidad	Molcaxac	San José de Gracia	Tepexi de Rodríguez	San Juan Bautista Ixcaquixtla
Santo Patrono	Santísima Virgen de la Asunción	San José	Santo Domingo de Guzmán	San Juan Bautista
Fecha de la Feria al Santo Patrono	15 de Agosto	19 de Marzo	8 de Agosto	24 de Junio
Fiestas más importantes después de la patronal	12 de Diciembre en conmemoración a la Virgen de Guadalupe	El desposorio de José y María el 26 de Noviembre	La fiesta en Honor al Señor de Huajoyuca el primer viernes de cuaresma	San Isidro el 15 de Mayo y 12 de Diciembre en conmemoración a la Virgen de Guadalupe
Otras	Semana Santa, Navidad, Día de todos los Santos (2 de Nov.), fiesta de las capillas de los barrios.	Semana Santa, Navidad, Día de todos los Santos difuntos (2 de Nov.), 12 de Diciembre en conmemoración a la Virgen de Guadalupe, fiesta de las capillas de los barrios.	Semana Santa, Navidad, Día de todos los Santos difuntos (2 de Nov.), 12 de Diciembre en conmemoración a la Virgen de Guadalupe, La Preciosa Sangre, Día de la Santa Cruz 3 de Mayo, fiesta de las capillas de los barrios.	Semana Santa, Navidad, Día de todos los Santos difuntos (2 de Nov.), fiesta de las capillas de los barrios (3 de Mayo, 8, 11 y 13 de Diciembre)

La primera localidad que encontramos en la tabla es Molcaxac, la información que se presenta se recabó mediante una entrevista al párroco de la comunidad Jesús C. González. Él explico que la fiesta más importante de Molcaxac es celebrada el 15 de agosto en honor a la Virgen de la asunción, pero que prácticamente todo el mes

de agosto es de fiesta, se inicia el día primero y concluye el día 22, se realiza un novenario a la Virgen hasta llegar al día 15 de agosto y del 16 al 22 se hace un octavario donde participan los gremios, tales como: comerciantes, profesionistas, taxistas, entre otros.

Es una fiesta grande, regional, la cual lleva muchos años. Su historia se remonta a la llegada de los españoles cuando construyeron el templo de Santa María de la Asunción, trajeron la imagen de la Virgen que es italiana, del siglo XVI, la patrona es Europea, fue traída desde España. Es así, como los Mixtecos empezaron a celebrar la fiesta en su honor.

En la actualidad para realizar la fiesta, los mayordomos se conforman por los barrios del pueblo, Barrio de San Miguel, San José, San Pedro y San Juan, son de 15 a 20 personas las que organizan todo con apoyo de la comunidad.

Día a día se repican las campanas a las 5 de la mañana, rosarios, procesiones, peregrinaciones y sacramentos son algunas de las actividades religiosas más sobresalientes. Sin faltar por supuesto las mañanitas a la Virgen. Sobresalen las magníficas alfombras colocadas en las calles donde pasa la procesión de la Virgen de la Asunción. Fuegos pirotécnicos, bailes, jaripeo, juegos mecánicos, son algunas de las actividades que realiza la población para celebrar la fiesta.



Figura 1. a) Imagen de la Santísima Virgen de la Asunción; b) Alfombra de la procesión en honor a la Santísima Virgen de la Asunción; c) La virgen María en su desposorio.

La siguiente localidad es San José de Gracia, la información fue también proporcionada por el párroco Jesús C. González, ya que, abarca su jurisdicción como párroco de la comunidad de Molcaxac. Quien expreso que la fiesta patronal es el 19 de Marzo en honor a San José, la conforman misas, procesiones, novenario y octavario. Así como, juegos mecánicos, pirotecnia, jaripeo y baile; siendo estas algunas de las actividades más sobresalientes. Una fiesta de gran importancia en la comunidad también lo es el desposorio, la boda de José y María, conmemorada el 26 de noviembre, es como una boda de unos novios, se realiza una misa, una procesión por calles de la comunidad y al final se ofrece comida para festejar. Es una celebración que ya lleva muchos años y es muy poco

conocida. Se viste a María y José de novios, con anillos, arras, lazo y ramo. La fiesta es casi tan grande como la patronal, se realizan bailes, jaripeo, pirotecnia, entre otras actividades.

Otra de las comunidades propuesta para la ruta es Tepexi de Rodríguez, la información fue otorgada por el párroco Rafael Amaro Goiz, y un miembro religioso activo de la comunidad la señora Maribel Gines Aranguthy, quien además es secretaria de la parroquia. Quienes señalaron que la fiesta patronal de Tepexi de Rodríguez se conmemora el 8 de Agosto en honor a Santo Domingo de Guzmán. Novenario, misas y sacramentos son algunas de las actividades más relevantes que se realizan en la parroquia, acompañadas por bailes populares, jaripeo, pirotecnia y juegos mecánicos. Son invitados a participar algunos grupos de danza de la región, así como bandas de viento que alegran y dan ese toque festivo.

Para organizar la fiesta patronal se forma un grupo comisionado de los diferentes grupos parroquiales, quienes con apoyo del padre y de la comunidad coordinan las actividades de la festividad.

La fiesta más grande por la magnitud se realiza el primer viernes de cuaresma, donde se venera al Señor de Huajoyuca. Jueves, después del miércoles de ceniza, se realiza una procesión durante toda la noche con la imagen del Señor de Huajoyuca. Inicia aproximadamente el día jueves a las 19:00 horas y entra a las 07:00 de la mañana del día viernes.

Novenario, misas, octavario de gremios, procesiones, peregrinaciones, sacramentos, son algunas de las actividades religiosas más representativas de la feria. Eventos sociales donde se invitan a ballets de la región, bandas de viento creando la atmosfera festiva y solemne. Baile, jaripeo, pirotecnia, juegos mecánicos, encuentros deportivos entre otras muchas actividades que engrandecen la feria.

Para la realización de la fiesta en honor al Señor de Huajoyuca se crea una hermandad en coordinación con el párroco, para que de esta forma y con el apoyo de la comunidad se realice la celebración.



a)



b)



c)

Figura 2. a) Imagen del Señor de Huajoyuca; b) Portada de la iglesia en la celebración del Sr. de Huajoyuca; c) Imagen de la iglesia de San Juan Ixcaquixtla en la feria en honor a San Juan Bautista.

Finalmente dentro de la tabla encontramos a la localidad de San Juan Ixcaquixtla, la información fue otorgada por la madre María Mendoza Gómez, hermana menor de Jesús. Quién indico que la fiesta es el 24 de Junio en honor a San Juan Bautista, novenario, sacramentos, procesiones, octavario, peregrinaciones, las mañanitas a la Virgen, entre muchas otras actividades religiosas son las que conmemoran al santo patrono.

Eventos sociales, donde participan ballets de las escuelas de la comunidad, mencionando el acompañamiento de las bandas de viento tradicionales de la región que crean un ambiente festivo.

No falta la pirotecnia, el baile, jaripeo, encuentros deportivos, eventos culturales que refuerzan las tradiciones y costumbres de la comunidad.

La feligresía está compuesta por cuatro capillas de los cuatro barrios, las cuales celebran a sus Santos con misas y novenarios.

En el Barrio del 3 se adora a Jesucristo de Tejalpa el 3 de Mayo.

El Barrio del 8 venera a la Inmaculada Concepción el 8 de Diciembre.

El Barrio del 11 conmemora a la Santísima Virgen de Guadalupe el 11 de Diciembre.

En el Barrio del 13 se venera a la Santísima Virgen de Guadalupe el 13 de Diciembre.

La ruta turística cultural religiosa, está diseñada para toda aquella persona que desee conocer sobre la historia y cultura de la región de Tepexi de Rodríguez, zona Mixteca de Puebla.

Para la ejecución de la propuesta se recomienda formar un grupo de cuatro personas provenientes de las distintas localidades que integran la propuesta de la ruta cultural religiosa. Para que este grupo sea el encargado de la promoción y también de dar el servicio de guía. Trabajando de la mano de los distintos ayuntamientos de las localidades que conforman la ruta, llegando a formar incluso una asociación civil que trabaje en la administración de la misma para la difusión religiosa y cultural.

Como puede observarse en la tabla las fechas de la fiestas patronales son en meses distintos, solo coinciden la de Molcaxac y Tepexi de Rodríguez, por lo que, se recomienda asistir en las fechas de las celebraciones de los Santos Patronos que más llame la atención, para conocer las actividades realizadas en cada festividad mencionada por los entrevistados.

La ruta está pensada desde la perspectiva de que la mayoría de las personas que la recorran, en primera instancia se trasladarán a la capital del estado y que será a partir de está que comiencen con el recorrido de la ruta, llegando al municipio más cercano que es Molcaxac, posteriormente San José de Gracia, seguido de Tepexi de Rodríguez, y finalizando con San Juan Ixcaquixtla; o en dado caso comenzar con la comunidad de su preferencia y seguir con las demás que le parezcan más atractivas.

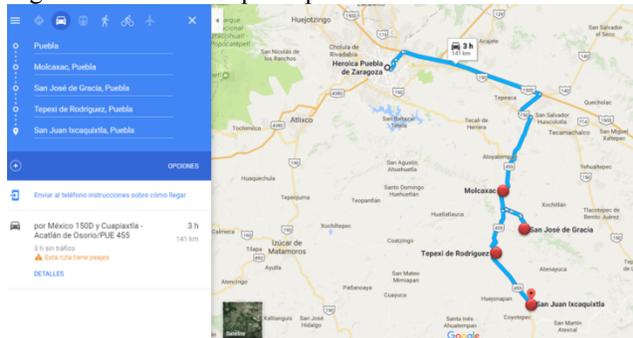


Figura 3. Imagen de google maps con la ruta de las comunidades integradas para la propuesta de la ruta turística cultural religiosa.

XI. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Conclusión

Se puede concluir que dentro de la región existe un gran potencial cultural, productivo y económico que ha sido desaprovechado, en primera instancia por la falta de formación emprendedora y empresarial, en los actores productivos, ya que se tiene una visión productora de subsistencia.

A partir del desarrollo de la investigación se detectó la gran riqueza histórica y cultural que posee la región, que va desde zonas arqueológicas, pinturas rupestres, museos, bellezas naturales, arquitectura, iglesias, costumbres y tradiciones, pero que han sido muy poco aprovechadas, al no dar difusión y cuidado a estas áreas. Por otro lado se encuentra la posibilidad del sector productivo al contar con una gran riqueza de recursos naturales, que puede ir desde el aprovechamiento de la agricultura hasta la extracción de minerales. Son muchas las actividades que pueden ser desarrolladas para activar la economía de la región, tal es el caso de la propuesta de la ruta turística cultural religiosa desarrollada en el presente trabajo como una oportunidad de negocio para la región.

Aún queda mucho camino por recorrer, la propuesta está hecha, ahora depende de que tan dispuestos estén los gobiernos municipales, así como, la población en general para contribuir en la ejecución de la misma, pero sobre todo en el compromiso de los pobladores para mantener y preservar su legado histórico y cultural, a través de las costumbres y tradiciones.

Recomendaciones

Con respecto a la reflexión anterior se presentan las siguientes recomendaciones:

- En primera instancia a las autoridades municipales de las localidades que conforman la propuesta de la ruta turística cultural religiosa, Molcaxac, San José de Gracia, Tepexi de Rodríguez y San Juan Ixcaquixtla, para que estas den mayor importancia a la historia y cultura que hay detrás de cada una de las festividades religiosas de su comunidad, participando en la conservación de las costumbres y tradiciones existentes en torno a las celebraciones patronales, difundiendo para que estas sean conocidas y visitadas por personas de todo el país o de otros países. Pero sobre todo destinando recursos para la preservación de lugares históricos y culturales de la zona que forman parte del patrimonio cultural e histórico de la región.
- A las instituciones educativas de la región, dirijan sus esfuerzos a generar proyectos de investigación que estén encaminados a comprender la realidad social que acontece hoy en día y proponer soluciones a las problemáticas detectadas con propuestas innovadoras, responsables y con beneficios para la población en general.
- A las personas que son originarias y habitan en las comunidades que forman la propuesta de la ruta cultural religiosa se sientan orgullosos de sus raíces y cuiden el legado histórico y cultural que forma parte de su historia, mediante acciones que contribuyan a mantener y preservar sus

costumbres y tradiciones, así como, lugares que resguarden un gran valor ancestral.

XII. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación no hubiera sido posible de no ser por la valiosa cooperación de las distintas personas que contribuyeron en su realización, en primer lugar el Dr. Marco Polo Tello Velasco así como de la M.A. Claudia Domínguez Olmos por su colaboración en la realización del mismo, así como a las personas que proporcionaron la información necesaria para la propuesta de la ruta, el Dr. Javier Delgado Gambo cronista de San Juan Ixcaquixtla, párroco Rafael Amaro Goiz de la parroquia de Tepexi de Rodríguez, párroco Jesús C. González de la parroquia de Molcaxac; a la madre María Mendoza Gómez, hermana menor de Jesús de San Juan Ixcaquixtla y a un miembro activo de la comunidad religiosa de Tepexi la Sra. Maribel Gines Aranguthy. Y a los empresarios entrevistados, que están teniendo éxito con actividades diferentes a la extracción del mármol. Gracias a todos ellos por su valiosa aportación para la realización de este trabajo.

XIII. REFERENCIAS

- [15] [1] Arredondo P., Hernández, C. y Mendoza, T. Propuesta para el diseño de rutas turísticas culturales “El caso del sur del estado de Jalisco, México”. (2013). Turismo & Sociedad, Vol. 6 pp. 324-344.
- [16] [2] Coronado, M. G. (2004). Tepexi de Rodríguez un pueblo con historia. México D.F.: Imagen Metropolitana S.A. de C.V.
- [17] [3] Torres, E. (2006). Rutas culturales. Recurso, destino y producto turístico. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, nº 60, pp. 84-97.
- [18] [4] Sampieri, R. (2010). Metodología de la Investigación. México D.F.: McGRAW-HILL Interamericana. pp. 364.
- [19] [5] Secretaría de Turismo. (2016). El Turismo en México aumentó más del doble del crecimiento mundial en 2015. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sectur/prensa/el-turismo-en-mexico-aumento-mas-del-doble-del-crecimiento-mundial-en-2015>
- [20] [6] Yolatl, P. (2013). Sexenio Puebla. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de Sexenio Puebla: <http://www.sexenio.com.mx/puebla/articulo.php?id=21983>

XIV. BIOGRAFÍA



Tellez Zapata Alejandra Belén nació el 1 de Febrero de 1995 en Molcaxac, y radica en la comunidad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Es estudiante del octavo semestre de la Licenciatura en Administración del Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez desde el 2013. Ha sido representante de su grupo en actividades sociales y culturales dentro del instituto. Las líneas de investigación que le interesan son de tipo social, económico y cultural.



Domínguez Olmos Claudia nació el 25 de Diciembre de 1978 en Molcaxac, Puebla, México. Inició sus estudios de nivel superior en 1998, en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México los cuales culminó en el año 2002 en la Licenciatura en Administración con especialidad en Desarrollo Empresarial. Es Maestra en Administración por la

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) estudios que curso durante el periodo comprendido del 2007 al 2009. Desde el 2016 se encuentra cursando el Doctorado en Alta Dirección en la Universidad del Valle de Puebla (UVP). Es Profesora de la Licenciatura en Administración en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez desde 2004. Es autora de artículos enfocados al desarrollo empresarial, regional y sustentabilidad, entre los cuales conviene destacar: “Competitividad Regional: Problemas del Emprendimiento en la Región de Tepexi de Rodríguez, Puebla” en 2015 (en colaboración con Cruz, S. M. Edmundo) Presentado y publicado en el libro del IX Workshop Latinoamericano de Emprendimiento e Innovación Red Emprendedur en Mar del Plata, Argentina. “Programa de educación ambiental como modelo para el desarrollo social de los municipios de la región mixteca de Puebla” en 2016 (en colaboración con Pacheco, P. Socorro y Martínez, R. Behetzaida) Presentado y Publicado en las memorias del “X Foro de Investigación Educativa” del Instituto Politécnico Nacional en ciudad de México. “Plantas medicinales de la zona de Tepexi de Rodríguez, como una alternativa de negocios sustentables” en 2016 (en colaboración con Cruz, S. M. Edmundo y Cruz, Ma. Elena) Presentado y publicado en el “Congreso Internacional de investigación Academia Journals” edición Villahermosa, Tabasco. Sus campos de interés han sido: La formación de emprendedores, la creatividad e innovación de productos y la aplicación de la mercadotecnia dentro de las MiPymes de la región de Tepexi de Rodríguez. En la actualidad centra su interés en el ámbito de la investigación y desarrollo sustentable de las MiPymes y los sectores productivos de la región de Tepexi de Rodríguez.



Tello Velasco Marco Polo nació el 20 de Marzo de 1957 en la comunidad de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México. Inició sus estudios de nivel superior en 1974, en la Universidad de las Américas Puebla A.C. (UDLAP), Puebla, México los cuales culminó en el año 1978 en la Licenciatura en Ingeniería Industrial. Tiene dos maestrías una Administración de Empresas cursada en el periodo comprendido de 1978-1982, y otra en Economía en el periodo comprendido de 1983-1985. Tiene un doctorado en Administración con Especialidad en Organizaciones otorgado por la Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM) realizado durante el periodo comprendido de 1987-1993 y un postdoctorado en Administración Binacional México-EUA otorgado por la universidad de Kent State University The University of Texas Panamerican realizado durante el periodo comprendido de 1995-1996. Ha desempeñado puestos inherentes a sus especialidades en distintas empresas privadas de los giros automotriz, siderúrgica, eléctrico, textil, alimentos y de cosméticos en México y emprendió varios negocios comerciales al inicio de su carrera profesional, su interés por la educación superior lo ha llevado a dedicarse en los últimos años a las labores docentes, de investigación y de apoyo académico, llevando a cabo estos quehaceres en universidades de carácter público y privado: veintidós universidades de la República Mexicana y cinco en el extranjero en países como Nicaragua, Honduras y los Estados Unidos de América. Se ha dedicado a labores de asesoría, consultoría y capacitación industrial, habiendo participado en trabajos de esta naturaleza en treinta y un empresas a la fecha, todas en distintos estados de México, manufactureras, comerciales y de servicios, públicas y privadas, ha publicado siete libros en coautoría, hecho tres revisiones técnicas de libros americanos, y publicado diez y ocho artículos en revistas académicas y empresariales; ha dictado múltiples conferencias en diversos foros nacionales e internacionales sobre la problemática de las organizaciones y la administración de sus funciones y atribuciones, ha impartido materias en los niveles de pregrado y posgrado durante 40 años en instituciones de educación superior. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Cuantificación y razones de la rotación de personal: estudio de caso en una empresa proveedora del sector automotriz en Torreón, Coahuila, México

J.J. Espinoza-Arellano^{1*}, A. I. Reyes-Urbina², S. López-Chavarría³.

Resumen— La rotación de personal ha existido desde que se iniciaron las relaciones de trabajo; sin embargo fue identificada como un problema aproximadamente en el año 1910 en los Estados Unidos de América. Debido a los problemas que ocasiona en las empresas es un fenómeno de gran importancia que requiere estudiarse a nivel de empresa. Los objetivos de este trabajo fueron: a) cuantificar el fenómeno de la rotación de personal en una empresa que se dedica a proveer soluciones de sellado y anti vibración para el sector automotriz en Torreón, Coahuila, México y b) identificar las causas por las cuales los trabajadores deciden salir de la empresa. La metodología utilizada fue el análisis de encuestas de salida a una muestra de 275 trabajadores. Los resultados indican que el 71.3% renunciaron en los primeros 6 meses de trabajo en la empresa; el 35.2% renunció en el primer mes o menos de estar trabajando y el 85% renunció en el primer año.

Palabras claves—encuestas de salida, rotación de personal, sector automotriz.

Abstract—Rotation of personnel has existed since the beginning of labor relations; however it was identified as a problem approximately in 1910 in the United States of America. Due to the problems that it causes in the companies is a phenomenon of great importance that requires to be studied at company level. The objectives of this work were: a) to quantify the phenomenon of personnel turnover in a company dedicated to providing sealing and anti-vibration solutions for the automotive sector in Torreón, Coahuila, Mexico; and b) to identify the reasons why Workers decide to leave the company. The methodology used was the analysis of exit surveys to a sample of 275 workers. The results indicate that 71.3% resigned in the first 6 months of work in the company; 35.2% resigned in the first month or less of being working and 85% resigned in the first year

Keywords—Exit polls, personnel turnover, automotive sector

^{1,3} Catedráticos Investigadores de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. Boulevard Revolución 153 Ote. Col. Centro C.P 27,000, Torreón, Coahuila, México.

² Ex Alumna de la Maestría en Administración y Alta Dirección de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. * [jesuspinoza_612@yahoo.com.mx](mailto:jesusespinoza_612@yahoo.com.mx).

XV. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales recursos con los que cuenta una organización es sin duda alguna su capital humano; éste tiene un peso significativo en el desempeño que puede llegar a tener la empresa en sus operaciones y resultados. Sin embargo, el capital humano es también uno de los recursos más difíciles de manejar, ya que el ser humano cuenta con pensamientos y sentimientos propios que pueden ser influenciados por factores tanto internos como externos, lo cual afecta su rendimiento y hasta cierto punto vuelve impredecible su comportamiento.

Es por ésta importancia y por éstas características que el contar con una buena gestión de personal es imprescindible dentro de las empresas. Todas las personas que tengan a su cargo el manejo de personal deben tener conocimientos sobre éste fenómeno. Una buena gestión será posible si se logra desarrollar la creatividad, productividad, motivación y sentido de pertenencia de los trabajadores dentro de la empresa, ya que esto favorecerá a un mejor uso del capital humano (Molina, Briones y Arteaga, 2016).

La rotación de personal ha existido en mayor o menor medida desde que se iniciaron las relaciones de trabajo, más fue identificada como un problema aproximadamente en el año 1910 en Norteamérica. Las discusiones que siguieron a éste descubrimiento permitieron darse cuenta del importante costo que éste fenómeno representaba y que era necesario buscar la manera de solucionarlo a la brevedad posible para evitar que siguiera representando pérdidas en las empresas (Lara, Edel y García, 2008).

Debido a la abundante mano de obra que había anteriormente, los dueños de los negocios tenían en su mayoría la mentalidad de que podían despedir a sus empleados por cualquier falta que tuvieran por mínima que fuera si así lo deseaban, sin que existiera la dificultad de no encontrarles un reemplazo. Situación que cambió después de que se percataron del costo que estos despidos generaban, por lo que se buscó reducir el número de despidos y de renuncias voluntarias (Lara, Edel y García, 2008).

En el primer trimestre de 2011 ManpowerGroup entrevistó en 39 países a casi 40,000 directivos para hacer

un estudio de las consecuencias de la escasez de talento en el mercado de trabajo mundial. Los resultados mostraron una ligera tendencia a la alza en la cantidad de directivos con dificultades para cubrir puestos vacantes debido a la falta de profesionales disponibles; a nivel mundial, uno de cada tres directivos afirma tener ésta dificultad (Manpower, 2011).

Los puestos de trabajo más difíciles de cubrir por la falta de profesionales disponibles según Manpower en 2011, fueron los técnicos cualificados, comerciales y profesionales de oficios manuales cualificados.

El 57% de los directivos entrevistados afirmaron que cuando las vacantes no se cubren con prontitud, los efectos en los grupos de interés de las compañías (clientes, inversores, etc.) son elevados o medios (Manpower, 2011).

La rotación de personal ocurre en todas las empresas del planeta sin importar su giro y puede darse en todos los niveles jerárquicos de la empresa, pero es innegable que la frecuencia con que ocurre es mayor en unas áreas que en otras, y dependerá entre otras cosas de las actividades que realice la empresa y de las políticas y condiciones de trabajo que ofrezca a sus empleados.

Los objetivos de este trabajo fueron a) cuantificar el fenómeno de la rotación de personal en una empresa que se dedica a proveer soluciones de sellado y anti vibración para el sector automotriz en Torreón, Coah. México y b) identificar las causas por las cuales los trabajadores deciden salir de la empresa.

XVI. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Este trabajo es de tipo no experimental, transeccional y con enfoque cuantitativo a través principalmente de Análisis de Frecuencias. Para la recolección de la información se utilizó como instrumento la entrevista de salida con preguntas de opción múltiple. Los sujetos de estudio a los que se les aplicaron los cuestionarios fueron trabajadores elegidos al azar de todas las áreas de la empresa y que formaron parte de la muestra seleccionada.

La selección de la muestra, la cual se considera como “un subgrupo de la población de interés deberá ser representativo de la población” (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p.236) se llevó a cabo por medio de una fórmula recomendada en un artículo especializado en el tema (Torres, Salazar y Paz, 2005), y que fue utilizada en estudios anteriores. Para éste cálculo se consideró un universo de 500 trabajadores, dejando fuera a los trabajadores que se encuentran en capacitación, ya que se consideró aun no contaban con un conocimiento suficiente sobre la situación de la empresa como para participar en el estudio. Con datos equivalentes a un nivel de confianza

del 95% y un nivel de precisión absoluta del 10% y valores “p” y “q” de 0.5 el tamaño de muestra fue de 81 trabajadores pero para mayor precisión en la investigación se entrevistaron a 275 trabajadores.

$$n = \frac{NpqZ^2}{(N-1)e^2 + Z^2pq}$$

En dónde,

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza

N = Tamaño de la población

e = Nivel de precisión absoluta

p = Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia.

q = Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio.

XVII. RESULTADOS

En éste sección se presentan los resultados derivados del análisis de la información relacionada con las políticas de retención y rotación de personal:

Políticas de retención de personal. La empresa no cuenta con políticas de retención de personal explícitas; sin embargo, se pudo identificar que de manera implícita tienen como estrategia para retener a los trabajadores el ofrecer salarios competitivos y prestaciones adicionales a las establecidas por ley, como lo son por ejemplo convivios en fechas especiales como el día de la madre o día del padre, rifas mensuales de regalos para las personas que cumplan años, servicio de comedor y bonos de producción.

En comparación con otras empresas aquí no se encontró que manejaran otro tipo de prestaciones como el servicio de transporte subsidiado, el fondo de ahorro, etc.

Cuantificación y razones por las que los trabajadores dejan la empresa. Para identificar los motivos que tuvieron los trabajadores para dejar la empresa se analizaron las encuestas de salida aplicadas por la empresa en el período Enero-Agosto 2016 obteniendo la siguiente información:

a) De los 275 trabajadores entrevistados, 196 (el 71.3%) renunciaron en los primeros 6 meses que trabajaron dentro de la empresa. Cabe destacar que de estos 196, el 35.2% (69 personas) renunció en el primer mes o menos de estar trabajando y que el 85% de la rotación total se da dentro del primer año en que laboran los trabajadores (Tabla I).

TABLA I. ANTIGÜEDAD DE LOS TRABAJADORES AL MOMENTO DE SALIR DE LA EMPRESA

Tiempo	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1 a 6 meses	196	71.3	71.6
7 a 12 meses	38	13.8	85.5
13 a 18 meses	15	5.5	90.9
19 a 24 meses	9	3.3	94.2
Más de 24 meses	16	5.8	100.0
Total	275	100.0	

Fuente: Elaboración propia con base en la encuesta de salida

b) Excluyendo los motivos “Razones personales no relacionadas con el trabajo” y “Otros” al considerarlos como motivos externos a la forma de trabajar de la empresa, las principales razones por las que los trabajadores dejaron la empresa fueron el cambio de turno (6.5%), las acciones de los supervisores/gerentes (6.2%) y la insatisfacción con la compensación total (5.8%) (Tabla II.)

Por cuestiones prácticas se englobaron en la opción “Otros” todos aquellos motivos de salida que se repitieron menos de 5 veces. Dentro de la opción “Acciones de mi supervisor/Gerente” se englobaron todas las encuestas que señalaban como motivo de salida al trato desigual entre los trabajadores y las malas actitudes de sus supervisores. Dentro de la opción “Insatisfacción con la compensación total” se agruparon todas las encuestas que indicaban como motivo de salida la inconformidad con el salario y las prestaciones.

En base a los comentarios recabados de la entrevista de salida, se agregaron las opciones “Falta de transporte” (en ella se incluyeron todas las entrevistas que hacían hincapié en la necesidad de un servicio de transporte para todos los turnos) y “Cambio de turno” (se tomaron en cuenta todos los entrevistados que señalaban los cambios de turno como motivo para no quedarse dentro de la empresa).

TABLA II. RAZONES POR LAS QUE LOS TRABAJADORES DECIDEN SALIR DE LA EMPRESA

Motivo	Frecuencia
Razones personales no relacionadas con el trabajo	136
Otros	31
Cambio de turno	18
Acciones de mi supervisor/Gerente	17
Insatisfacción con la compensación total	16
Otra oferta de trabajo	15
Insatisfacción con oportunidades de avance	13
Falta de transporte	10
Quería cambiar el tipo de trabajo	10
Trabajo/Balance en mi vida	9
Total	275

De los trabajadores entrevistados más del 76% regresaría a trabajar a la empresa (Tabla III), lo que es congruente con el alto porcentaje (80.7%) que la calificó como una buena empresa para trabajar (Tabla IV). Estos

resultados están relacionados con la gran cantidad de encuestas de salida que señalaron “Razones personales no relacionadas con el trabajo” (136) como motivo para dejar la empresa, por lo que se interpreta que el ambiente de trabajo dentro de la empresa es bueno.

TABLA III. RESPUESTA A LA PREGUNTA DE SI REGRESARÍA A LA EMPRESA

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Si	211	76.7	84.7
No	11	4.0	88.7
Quizás	31	11.3	100.0
Total	275	100.0	

TABLA IV. RESPUESTA A LA PREGUNTA DE COMO EVALÚA A LA EMPRESA

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Buena	222	80.7	81.6
Regular	38	13.8	95.3
Mala	13	4.7	100
Total	275	100	

Algunos de los resultados son similares a los obtenidos por Aguilar (2015) en su trabajo para la implementación de un programa para reducir la rotación de personal de un cine. Entre las similitudes más destacadas podemos mencionar:

- Su estudio también se enfocó en las personas del cargo operario, ya que son los que conforman la mayor parte de su personal.

- Sus niveles de rotación más altos se dan en el primer año de antigüedad de los trabajadores. El 83% del personal que abandonó la empresa tenían una antigüedad menor a un año, y el 46% tenía menos de tres meses de haber entrado a trabajar a la empresa.

- Una de las principales razones por las que se estaba dando la rotación de personal eran motivos personales no relacionados con el trabajo.

- Su programa para reducir la rotación de personal estaba enfocado principalmente en tres puntos: Selección, inducción y capacitación del personal, Integración del personal a la cultura organizacional de la empresa y Creación de un plan de carrera.

XVIII. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Este trabajo tuvo como objetivo principal cuantificar el fenómeno de la rotación del personal así como las causas por las cuales los trabajadores dejan el empleo. Se encontró que el fenómeno de la rotación es muy alto: de los 275 trabajadores entrevistados el 71.3% renunciaron en los primeros 6 meses de trabajar dentro de la empresa mientras que el 85% del total renunciaron dentro del primer año de laborar. La principal causa que

mencionaron los trabajadores fue por “razones personales no relacionadas con el trabajo”, sin embargo hay otros factores importantes como el cambio de turno, acciones del supervisor/gerente e insatisfacciones con la compensación total (sueldo y prestaciones). Dado el alto impacto económico que tiene este fenómeno para las empresas es importante seguirlo estudiando y se sugiere hacerlo desde el reclutamiento y selección porque desde ahí puede venir el problema. Asimismo investigar a detalles cuáles son esas “razones personales” por las cuales están renunciando.

XIX. REFERENCIAS

- [21] Aguilar, A. V. (2015). “Implementación de un programa para reducir la rotación de personal del cargo de operario de cine de la empresa Multicines S. A. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- [22] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. (4ª ed.). México: McGraw Hill, ISBN 970-20-5753-8.
- [23] Lara, R., Edel, R., y García, A. (2008). El proceso de Selección y su influencia en la Rotación de personal. En Edel, R., y García, A. (Edit.), El Capital Humano en las Organizaciones. Experiencias de investigación Vol. I. (pp.70-112). México: Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2008b/412/index.htm#indice>
- [24] Manpower. (2011). Resultados Estudios ManpowerGroup sobre escasez de talento 2011, ManpowerGroup, Milwaukee.
- [25] 27. Molina, L., Briones, I., y Arteaga, H. (2016). El comportamiento organizacional y su importancia para la administración de las empresas. Dominio de las Ciencias. 2(4). 498-510. ISSN: 2477-8818
- [26] Torres, M., Salazar, F., y Paz, K. S. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. Boletín Electrónico. Facultad de ingeniería. Universidad Rafael Landívar, (02). Recuperado de http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Maestria/MTE/Gen02/seminario_de_tesis/Unidad_3_anterior/Lect_Muestra_Invest.pdf

XX. BIOGRAFÍA



Espinoza-Arellano José de Jesús.

Nació en Congregación Hidalgo, Coah. el 22 de Mayo de 1959. Su último grado académico fue un Doctorado en Ciencias (Ph.D.) en Agricultural Economics en la Universidad de Texas A&M en College Station, TX., grado obtenido en Mayo de 1998.

Actualmente labora como Catedrático Investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón, Coah., México. Su línea de investigación principal es análisis económico en Pymes.

El Dr. Espinoza pertenece a la Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria (SOMEXAA), es miembro de la Red Temática de CONACYT “Pérdidas y desperdicios de alimentos”; es miembro del Cuerpo Académico Consolidado “Gestión Empresarial”; es árbitro de varias Revistas científicas indexadas y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1.



Reyes-Urbina Argelia Ibeth.

Nació en Torreón, Coah. el 3 de Octubre de 1989. Su último grado académico es Maestría en Ciencias en Administración y Alta Dirección obtenido en Junio de 2017 en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Actualmente labora como docente en una escuela de Educación Media Superior de la Secretaría de Educación Pública en el ejido el Manantial, Coahuila.



López-Chavarría Sandra.

Nació en Torreón, Coah. Es Contadora Pública, Maestra y Doctora en Administración por la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón .

Actualmente labora como Catedrático Investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón, Coah., México. Su línea de investigación principal es Gestión Empresarial.

Perspectivas de la industrialización y comercialización Caso: El Chayote en Veracruz

Autor Principal¹, P. Landa-Reyes*, Segundo Autor², D.L. Sánchez-Méndez, Autores colaboradores³. J.M. Olgún-Medina, A. Pérez-Cruz, R.Z. Torres-Becerra

Resumen— La idea central de este proyecto es el Chayote, surge en la carrera de Ingeniería Industrial en la materia de Análisis de la realidad nacional. En la investigación documental se encontró que el Estado de Veracruz es el principal productor de Chayote, también establecida en la Agenda Ciudadana del año 2015, la principal ventaja es que esta fruta no está industrializada, y el producto se vende a granel, exportándose en forma de fruto, en la revisión del Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI), solo se encontró patentado el sistema de riego del Chayote.

Basado en lo anterior este proyecto es sustentable, ya que cubrirá un problema estatal de agregar valor al producto de estudio, al modificar los procedimientos técnicos e ingenieriles. Al transformar el fruto en productos comerciales como mermelada, jugo y pan, aprovechándose toda la planta dado que no se genera desperdicio en el proceso de fabricación.

Para modificar el fruto del Chayote en productos para la comercialización se generan procedimientos que resulten innovadores y presenten la diferencia con respecto a la competencia. Posee varios nutrientes esta fruta lo que hace la diferencia para ser innovador y competitivo. Pruebas piloto marcan un grado de aceptación del 99%.

Palabras claves— Chayote, Comercialización, Innovación, Nutrición, Productos, Transformación

Abstract— The principal idea of this project is the squash, this project started in the career of Industrial Engineering in the Analysis of the national reality subject. The documentary research found that the State of Veracruz is the main producer of squash, also established in the Citizen Agenda of 2015, the main advantage is that this fruit is not industrialized, and the product is sold as it is, searching in the Mexican Institute of Intellectual Property (IMPI), just has been patented “the irrigation system of squash”.

As written above, this project is **sustainable**, with this project, it is intended to add value to the squash as a study product, by modifying the technical and engineering

procedures. By transforming the fruit into commercial products like jam, juice and bread, taking advantage of the whole plant since no waste is generated in the manufacturing process.

To modify the squash in products for the commercialization will be generated innovative procedures to present the difference with the fruit. There are several nutrients in this fruit, for what it does the difference to be innovative and competitive. Some tests with the various products have had an acceptance of the 99%.

Keywords—Innovation, Marketing, Nutrition, Products, squash, Transformation

XXI. INTRODUCCIÓN

El cultivo del chayote está ampliamente difundido en Mesoamérica. Su introducción en las Antillas y América del Sur se llevó a cabo entre los siglos XVIII y XIX; de hecho, la primera descripción botánica en la que se menciona el nombre *Sechium* se debe a P. Brown en 1756, y se refiere a plantas cultivadas en Jamaica. En esta misma época, el chayote se introdujo en Europa, desde donde fue llevado a África, Asia y Australia, mientras que su introducción en los Estados Unidos data de fines del siglo XIX (Cadena, 2005).

El chayote se utiliza principalmente como alimento humano. Los frutos, tallos y hojas tiernas, así como las porciones tuberculadas de las raíces, son consumidos como verdura, tanto solos y simplemente hervidos, como formando parte de numerosos guisos. Los frutos, por su suavidad, se han empleado en alimentos para niños, jugos, salsas y pastas. En México, se ha intentado aumentar la vida útil del fruto mediante la deshidratación. Los resultados han sido buenos y han hecho posible elaborar mermeladas y otros dulces, así como frutos deshidratados que pueden usarse como verdura después de cierto tiempo. Los tallos, por su flexibilidad y resistencia, han sido destinados a la fabricación artesanal de cestas y sombreros. En la India, los frutos y raíces, además de usarse como alimento humano, también se emplean como forraje (Lira_Saade, 1996).

Las partes consumibles del chayote presentan menor contenido de fibra, proteínas y vitaminas que otros vegetales. Sin embargo, el contenido de calorías y carbohidratos es alto, principalmente en el caso de los

¹ Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Secretaría de Educación Pública, Sección 5ª. De la Reserva Territorial s/n. Colonia Santa Bárbara, C.P. 91096, Xalapa, Veracruz, México.

*e-mail: plandar2002@hotmail.com

tallos jóvenes, la raíz y la semilla respectivamente, mientras que el aporte de micro y macro nutrientes por los frutos es suficiente. El chayote también tiene usos medicinales; las infusiones de hojas se emplean para disolver cálculos renales, y como auxiliares en el tratamiento de la arterioesclerosis e hipertensión; las infusiones de frutos se utilizan para aliviar la retención de orina. Las propiedades cardiovasculares de las infusiones de hojas han sido comprobadas en estudios modernos, mientras que su gran efectividad en la curación de enfermedades renales ya se conocía en la península de Yucatán, desde la época colonial, donde estos padecimientos son muy comunes (Trujillo, 1990).

XXII. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Las técnicas de estadística exploratoria y estadística inferencial, tales como el análisis de regresión y series de tiempo se estimó que la producción del chayote en los últimos cinco años la siembra de este producto en más de dos mil hectáreas, donde se producen más de 133 mil 100 toneladas que son introducidas en los mercados norteamericanos y canadiense, con un nivel de calidad de 70 por ciento por hectárea en términos de rendimiento, permitiéndole a los productores competir con agricultores del mundo.

Y de acuerdo a los análisis químicos realizados a este fruto se determinó que cuenta con los nutrientes que se presentan en la Tabla I lo que permite que el producto se industrialice.

Tabla I
Composición nutricional del chayote

POR 100G.	
Calorías (Kcal.)	17
Grasa (g.)	0,13
Proteína (g.)	0,82
Hidratos de carbono (g.)	3,9
Fibra (g.)	1,7
Potasio (mg.)	125
Fósforo (mg.)	18
Sodio (mg.)	2
Magnesio (mg.)	12
Calcio (mg.)	17
Cobre (mg.)	0,13
Cinc (mg.)	0,74
Manganeso (mg.)	0,19
Vitamina C (mg.)	7,7
Vitamina A (UI.)	56
Vitamina B1 (Tiamina) (mg.)	0,025
Vitamina B2 (Riboflavina) (mg.)	0,03
Vitamina B3 (Niacina) (mg.)	0,47
Vitamina B6 (Piridoxina) (mg.)	0,08
Vitamina E (mcg.)	0,12
Ácido fólico (mcg.)	93

Para la industrialización se utilizó un diseño de experimentos aleatorizado con dos factores y tres replicas

donde el factor principal fue el % de pulpa de chayote, el segundo factor principal se utilizó % de endulzante que se sometieron a una mezcla constante y a una temperatura de 100°C para elaborar la mermelada.

A. Alimentación

La industria alimentaria, es la primera en importancia en el sector manufacturero en México, contribuye con el 21.5% del PIB de Manufactura y el 3.7% del PIB total del país. En el caso de la industria alimentaria, se incrementó a una tasa promedio del 1.6%, mientras que la economía en su conjunto creció el 2.1%.

A nivel nacional, esta industria se caracteriza por tener una elevada dispersión geográfica. Los seis primeros estados productores son Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Distrito Federal, Guanajuato y Veracruz, concentran el 52.5% del PIB del área.

En lo referente al sector agrícola, Veracruz ocupa el tercer lugar a nivel nacional, aportando 33.38 millones de pesos al PIB agrario del país.

Veracruz cuenta con condiciones geográficas, de clima y de suelo propicias para el desarrollo de la industria alimentaria, además de contar con una de las infraestructuras logísticas más importantes del país. Éstos son algunos de los factores que lo hacen líder nacional en producción y exportación de ciertos cultivos, los cuales se enumeran a continuación:

1) El estado ocupa los primeros lugares a nivel nacional con sus principales cultivos: Primer lugar nacional en chayote, caña de azúcar, naranja, limón persa y piña; Segundo lugar nacional en jícama y café cereza; Tercer lugar en arroz palay, plátano, papaya y sandía.

2) Veracruz tiene como parte de sus principales productos agroalimentarios exportados al café, azúcar y limones, ocupando el primer lugar de su región (Zona sur-Sureste) con 1,215 mdd.

3) Veracruz se encuentra en cuarto lugar a nivel nacional en IED en agricultura, con un 9.07% del total nacional y por encima de la media nacional 3.13%.

B. Análisis FODA

El área de alimentación, es una parte sustancial de la economía veracruzana. El sector agrario de Veracruz, sigue caracterizado en términos relativos, por el pequeño tamaño y la baja rentabilidad y tecnificación de las explotaciones.

En el ámbito de la innovación, esta situación tiene un reflejo claro: la actividad de las instituciones agrarias tiene en Veracruz, y en general en los estados del sur de México, una orientación social, enfocada al desarrollo rural, intentando paliar las dificultades que experimentan los pequeños agricultores. La siguiente tabla presenta el análisis respecto a la posición estratégica del área de

Alimentación.

Tabla II FODA del área de Alimentación en Veracruz

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Variedad de hábitats y climas que permiten una amplia diversidad de cultivos productivos. • Posición de liderazgo, en cuanto a volumen, a nivel nacional en un amplio número de productos agroindustriales (caña de azúcar, café, hule y vainilla), frutales (naranja, limón y piña), y ciertos cultivos minoritarios (lichi, toronja, mandarina, maracuyá, tangelo y tangerina). En el ámbito pecuario, es líder en la producción de carne de bovino y ave. • La mayoría de los Sistemas Producto están bien estructurados y tienen capacidad de liderazgo. • Estructura institucional y capacidad tecnológica de apoyo a la innovación desarrollada y vinculada con el sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedad de suelo dividida en parcelas pequeñas, de difícil explotación rentable. • Disminución progresiva en el financiamiento para las prácticas de extensionismo agrario, con incidencia en la capacitación técnica y la capacidad institucional de interlocución con los productores. • Débil estructura de proceso y comercialización, que queda generalmente en manos de intermediarios. • Poca tradición asociativa de los productores.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Cercanía y facilidad de comunicación con grandes mercados internacionales (e. g. costa este de los Estados Unidos). • Capacidad de producción excedente en determinados productos con potencial exportador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión de grandes economías en tierras para cultivo en otros países. • Desarrollo de nuevas tecnologías para potenciar el sector agrario en otros países, generando productos más competitivos.

Para comprender las oportunidades y amenazas que se dan a largo plazo, los vendedores deben primero vigilar y analizar tendencias generales en el ambiente económico y social. Éstas incluyen desarrollos demográficos, económicos, tecnológicos, políticos/legales, así como sociales/culturales. De particular preocupación dentro de un ambiente económico de la organización son las acciones y capacidad de sus competidores actuales y potenciales. (Mullins)

Los ambientes de la competencia y el mercado de una industria no son estáticos, pues pueden cambiar de manera importante con el tiempo.

C. Objetivos

1. Analizar los índices de la realidad regional, estatal y nacional del sector productivo del Chayote.
2. Analizar el marco legal de la comercialización del Chayote.
3. Diseñar y elaborar productos nutritivos basados en la fruta del Chayote.
4. Planificar la infraestructura de la organización en el aspecto contable y financiero.
5. Desarrollar tecnologías e investigación que agreguen valor al producto para su comercialización (rentabilidad del producto).
6. Realizar la segmentación del mercado potencial para la venta de productos elaborados a base del Chayote.

D. Comercialización

Uno de los factores importantes para dar a conocer el proceso de producción de alguna fruta, verdura u objeto es la comercialización. Cualquier empresa, organización o grupo social, tiene la facultad para realizar dicha actividad. Ésta se puede dar en dos tipos de entorno: la Microcomercialización o Macrocomercialización. Cada una de ellas puede compartir características y las hace diferente el entorno al cual van a estar enfocadas las actividades de intercambio de productos.

En el caso de la **Microcomercialización** observa a los clientes y a las actividades de las organizaciones individuales que los sirven. Es a su vez la ejecución de actividades que tratan de cumplir los objetivos de una organización previendo las necesidades del cliente y estableciendo entre el productor y el cliente una corriente de bienes y servicios que satisfacen las necesidades.

Por otro lado, la **Macrocomercialización** se considera ampliamente todo el sistema de producción y distribución. También es un proceso social al que se dirige el flujo de bienes y servicios de una economía, desde el productor al consumidor, de una manera que equipara verdaderamente la oferta y la demanda y logra los objetivos de la sociedad. Nuestro producto principal a comercializar es el Chayote, objeto de estudio que ha permitido la investigación del mercado, producción, comercialización e industrialización del mismo. Por lo que a continuación, se presenta parte del documental.

En fecha reciente, en el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas campus Montecillo, Edo. de México, se realizó la primera reunión del Grupo Interdisciplinario de Investigación de Chayote (GISEM), con la finalidad de presentar el Programa Nacional de Conservación e Investigación de la Biodiversidad del Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en México. Este grupo de investigación está constituido por especialistas de diferentes disciplinas cuyas instituciones de procedencias son: Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma de Chiapas. Los objetivos del programa son: Posicionar al Chayote como especie de prioridad Nacional, coleccionar, caracterizar y conservar la biodiversidad del Chayote, en los Estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca; desarrollar investigación básica y tecnológica con la biodiversidad del mismo con el fin de incrementar el conocimiento y promover su conservación; además de vincular el conocimiento generado sobre la biodiversidad del Chayote a través de la transferencia tecnológica.

Esto da la pauta para industrializar y comercializar los productos derivados del Chayote dándole un valor agregado y permitiendo al estado de Veracruz, primer

lugar en producción nacional, una mejora económica en sus mercados.

También es importante seleccionar los criterios de las identidades de la marca, como lo cita Lane Keller en su libro Administración estratégica de marca, los cuales son:

1. Fácil de recordar.
2. Significativo.
3. Capacidad de agradar.
4. Poder de transferencia.
5. Adaptable.
6. Protegible.

Los primeros tres criterios constituyen la estrategia ofensiva del mercadólogo para construir el valor capital de la marca. Los últimos tres desempeñan una función defensiva en el apalancamiento y conservación de ese valor frente a diferentes oportunidades y restricciones.

Para dar valor agregado a nuestro producto de estudio, es necesario tomar en cuenta los criterios de los productores de esta fruta, tal como lo cita Somá Álvarez en la siguiente tabla:

Tabla III

Criterios de los productores sobre la comercialización del cultivo del Chayote

Variables	Indicadores
Forma en que se vende el producto	Por Kg En rejas Por unidad
Tipo de venta	En mercados locales Venta directa Ambos
Precios	Propios precios Oferta-demanda Negociados
Manejo del excedente de la producción	Duración Consumo Ambos
Factor limitante sobre la presentación de sus productos	Tiempo Cantidad de productos Conocimientos Condiciones Costumbres
Procesamiento del producto para dar valor agregado	Posee conocimientos No posee conocimientos

XXIII. RESULTADOS

De la experimentación se obtuvo los resultados tangibles del jugo de chayote como se muestran en la tabla IV

Tabla IV

Parámetros del proceso de industrialización del jugo

Etapa del proceso	Parámetro	Descripción
Despulpado	Velocidad de 20 revoluciones por minuto de lo extractor de jugos	Se procede a separar la semilla, pulpa y jugo. Este proceso se realiza a través del tamiz
	Volumen de jugo: Carga máxima de 1000 ml.	Por x cantidad de litros de jugo se agrega el % de insumos
	Temperatura de disolución (entre 59 y 60°C	Da inicio la aplicación de calor para la correcta disolución de los insumos
Homogenización	Grados brix 54 +/- 1	Los grados brix indicarán el % de sólidos (azúcar estándar) presente en la solución, por ello deben determinarse y saber así si el producto está dentro de especificaciones o se procederá al ajuste.
	Llenado	Capacidad de llenado 500 ml

Posteriormente se etiqueta tiempo de vida en anaquel 4 semanas en refrigeración.

Similar fueron los resultados del pan y de la mermelada como se muestra en figura 1.



Fig. 1 Productos de Chayote

Leyes sobre la propiedad extranjera de activos	Estilos de vida
Fuerza de grupos opositores	Creencias religiosas
Leyes comerciales	Actitudes hacia los extranjeros
Sentimiento proteccionista	Nivel de alfabetización
Política exterior	Derechos humanos
Actividades terroristas	Ecologismo
Sistema legal	Explotación laboral
	Planes de pensión
	Atención médica

Para llevar a cabo el análisis ambiental, los administradores estratégicos deben primero estar conscientes de las diversas variables que existen en los ambientes sociales y de tareas de una corporación. El ambiente social incluye las fuerzas generales que no influyen directamente en las actividades de corto plazo de la organización, pero que sí pueden influir, y con frecuencia lo hacen, en sus decisiones de largo plazo. (Wheelen) Tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla V
Variables importantes en ambientes sociales internacionales

Económicos	Tecnológicas
Desarrollo Económico	Regulación de la transferencia de tecnología
Ingreso Per Cápita	Disponibilidad y costo de la energía
Clima	Disponibilidad de recursos naturales
Tendencias del PIB	Redes de transporte
Políticas Monetarias y fiscales	Niveles de destreza de la fuerza laboral
Niveles de desempleo	Protección de marcas y de patentes
Convertibilidad monetaria	Disponibilidad de Internet
Niveles salariales	Infraestructura de telecomunicaciones
Naturaleza de la competencia	Tecnología de Hackers
Participación en asociaciones económicas	Informáticos
Participación en la organización mundial del comercio	
Capacidad de outsourcing	
Políticas y Legales	Socioculturales
Forma de gobierno	Costumbres, normas y valores
Ideología política	Idiomas
Leyes fiscales	Demografía
Estabilidad gubernamental	Esperanza de vida
Actitud gubernamental ante las empresas	Instituciones sociales
extranjeras	Símbolos de estatus

XXIV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, así como el equipo de investigadores de este proyecto, se encuentran interesados en la comercialización de este fruto, y cuya idea principal es dar una perspectiva distinta a los productos basados en el Chayote, ya que siempre estamos acostumbrados a comerlo de una sola forma en una ensalada, pero no le hemos dado enfoques distintos. Este producto es natural y recomendado por los nutriólogos o los doctores, ya que posee diversas propiedades que ayudan al cuerpo humano a limpiar las toxinas, dar tonicidad a la piel, controlar niveles de azúcar y en el mejor de los casos ayuda a bajar de peso. Científicos del Instituto Politécnico Nacional aseguran que esta hortaliza tiene propiedades antitumorales contra el cáncer cérvico-uterino, de mama y pulmón.

Por lo tanto el proyecto tiende a ser sustentable, ya que la materia prima es utilizada al 100% en cualquiera de sus presentaciones, como por ejemplo, en la extracción del jugo, se realiza la separación de la fibra (gabazo) el cual se emplea en la elaboración del pan y la mermelada, generando un proyecto sustentable, al aprovechar todos y cada uno de los elementos que lo conforman.

XXV. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, especialmente al Dr. Juan Carlos Moreno Seceña por todo el apoyo brindado para la realización de este proyecto, por guiarnos en todo momento.

XXVI. APÉNDICES

El tipo de investigación que se realiza en este estudio de industrialización y comercialización del chayote es mixto-correlacional, ya que se tienen tanto variables cuantitativas como cualitativas.

Para determinar que el proyecto es factible primero se realizó un análisis estadístico exploratorio, enfocado al análisis de los estados a nivel nacional que cultivan el chayote.

El análisis dio como resultado que Veracruz contribuye en un 82.97% a nivel nacional. Se realizó un análisis de la producción sembrada, superficie cosechada y la producción anual del año 2006 al 2015, ésta información es importante porque se tiene la materia prima para los productos a industrializar y comercializar.

Año	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción
	(Ha)	(Ha)	(Ton)
2006	1,509.00	1,509.00	88,977.00
2007	1,413.00	1,082.00	74,062.00
2008	1,756.00	FALSO	112,361.00
2009	1,723.00	1,713.00	113,065.00
2010	1,781.00	1,664.00	113,249.29
2011	2,147.00	2,147.00	147,944.50
2012	2,032.00	2,032.00	131,636.72
2013	1,976.00	1,976.00	133,803.00
2014	2,042.00	2,042.00	134,522.00
2015	2,005.00	2,005.00	133,110.20

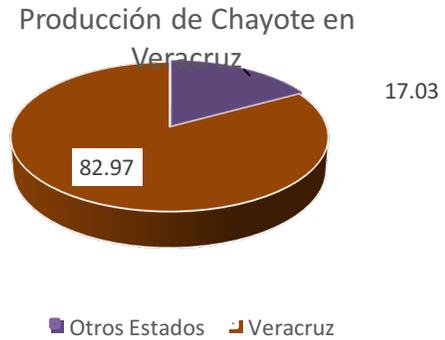
http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp

La producción de chayote a nivel nacional para el año 2015 fue de 155,685.48 toneladas y Veracruz reporto 133,110.20 toneladas y los estados de Jalisco, Yucatán, Tabasco, San Luis Potosí, Puebla por mencionar algunos reportan 22,575 toneladas. Por lo que podemos concretar que Veracruz aporta el 82.97% de la producción de chayote a nivel Nacional. En las siguientes gráficas se presentan las contribuciones de las hectáreas sembradas y la producción en toneladas.

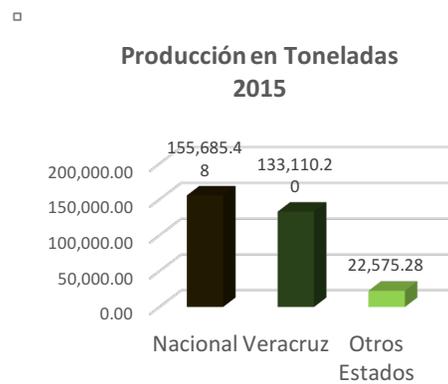
El siguiente bloque de gráficas muestra la producción y cosecha del chayote.



Gráfica 1. Cosecha de Chayote

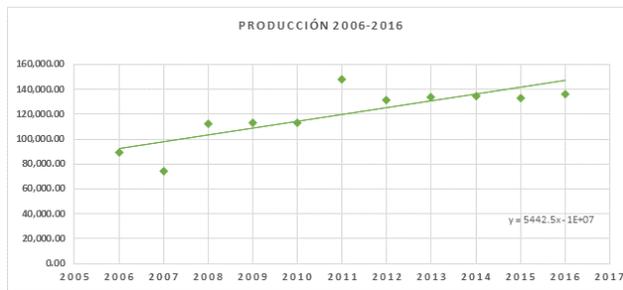


Gráfica 2. Producción del Chayote



Gráfica 3. Producción del Chayote en Toneladas

El segundo análisis que se realizó fue aplicar series de tiempo- utilizando el modelo promedios móviles, para poder pronosticar la producción en los años futuros, este análisis nos permite realizar planeaciones a futuro.



Gráfica 4. Producción en 10 años

El tercer análisis que se realizó fue el diseño de experimentos de dos factores (Porcentaje de pulpa de chayote y de endulzante). Manejando como constante la temperatura a 100°C y la mezcla constante. Y como variable respuesta la textura gelatinosa y pastosa.

XXVII. REFERENCIAS

- [1] Cadena, I. J. 2005. Caracterización morfoestructural, fisiológica, química y genética de diferentes tipos de chayote (*Sechium edule* (jacq.) sw). PHd Thesis, colegio de postgraduados, Texcoco, México.
- [2] Lira-Saade, R. 1996. CHAYOTE: *Sechium edule* promoting the conservation and use Underrutilized and neglected crops 8. Institute of plant genetica Resources institute. rome. italy.
- [3] Trujillo a. j. 1990. Desarrollo de una agricultura sustentable en México: el paradigma agroecológico. Comercio Exterior.
- [4] Somá Álvarez Luis Alberto. et. al estudio socio agronómico de la producción de chayote (*Sechium edule* Jac. Swartz), en los municipios de Villa Flores y Villa Corzo, Chiapas, México.
- [5] Mullins W. John. Administración del Marketing, un enfoque en la toma estratégica de decisiones. Quinta Edición. Mc Graw Hill
- [6] Lane Keller Kevin. Administración Estratégica de Marca. Tercera Edición. Editorial Pearson.
- [7] Wheelen, L. Thomas. Administración estratégica y política de negocios. Décima edición. Editorial Pearson
- [8] Münch, Lourdes. Administración, Gestión Organizacional, enfoques y proceso administrativo. Primera Edición. Editorial Prentice Hall
- [9] Hernández Garnica Clotilde. Fundamentos del Marketing. Primera Edición. Editorial Prentice Hall
- [10] Vollmer, Christopher. La nueva era del Marketing. Primera edición. Editorial Mc Graw Hill
- [11] Mendoza, Carapia Roberto. Casos de Éxito en Marketing. Primera Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- [12] Lambin, Jean – Jacques. Dirección de Marketing, Gestión Estratégica y operativa del mercado. Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill.

- [13] Laudon, C. Keneth. E-commerce, Negocios, tecnología, sociedad. Cuarta Edición. Editorial Pearson.

XXVIII. BIOGRAFÍA

Biografía de los autores. El tamaño de letra es 8 puntos:



Landa Reyes Piedad. Nació en la Ciudad de Xalapa, Ver. El 16 de enero de 1967. Licenciada en Estadística por la Universidad Veracruzana, en Xalapa, Ver. En 1988. Maestría en Estadística Experimental por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, en 1992. Maestría en Ciencias. Con especialidad en Sistemas automatizados por computadora por el Instituto Tecnológico de Puebla. Puebla, Pue. En 2001. Doctorado en Gobierno y Administración Pública por la Escuela Libre de Ciencias Políticas y Administración Pública de Oriente. Xalapa, Ver. En el año 2007. Candidata a doctor.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, que se encuentra ubicado en la capital del estado Xalapa, Veracruz, México. Inicio su experiencia en la Universidad Autónoma de Tlaxcala en 1989, como Jefe del Departamento de Planeación y Estadística, posteriormente incursiona en la industria manufacturera por 15 años dentro del Grupo FEMSA desarrollando actividades de control estadístico de calidad, aseguramiento de calidad, desarrollo de nuevos productos y control de procesos entre otros. Consultor en la industria Textil, empresas de autoservicio y en la administración pública. Su labor docente la inicia en el Instituto Tecnológico de Monterrey campus Córdoba, posteriormente en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y Escuelas Públicas de Nivel Superior, actualmente se desempeña como docente en las carreras de Ingeniería Industrial, Desarrollo Empresarial, Ingeniería en Sistemas. Las líneas de investigación de interés son: el desarrollo empresarial y el control de calidad.

Dra. Piedad Landa Reyes ha sido socia de la Asociación Estadística Mexicana y ha participado en proyectos de desarrollo educativo y como asesor técnico pedagógico en la oferta educativa en la Secretaria del Estado de Veracruz.



Sánchez Méndez Diana Luz. Nació Tampico, Tamaulipas. El 13 de Agosto de 1973. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, en Ciudad Madero, Tamps., el año de 1998. Maestra en Administración con la especialidad de Organización y Sistemas, por el Instituto de Investigaciones y de Estudios Superiores de las Ciencias Administrativas (IIESCA) de la Universidad Veracruzana en la Ciudad de Xalapa, Ver, en el año 2004. Diplomado en Formación Docente, en el año 2012 en la Universidad Veracruzana. Actualmente estudia el Doctorado en Educación en la Escuela Libre de Ciencias Políticas y Administración Pública de Oriente. Xalapa, Ver.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, que se encuentra ubicado en la capital del estado Xalapa, Veracruz, México. Y en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 165 en Coatepec, Veracruz, México. Ambas instituciones educativas cuyo interés es fomentar la investigación, innovación y tecnología en los educandos. Desempeñó actividades en el Departamento de Líneas de Transmisión en CFE, desarrollando un sistema de control de transformadores para mantenimiento del mismo en

el año de 1995. Encargada del departamento de Informática en la empresa Source One, las actividades desempeñadas mantenimiento a la red de la empresa y desarrollo de un sistema de control de inventarios. Enfocada al área tecnológica e innovación.

M en A. Sánchez, actualmente se encuentra participando en el área de investigación de los institutos para los que trabaja.



Olguín Medina Juan Manuel. Nació en la Heroica ciudad de Puebla, Puebla. El 19 de mayo de 1976. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Centro Cultural Universitario Veracruzano, titulado en el año 2000, dedicado al desarrollo de sistemas de cómputo y diseño de bases de datos. Cuenta con certificaciones como Microsoft Developer Visual Basic 6.0, Microsoft SQL Server Designer, Sun Microsystems java Programmer 5.0, Android Engineer, entre otras.

Docente del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa desde el año 2003, el cual se encuentra ubicado en la capital del estado de Veracruz, actualmente coordinador del club de robótica de la misma Institución.

Ha realizado diversos cursos entre los que se encuentran Diseño de Sistemas Espaciales, por parte de la Agencia Espacial Mexicana.

Ha participado como asesor en concursos de robótica internacionales.



Pérez Cruz Ángela. Nació en Chacaltianguis, Ver., el 4 de enero de 1954. Licenciada en Pedagogía por la Universidad de Veracruzana en Xalapa, Ver., en el año 1995. Maestría en Educación por el Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A. C. de Tampico, Tamaulipas. En el año 1998. Actualmente estudiando el Doctorado en

Educación por la Escuela Libre de Ciencias Políticas y Administración Pública de Oriente. Actualmente labora para el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.



Ing. René Zahorí Torres Becerra, Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Experiencia Docente 21 años. Jefe de Depto. de Servicios Escolares del Instituto Tecnológico Superior de Perote por 5 años. Líder de desarrollo de proyectos de Software para IXE grupo financiero, 1 año.

Aplicación del muestreo del trabajo a empresa metal-mecánica

E. Segovia-Avila¹, W. Avila¹, N. J. Díaz-Obregón¹, B.L. Cardona-Ferniza¹, C.J. Pérez-Ascencio¹

Resumen— En este artículo se presenta los resultados de una investigación realizada a una empresa Metal mecánica, con la finalidad de determinar el tiempo de utilización de la maquinaria empleada en el proceso de maquinado. Esto con el fin de determinar el tiempo productivo e improductivo, lo que contribuiría en la toma de decisiones y el diseño de estrategias que permitan disminuir los tiempos muertos. Para llevar a cabo lo anterior se utilizó una metodología de campo, donde se aplica la técnica del muestreo del trabajo mediante observaciones, registrando el estado de la actividad, para luego analizarla estadísticamente y proyectarla al tiempo completo de trabajo. Al realizar este análisis se encuentran resultados que evidencian áreas de oportunidad en la empresa, conociendo que la utilización de la maquinaria en actividades productivas representa el 50% del tiempo utilizado, por lo que se concluye con la recomendación de implementar estrategias de mejora para incrementar la productividad en el empresa.

Palabras claves—Muestreo del trabajo, muestreo del trabajo aplicado, tiempo improductivo, tiempo productivo, utilización de maquinaria.

Abstract—In this article we present the results of a research carried out to a company Metal mechanics, in order to determine the time of use of the machinery used in the machining process. This in order to respond to the need to know the productive time and unproductivity and to be able to determine strategies that allow to reduce the dead times. A field methodology is used where the technique of sampling of the work is applied through observations, recording the state of the activity, then analyzing it statistically and projecting it to the full time of work. When performing this analysis are results that show areas of opportunity in the company, knowing that the use of machinery in productive activities represents 50% of use, so it concludes with improvement strategies to increase productivity in the company.

Keywords— Sampling of the work, sampling of the applied work, unproductive time, productive time, use of machinery.

¹ Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias.
Calzada del Tecnológico #53 Col. El Tecnológico C. P. 27800, México.
e-mail contacto: elda.segovia@tecsanpedro.edu.mx

I. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la revolución industrial hasta hoy en día para toda empresa ya sea pequeña o grande, lo más importante es la productividad, tomando en cuenta que está lleva implícita la calidad, lo cual incluye aprovechar al máximo los recursos empleados en la producción, tales como: la materia prima, la maquinaria y herramientas, y el recurso tiempo, este último reflejado a través de la optimización de recursos. Por lo anterior es conocido que las empresas buscarán las estrategias adecuadas para volverse más productivas, así como, implementar mecanismos que les permitan disminuir los costos de producción. Es por esto que las empresas necesitan realizar un análisis interno que refleje la situación actual de la empresa, que les permita conocer la efectividad de las actividades que están realizando y cómo estas impactan en la rentabilidad y metas trazadas. Para realizar este análisis se pueden emplear técnicas del estudio del trabajo, las cuales permiten analizar y mejorar la productividad de una empresa.

Una de las técnicas del estudio del trabajo es el muestreo del trabajo. “La cual se utiliza para investigar las proporciones del tiempo total que se dedican a las diferentes actividades que constituyen una tarea o una situación de trabajo. Los resultados del muestreo del trabajo son eficaces para determinar la utilización de máquinas y personal, las holguras aplicables al trabajo y los estándares de producción. Aunque se puede obtener la misma información con procedimientos de estudio de tiempos, el muestreo del trabajo con frecuencia proporciona estos datos más rápido y a un costo considerablemente menor.” (Nebel & Freivalds, 2009)[1].

También se puede definir como una técnica que permite obtener información, facilitando la tarea de recolección de los datos, mediante el registro de observaciones, permitiendo un análisis para cálculo de tiempo productivo e improductivo. Convirtiéndose esta información en un dato de gran importancia para las empresas, puesto que es la base para la toma de decisiones en pro del incremento de la productividad.

El primer uso de esta técnica se dice que fue aplicada en una industria textil británica, se dice que tiempo después esta técnica fue introducida a Estados Unidos de América, pero fue conocida o nombrada como el *estudio de la razón de la demora*. Hoy en día esta técnica es de un amplio uso, ya que gracias a ella se pueden obtener múltiples ventajas sobre el método convencional del estudio de tiempos, al disminuir el trabajo para el analista y con esto evitar que tanto el operador como el analista estén expuestos a largos tiempos de observaciones cronometradas. (García, 2005) [2]

El objetivo principal del presente documento es mostrar los resultados de la aplicación de la técnica del muestreo del trabajo, en una empresa metal-mecánica, partiendo de la interrogante ¿De qué manera se puede obtener el porcentaje de utilización de la maquinaria en actividades productivas en una empresa metal- mecánica?

II. METODOLOGÍA

Para realizar la aplicación de este método en las empresas, en especial las del sector metal-mecánico se usó la metodología que propone García criollo en su libro Estudio del trabajo (2005), en combinación con la propuesta de Niebel-Freivalds (2009). [1]-[2].

Para ello fue necesario seguir de manera ordenada el siguiente proceso:

A. Pasos preliminares

1. Primero se definen los objetivos del estudio, es decir contestar claramente la siguiente pregunta: ¿Qué datos se espera obtener con el presente estudio?.

2. Posteriormente se realiza el diseño del procedimiento de muestreo, lo que implica determinar lo siguiente:

- a. Estimar el número satisfactorio de observaciones, para lo cual se emplea la fórmula que se presenta a continuación.

Para el número satisfactorio de observaciones se calcula el tamaño de la muestra mediante (1)

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2} \tag{1}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

z = valor estadístico para un determinado nivel de confianza

p = probabilidad de aceptación

q = probabilidad de rechazo

e = error permisible

- b. La frecuencia de las observaciones por máquina se obtiene mediante (2)

$$F(Máquina) = \frac{n}{No.de máquinas} \tag{2}$$

Una vez determinado lo anterior se continúa a realizar la selección de la longitud del trabajo:

- c. Conociendo la longitud del trabajo, la frecuencia por máquina por turno se obtiene mediante (3)

$$F(Turno) = \frac{F(Máquina)}{No.de turnos} \tag{3}$$

- 2. Determinación de los detalles del procedimiento de muestreo, tales como programación de las observaciones, método exacto de observaciones, diseño de la hoja de observaciones y rutas a seguir.
- 3. Recopilación de datos mediante la ejecución de un plan de muestreo previamente diseñado.
- 4. Procesamiento de cálculo.

B. Aplicación

- 1. Para esta investigación el objetivo de la aplicación del muestreo del trabajo es determinar el porcentaje de utilización de la maquinaria en actividades productivas de una empresa metal-mecánica.
- 2. El cálculo del tamaño de la muestra se realiza mediante (1) tomando en cuenta un error permisible por la empresa del 5% y un nivel de confianza del 95%.

- a) Calculo del tamaño de la muestra: Para la conocer los valores de p y q, se procede a tomar una muestra preliminar de 10 observaciones obteniendo que 7 se encontraba la maquinaria en proceso. Conociendo que p se obtiene de acuerdo a (4)

$$p = \frac{ocurrencia}{observaciones} = \frac{7}{10} = 0.7 \tag{4}$$

Por lo cual el tamaño de la muestra se calcula y se obtiene como se muestra en (5), conociendo que $z = 1.96$ para un 95% de confianza.

$$n = \frac{3.84(.70 * .30)}{(05)^2} = 322.56 = 323 \text{ Obs.} \quad (5)$$

Por lo tanto se tiene un tamaño de la muestra de 323 observaciones.

- b) Al tener el número total de muestras y conociendo que en la empresa se utilizan 9 máquinas, se procede a calcular las frecuencia por máquina como se muestra en (6)

$$F(\text{Máquina}) = \frac{323 \text{ Obs}}{9 \text{ Máquinas}} = 36 \text{ Obs/maq.} \quad (6)$$

- 3. El tiempo permitido para realizar el estudio es de 10 días, y la empresa solo trabaja un turno al día, entonces;

- c) Obtener la frecuencia por turno como se muestra en (7)

$$F(\text{Turno}) = \frac{36 \text{ Obs/maq}}{10 \text{ turnos}} = 3.6 \text{ Obs.} \\ = 4 \text{ obs/máq/turno} \quad (7)$$

Una vez que se tiene el dato del número de observaciones por máquina por turno, es necesario contar con un formato de registro de las observaciones, para lo cual se procede al diseño de dicho formato.

- 4. El diseño de la hoja de trabajo se realiza tomando en cuenta las 9 máquinas, las 4 observaciones y los estados de la maquinaria al momento de realizar los registros, como se muestra en la figura 1.

HOJA DE REGISTRO							
EMPRESA: _____				FECHA: _____			
OBSERVACION No. _____				REALIZADO POR: _____			
Maquina/ Estado	En Proceso	En preparación	Espera - supervisor	Afilan herramienta	Quitar virutas	Espera de trabajo	Otros
Torno Horizontal 1							
Torno horizontal 2							
Torno Vertical							
Torno Radial							
Fresadora Universal 1							
Fresadora Universal 2							
Mandrilador a 1							
Mandrilador a 2							
Cepillo de Codi							

Figural: Formato para la hoja de registro de observaciones

Luego se procede a determinar el horario aleatorio en base al número de observaciones, para esto se realiza un formato que genere un horario aleatorio, se utiliza software Excel y la función *aleatorio.entre*, buscando que cubra el turno de trabajo de la empresa que va en un horario de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. como se muestra en la tabla 2. Generando un horario aleatorio por día.

TABLA 2: HORARIO PARA REALIZAR LAS OBSERVACIONES POR TURNO

N° de Observaciones.	N° Aleatorio.	Hora aleatoria completa.	Minutos	Horas y min aleatorios	Hora de realizar la observación	Horario en orden.	Actividad del operador.
1	289	4	49	4:49	11:49 AM	8:26:00 AM	OCUPADO
2	241	4	1	4:01	11:01 AM	11:01:00 AM	DISPONIBLE
3	482	8	2	8:02	3:02 PM	11:36:00 AM	DISPONIBLE
4	86	1	26	1:26	8:26 AM	11:49:00 AM	DISPONIBLE
5	450	7	30	7:30	2:30 PM	2:30:00 PM	DISPONIBLE
6	482	8	2	8:02	3:02 PM	3:02:00 PM	OCUPADO
7	276	4	36	4:36	11:36 AM	3:02:00 PM	OCUPADO

El formato para la hoja de registro de se usó 4 veces al día en horario aleatorio, durante 10 días para registrar el estado de cada máquina cumpliendo así con las 4 observaciones por máquina por turno. Únicamente se realizó el recorrido y se registró el estado, colocando una

diagonal en el estado encontrado en el momento de realizar la observación.

- El paso cinco de la metodología consiste en recopilar la información la cual se muestra a manera de resumen en la tabla 2.

TABLA 2. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES

Maquina/ Estado	En Proceso	En preparación	Espera - supervisor	Aflilar herramienta	Quitar virutas	Espera de trabajo varios	total	
Tomo Horizontal 1	17	6	4	1	3	8	40	
Tomo horizontal 2	16	7	6	2	2	7	40	
Tomo Vertical	19	4	7	3	5	2	40	
Tomo Radial	20	9	4	3	3	1	40	
Fresadora Universal 1	22	4	3	7	2	1	40	
Fresadora Universal 2	18	5	3	4	8	2	40	
Mandriladora 1	25	7	4	1	1	2	40	
Mandriladora 2	24	6	3	2	3	2	40	
Cepillo de Codi	20	6	7	1	3	3	40	
	181	54	41	24	30	27	360	
Porcentaje	50.28%	15.00%	11.39%	6.67%	8.33%	7.50%	0.83%	100.00%

- Para el paso seis, que consiste en el procesamiento de datos para cálculo de resultados, se muestra también en la tabla 2, se hace uso del Excel para obtener dichos resultados. Como se puede apreciar el total de las observaciones tomadas son 360 debido a la necesidad de tomar 4 para cada máquina en los 10 turnos. Por lo tanto este total de observaciones se toma como 100% para el cálculo de porcentaje.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados del análisis de los datos obtenidos arrojan que solo el 50.28% del tiempo trabajado, se utiliza la maquinaria de la empresa en actividades productivas, por lo tanto haciendo la proyección, se obtiene el tiempo productivo conociendo que se trabaja una jornada de 8 horas diarias, por turno, entonces, se invierte 4800 minutos en los 10 turnos analizados de los cuales solo el 50.28% son minutos productivos como se muestra en (8)

$$Tp = (\text{tiempo trab.})(\% \text{ de utilización de maq.})$$

Donde:

Tp: tiempo productivo

$$Tp = 4800 * 50.28\% = 2413.44 \text{ min prod.} \quad (8)$$

Por lo tanto al año se tiene un tiempo trabajado de un promedio de 48 semanas o 115,845.12 min y un tiempo productivo de 58,921.2 min trabajando un turno diario. Se conoce que la empresa trabaja 2 turnos por día por lo tanto trabaja 96 turnos por año, equivalentes a 230,400 min trabajados por año, de los cuales se obtiene solo 115,845 min productivos.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En conclusión la empresa tiene un alto índice de tiempo improductivo que representa el 49.72% por lo que necesita tomar acciones y estrategias para reducir el tiempo ineficiente y convertirlo en tiempo productivo. El estudio del muestreo del trabajo arrojó también que la actividad improductiva que más frecuencias presento fue el estado de preparación de la máquina con un 15.00%, seguida de un 11.39% en espera de supervisor por lo que se recomienda un siguiente análisis para hacer más eficientes los métodos de preparación y determinar las causas por las cuales se da la tardanza del supervisor, de tal manera que se logre un incremento en la productividad de la empresa.

Se Propone un estudio minucioso para revisar los métodos de preparación de la maquinaria y hacer más efectiva la carga y descarga mediante un diagrama hombre máquina que nos ilustre con exactitud los diferentes tiempos de proceso, carga y descarga de la maquinaria, para enfocarse a disminuir los tiempos de descarga y carga e incrementar los tiempos de proceso. Así también hacer uso de las herramientas de calidad como diagrama de Pareto, para ilustrar las causas principales que el supervisor presenta en la demora de su actividad, y posteriormente analizarlas mediante un diagrama de Ishikawa para determinar la causa raíz y erradicar el tiempo de ocio en el proceso. Se consideran que una segunda fase de estudio y análisis se puede incrementar el tiempo productivo hasta en un 20%.

Antes de aplicar esta técnica en la empresa, los dirigentes, no tenían conocimiento de que la maquinaria instalada estaba una gran parte del tiempo de la jornada sin trabajar, afectando esto en la producción y económicamente ya que se invirtió una cantidad de dinero considerable en la compra de la maquinaria, de tal manera que queda en evidencia que se tiene cerca de un 50% de desperdicio en la vida útil de la maquinaria. Por lo tanto, si la empresa no pone en práctica acciones y

estrategias, la recuperación de lo invertido se tornará lenta. Por otra parte la dirección se da cuenta que necesita eficientar el uso de la maquinaria, para cumplir con la producción y metas propuestas, antes de pensar en adquirir más maquinas o aperturar un nuevo turno.

Por lo cual se concluye que el muestreo del trabajo es un efectivo método que ayuda a las empresas a tomar decisiones asertivas a partir de datos reales y congruentes con un método sencillo y efectivo.

Aunque el análisis se puede obtener mediante otras técnicas, dentro de las cuales, se puede mencionar procedimientos de estudio de tiempos, en este estudio se deja claro que la ventaja principal del muestreo de trabajo es que la información requerida con frecuencia la proporciona más rápido y a mucho menor costo.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las colonias, por los medios proporcionados como apoyo para llevar a cabo esta investigación.

VI. REFERENCIAS

- [1] Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño de trabajo. Mexico, D.F.: Mc Graw-Hill.
- [2] García Criollo, R. (2005). Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo (Segunda Edición ed.). Mc Graw-Hill.
- [3] Bello, León Darío. Estadística como apoyo a la Investigación. Editorial L.Vieco e Hijos Ltda, abril de 2005.
- [4] Miranda F.J. et al. Manual de dirección de operaciones. Ed. Thompson, Madrid, 2005.
- [5] Rodrigo Illera C. Aspectos estratégicos de la Dirección de la Producción. Curso práctico. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid, 2002.
- [6] Heizer J. y Render B. Operations Management. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [7] Cuatrecasas L. Organización de la producción y dirección de operaciones. Editorial Díaz de Santos, Madrid, 2011.
- [8] Schroeder R.G., Goldstein S.M. y Rungtusanatham M.J. Administración de operaciones. Conceptos y casos contemporáneos. Ed. McGraw-Hill, México, 2011.
- [9] Chase R.B., Jacobs F.R. y Aquilano N.J. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros. Ed. Mc Graw-Hill, México, 2009.

VII. BIOGRAFÍA



Segovia Avila Elda. San pedro, Coahuila, 16 de Noviembre de 1976. Ingeniero Industrial por la Universidad Iberoamericana Plantel Laguna, Torreón Coahuila 1998, Maestría en Educación por la Universidad Interamericana para el desarrollo, Gómez palacio, Durango 2010.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en San Pedro, Coahuila.

M.E Segovia es miembro de la Red de Investigación Multidisciplinaria En Sistemas Educativos.



Avila Wiliam. San pedro, Coahuila, 15 de Marzo de 1996.

El actualmente está estudiando en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en Sam Pedro, Coahuila.



Díaz Obregón Néstor Javier. San pedro, Coahuila, 22 de noviembre de 1996.

El actualmente está estudiando en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en Sam Pedro, Coahuila.



Cardona Ferniza Brenda Leticia. Torreón Coahuila, 10 de mayo de 1980. Licenciado en Economía por la Universidad Autónoma de Coahuila Unidad Torreón, Facultad de Economía, Torreón, Coahuila 2004, Maestría en Economía Aplicada por el Colegio de la Frontera Norte, Tijuana B. C. 2006. Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en San Pedro Coahuila. Las líneas de investigación de interés del auto son: Crecimiento económico, mercado laboral, economía regional. ME. Cardona es miembro de la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico (ADIAT).



Pérez Ascencio Claudia Jazmín.- Torreón, Coahuila 6 de mayo de 1981, ingeniero industrial por la universidad instituto tecnológico de la laguna, torreón, Coahuila 2005. Maestría en Educación por la universidad

Interamericana para el desarrollo, Gómez palacio Durango 2010. Actualmente labora como docente del instituto Tecnológico Superior de San pedro.

Diseño de Módulo MPS para su Acoplamiento en Celda de Manufactura Flexible

L. López-Puente¹, A. Caldera-Vidaña², J. Saucedo-Barajas³.

¹**Resumen**—En el presente artículo se muestra el diseño de un módulo MPS (Sistema de Producción Modular) y su acoplamiento a una celda de manufactura flexible de laboratorio, aplicando conocimientos de robótica, sistemas mecánicos y visión artificial, para controlar la selección de piezas en un proceso simulado; además contiene los análisis de esfuerzo en puntos críticos del diseño, mostrando como resultados de esta etapa del proyecto los diseños CAD finales del MPS.

Palabras claves— Algoritmos, Celda de manufactura, Sistema de visión, Programación, Diseños CAD, MPS.

Abstract— *In this paper the design of an MPS module (Modular Production System) and its attachment to a laboratory manufacturing cell, applying knowledge of robotics, mechanical systems and artificial vision, is presented to control the selection of parts in a simulated process; It also contains the stress analysis at critical points of the design, showing the results of this stage of the project the final CAD designs of the MPS*

Keywords— Algorithms, Manufacturing Cell, Vision System, Programming, CAD designs, MPS.

I. INTRODUCCIÓN

La celda de manufactura flexible (CMF) es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto.

El aspecto flexible de una celda de manufactura indica que la celda no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, más bien puede acomodarse fácilmente a distintas

partes y productos. Las máquinas en una celda en su mayoría cuentan con un robot como parte central, el cual mueve las partes de máquina en máquina [1].

Las celdas de manufactura son una parte muy importante en las industrias, ya que este concepto puede aplicarse a una gran diversidad de procesos, por lo cual es muy importante que alumnos de ingeniería conozcan el funcionamiento y la aplicación de las mismas de una forma general, y para este propósito uno de los controladores más importantes que se están manejando en la actualidad para estos sistemas son los que utilizan algoritmos de visión, que son la comprensión de imágenes por medio de sus propiedades.

Existen dos tipos de propiedades que se pueden utilizar en los algoritmos de visión: las geométricas que son el tamaño, la forma y localización de los objetos y de los materiales que son su color, iluminación, textura y composición.

Las CMF con sistema de visión actuales son capaces de ver y percibir objetos e imágenes de la manera más semejante a como el ser humano lo realiza, esto se hace cada vez más necesario al utilizar sistemas complejos robóticos en donde la planificación y la guía del movimiento es cada vez más compleja debido a la gran variedad de aplicaciones en que se utilizan. Estos sistemas incluyen toda una serie de operaciones de alimentación, manipulación, verificación, realizados mediante componentes de diferentes tecnologías [2].

Esta disciplina científica ha evolucionado de manera impresionante durante los últimos años, permitiendo realizar una toma de decisiones para automatizar cualquier proceso, es por ello que se decidió implementar un MPS que permitiera al alumnado realizar pruebas reales con cámaras industriales.

La primera etapa para la concepción de este proyecto fue el uso de software CAD para la creación del diseño preliminar del MPS, tomando en cuenta diferentes

¹ Lázaro López Puente (lpuente@utt.edu.mx)

Universidad Tecnológica de Torreón, Cuerpo Académico Eléctrica Electrónica, Carretera Torreón-Matamoros KM 10 Ejido el Águila, C.P. 27400, Municipio de Torreón, Coahuila, México.

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ing. Electrónica, Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, C.P. 35150, Municipio de Lerdo, Durango, México.

² Alejandro Caldera Vidaña (calderavida@gmail.com)

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ing. Electromecánica, Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, C.P. 35150, Municipio de Lerdo, Durango, México.

³ Joaquín Saucedo Barajas (jsaucedo@utt.edu.mx)

Universidad Tecnológica de Torreón, Cuerpo Académico Eléctrica Electrónica, Carretera Torreón-Matamoros KM 10 Ejido el Águila, C.P. 27400, Municipio de Torreón, Coahuila, México.

elementos mecánicos y electrónicos para su acoplamiento con una celda de manufactura flexible de laboratorio.

Se mostrara el ensamble final del diseño que será la base para su construcción y posteriormente la elaboración de pruebas en laboratorio.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los objetivos de las empresas hoy en día es cumplir con la fabricación y entrega de productos, para lo cual las empresas requieren del personal capacitado para para la manipulación de máquinas y tecnología avanzada.

Esto implica una gran necesidad de técnicos ingenieros con la preparación necesaria para asumir la responsabilidad para manipular las celdas de manufactura flexibles que la industria demanda.

Por lo cual surge la necesidad de modificar o ampliar la celda de manufactura flexible de la Universidad Tecnológica de Torreón para facilitar el aprendizaje de los alumnos en el laboratorio de Mecatrónica para que con una capacitación adecuada en el mismo poder contribuir al desarrollo tecnológico que demanda el sector industrial; por lo tanto es factible, pensar en el diseño de un MPS, que sirva de apoyo para a los estudiantes de ingeniería Mecatrónica, dotando de un caso práctico que sirva de guía para la solución de problemas similares que se pudieran presentar en la industria.

La primera parte de este trabajo consistió en el estudio de una la Celda de Manufactura Flexible (CMF), esto con la finalidad de efectuar el acoplamiento de un Robot Mitsubishi de 5 grados de libertad (gdl) en conjunto con la construcción de un módulo MPS (Sistema de Producción Modular); el objetivo fundamental es ampliar su funcionalidad sistema, en base a las especificaciones arrojadas en dicho estudio, con esto se determinaran diferentes aspectos importantes para comenzar el diseño del MPS como lo son material, dimensiones y corte.

Una vez que se hizo esto, se optó por desarrollar un módulo MPS con bandas clasificadoras de piezas, en los cuales se pueden emplear diferentes tipos de sensores y controladores industriales en conjunto con cámaras industriales para programar algoritmos de visión, ya que esto servirá como parte fundamental para el desarrollo de las habilidades y conocimientos en los alumnos.

Este diseño le facilitará al alumno la experiencia práctica del desarrollo e implementación del proceso de fabricación.

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

El diseño se realizó en Solidworks 2016, el cuál es un software de diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés) de la empresa Dassault Systemes. Se eligió este programa para realizar las simulaciones y hacer mucho más eficiente cualquier tipo de trabajo enfocado al diseño mecánico [3] [4] [5].

En la Figura 1 se muestra el plano del soporte del MPS, de acuerdo a las dimensiones estándar que se manejan en los otros módulos de celda.

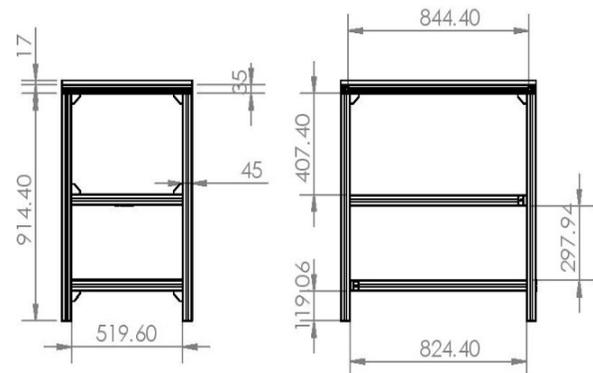


Figura 1. Plano del Soporte para módulo MPS

Posteriormente, se comienzan a modelar el soporte del MPS, este modelo es importante ya que en él se colocaran todos los elementos que conforman al mismo y que será la base para la modelación de otros componentes. El modelo 3D del pieza se muestra en Figura 2.

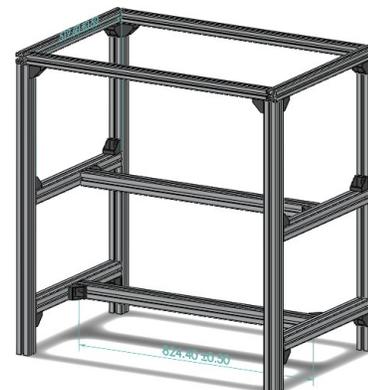


Figura 2. Soporte del módulo MPS

El siguiente paso es realizar el modelo denominado mecanismo de la cámara, el cual consiste en un mecanismo que corre sobre un eje donde se monta un sensor de visión para realizar las capturas de imagen en tres diferentes estaciones. Para este modelo se elaboraron distintos diseños de piezas que cumplen una labor primordial en él

funcionamiento. Los elementos principales del mecanismo de la cámara se muestran en la Figura 3.

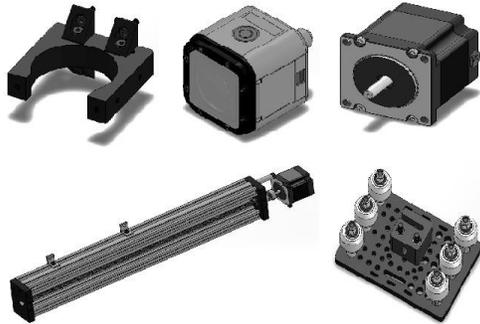


Figura 3. Elementos del mecanismo de la cámara

Una vez elaborada las piezas del mecanismo se procede a realizar el sub-ensamble principal, que será una parte esencial del proceso de clasificación, debido a que esta ejecutara la mayor parte del control en el proceso. En la Figura 4 la vista explosionada del sub-ensamble.

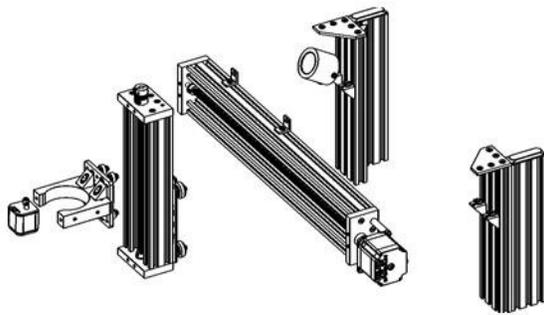


Figura 4. Vista explosionada del sub-ensamble

En la Figura 5 se muestra el sub-ensamble ya terminado, que servirá de transporte para la cámara industrial para la etapa de clasificación.

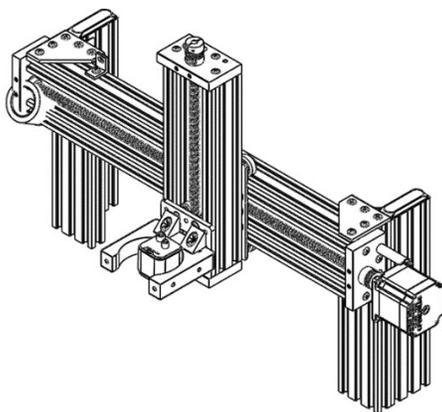


Figura 5. Vista del ensamble completo del mecanismo de la cámara

Básicamente en esta etapa del proceso consiste en la selección de piezas de acuerdo a características definidas por el usuario, previamente configuradas en las cámaras de visión, mediante un sistema empujador, lo cual definirá si la pieza es óptima o tiene que ser desechada.

La función de la siguiente etapa es la transportación, esta parte con sus distintas variantes se encuentra en todo proceso de fabricación, puesto que es una actividad indispensable en todo el proceso para el traslado de las piezas o componentes y poder continuar con la siguiente operación según la configuración de las celdas de manufactura. En la Figura 6 se muestra el diseño de las bandas transportadoras de esta etapa.

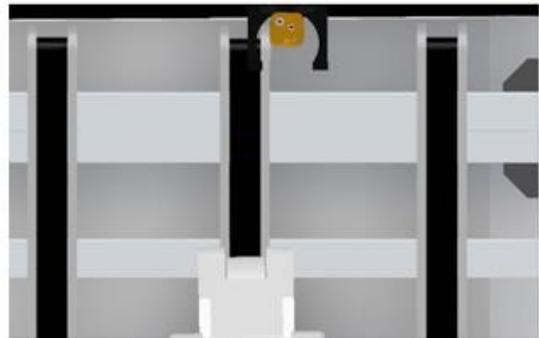


Figura 6. Bandas transportadoras vista superior

Las piezas seleccionadas deben de llegar al otro extremo para que un robot de 5 gdl efectúe el almacenamiento de las mismas. En la Figura 7 se muestra como las bandas envían las piezas hacia el robot.

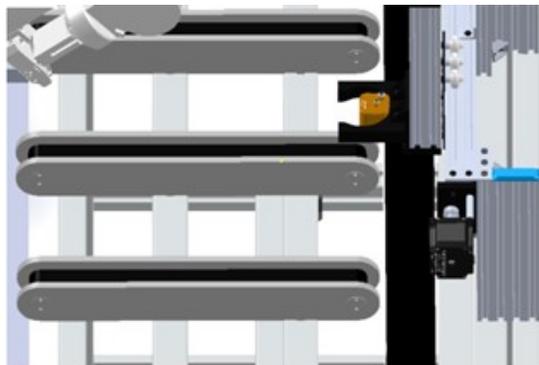


Figura 7. Bandas transportadoras vista lateral

La parte final del diseño consiste en el ensamble total de todos los componentes acoplados al robot de 5 gdl, En la Figura 8 se muestra el diseño del módulo MPS.

Esto nos permitirá elaborar simulaciones, pruebas de funcionamiento con sus respectivas adecuaciones pertinentes.

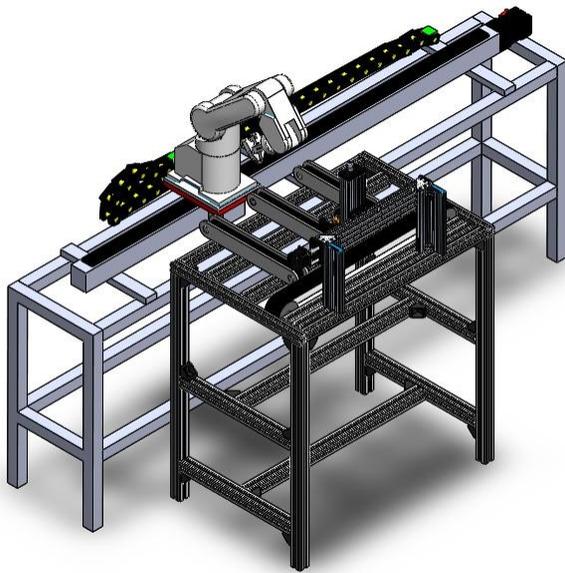


Figura 7. Diseño final de módulo MPS

En paralelo con este trabajo se tuvo que realizar el diseño de la estructura donde se montara el eje del robot para su desplazamiento a diferentes módulos MPS.

Para esta estructura se llevara a cabo un análisis simple de cargas internas resultantes de la sección transversal de dicho eje [6] [7], como se muestra en la Figura 8.

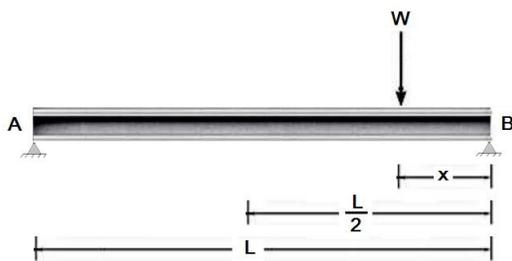


Figura 8. Bosquejo del eje del robot

Para esto se realiza un corte con el fin de analizar el comportamiento del riel con la carga del robot cuando $(\frac{L}{2} > x > 0)$, mostrado en la Figura 9.

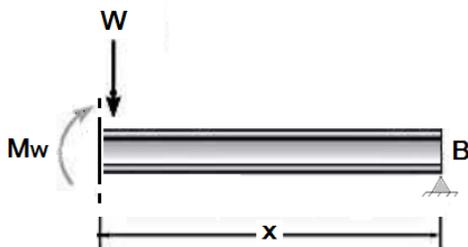


Figura 9. Corte transversal del eje del robot

Del cual aplicando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_B = 0$$

$$-W \cdot x + M_w = 0$$

$$M_w = W \cdot x$$

Del mismo modo se aplica el análisis para el riel donde ira montada la cámara industrial, como se muestra en la Figura 10.

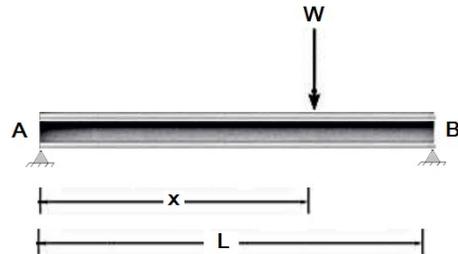


Figura 10. Bosquejo del riel de la cámara industrial

Realizando un corte para determinar su comportamiento cuando $(L > x > 0)$, esto se muestra en la Figura 11

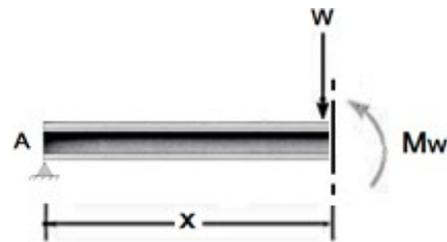


Figura 10. Bosquejo del riel de la cámara industrial

Al aplicar ecuaciones de equilibrio de momentos en el punto "A" se tiene que:

$$\sum M_A = 0$$

$$W \cdot x - B \cdot L = 0$$

$$W \cdot x = B \cdot L$$

En ambos casos también deben de tomarse en cuenta las condiciones de equilibrio en las fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0$$

$$A - W + B = 0$$

$$A + B = W$$

Esto nos permitirá conocer la fuerza generada en el punto donde sea colocada la cámara o robot para determinar las características del material que debe ser utilizado.

IV. PROPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO

El sistema de control propuesto para lograr el funcionamiento del módulo MPS se muestra en el diagrama a bloques de la Figura 12.

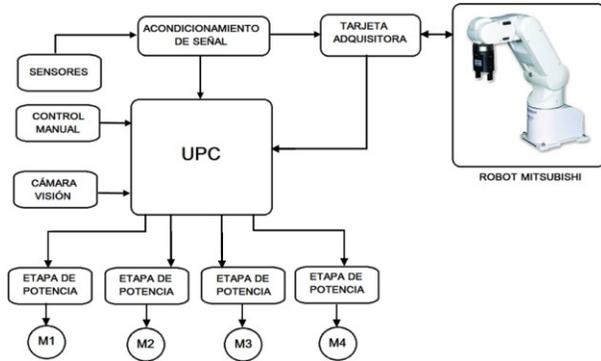


Figura 12. Diagrama de bloques del control electrónico

UPC. Unidad Principal de Control, este componente será el encargado de recibir y transmitir información con los otros elementos del sistema, el cual tendrá el programa principal para el funcionamiento de la etapa de clasificación y transporte de las piezas. Para este propósito sea seleccionado un PLC con comunicación de protocolo Ethernet, debido a su fácil programación y configuración, además de que tiene la flexibilidad para realizar cambios en el sistema si se requieren en el futuro [8].

Robot Mitsubishi. Este elemento es el encargado de realizar la etapa de almacenamiento de las piezas previamente clasificadas, el cual tendrá programada las trayectorias necesarias para almacenar tres diferentes tipos de piezas.

Tarjeta Adquisitoria. Debido a que el Robot Mitsubishi cuenta con 8 entradas y 8 salidas digitales, estas deben de direccionarse por medio de una tarjeta adquisitoria para poder realizar la comunicación con los demás elementos del sistema.

Sensores. Estos elementos son la parte que nos proporcionara la información requerida del sistema, la cual deberá de procesarse en la UPC y Robot Mitsubishi para posteriormente realizar las acciones de control.

Acondicionamiento de Señal. Esta recibe las señales de los sensores para después convertirlas en los rangos estándar para poder enviarlas al UPC y Robot Mitsubishi.

Control Manual. Esta permitirá controlar el encendido, el paro de emergencia y el restablecimiento del módulo MPS.

Motores. Son los actuadores que realizar la acción de control enviada por la UPC para la clasificación y transportación de piezas por medio de las bandas, los cuales tienen una etapa de potencia; estas tarjetas son las que se encargan de proporcionar la potencia necesaria para mover los motores y realizar la acción de control.

V. SENSORES DE VISIÓN

Para que el módulo MPS pueda realizar las acciones de clasificación y transporte, es necesario utilizar sensores de visión que puedan reconocer características importantes de los objetos en cuestión, se pretende utilizar los siguientes sensores de visión.

El VISOR SENSOR V10 con su detección altamente exacta de la posición y de la orientación, el VISOR es uno del mejor de su clase. Con su alta energía del procesador, su campo visual ampliado (VGA ancho) y su iluminación muy brillante del LED, domina casi todas las tareas actuales que requieran image-processing. La cámara realiza la comparación, la detección del contorno, la detección del brillo, la detección gris del umbral y la detección del contraste.

El seguimiento de la posición permite la detección confiable de tales características aunque que no están exactamente y en varias ocasiones en enseñar-en la posición. Todas las evaluaciones ocurren concerniente a la posición y la orientación actuales de la parte. Este sensor se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Visor sensor V10

Cámara O2D220. El sensor registra, con el método de luz transmitida o de luz incidente, el contorno de una pieza y la compara con los contornos de uno o varios modelos en una imagen de referencia. En función del grado de concordancia se puede emitir como resultado si se ha encontrado un modelo o qué modelo se ha detectado. Este sensor se puede observar en la Figura 14.



Figura 14. Sensor de visión O2D220

Superior de Lerdo, por proporcionar los recursos y apoyos necesarios para realización de este proyecto.

VI. CONCLUSIÓN

Se presenta el diseño de un módulo MPS para la selección y transportación de piezas en base a la necesidad de actualizar los sistemas presentes en el laboratorio de la universidad.

Además se describe la metodología de diseño y los componentes principales que estarán involucrados en la construcción del MPS.

Los elementos más importantes en el desarrollo de este proyecto son los sensores de visión, los cuales brindaran la información necesaria para el proceso de clasificación y selección de piezas; se proponen dos tipos de sensores a utilizar.

En este proyecto se integraron conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica y computación, aplicando los criterios establecidos para el diseño de un sistema mecatrónico, así como la integración de un prototipo funcional, con el propósito de automatizar de manera flexible un proceso de producción. El desarrollar esta clase de prototipo permite el reforzamiento de conocimientos en diferentes tipos de asignaturas, esto para el mejor desarrollo como profesionistas de los alumnos.

Como trabajos futuros se tendría la implementación y puesta en marcha del MPS ya que, como todo sistema mecatrónico, varía de la simulación a la puesta en marcha por diversos factores, entre ellos se encuentra la verificación de tolerancias de fabricación, el correcto funcionamiento de los elementos mecánicos, entre otros.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PRODEP, a la Universidad Tecnológica de Torreón y al Instituto Tecnológico

VIII. REFERENCIAS

- [1] Sosa, J. H. (2013). "*Visión Artificial*", 1ra ed., Madrid: Ed. RA-MA.
- [2] Pajares, G. (2007). "*Visión por Computador*", 2nd ed., Madrid: Ed. RA-MA.
- [3] Gomez S. (2008). "*El Gran Libro de SolidWorks*", 2nd ed., México D.F., Ed. Alfaomega
- [4] Tran P. (2014). "*SolidWorks 2014 Part I-Basic Tools*", 1ra ed., Kansas, SDC Publications
- [5] Tran P. (2014). "*SolidWorks 2014 Part II-Basic Tools*", 1ra ed., Kansas, SDC Publications
- [6] Hibbeler, R. C. (2011). "*Mecánica de Materiales*", 8va ed., México D.F., Pearson Educación
- [7] Beer F.P.; Johnston E.R.; Dewolf J.T.; Mazurek D.F. (2010). "*Mecánica de Materiales*", 5ta ed., México D.F., McGraw-Hill
- [8] Alvarado N.; Vaquera E.; Román D.A.; "Propuesta de Diseño de Seguidor Solar de Dos y Tres Ejes", *CID, 2016*

Eléctrica – Electrónica, la universidad se encuentra ubicada en la ciudad de Torreón, Coah. México.

IX. BIOGRAFÍA



M.C. Lázaro López Puente. Nació en la Ciudad de San Pedro de las Colonias, Coah. México el 13 de enero de 1985. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el año de 2006. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en 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 2009, en la especialidad de

Control. Actualmente labora en la Universidad Tecnológica Torreón, desempeñando el puesto de Profesor de Tiempo Completo, en el Departamento de Mecatrónica, perteneciendo al Cuerpo Académico de Eléctrica – Electrónica, la universidad se encuentra ubicada en la ciudad de Torreón, Coah. México. Actualmente también labora para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de Docente, en la División de Electrónica, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango, México.



Ing. Alejandro Caldera Vidaña. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de agosto de 1986. Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C. en el año de 2010. Actualmente está en su etapa final de estudios en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. A. de C., ubicado en la ciudad de Torreón Coah.

México. Actualmente para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñando el puesto de Docente, en la División de Electromecánica, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango, México.



M.C. Joaquín Saucedo Barajas. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 22 de agosto de 1984. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el año de 2006. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en 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 2009, en la especialidad de

Control. Actualmente labora en la Universidad Tecnológica Torreón, desempeñando el puesto de Profesor de Tiempo Completo, en el Departamento de Mecatrónica, perteneciendo al Cuerpo Académico de

Optimización del tiempo de Ciclo en una Línea de Ensamblaje, Estudio de Caso

R.K. Martínez Chong^{1,*}, E. C. Ávila Salomón².

Resumen—El presente artículo trata sobre cómo se balancea una línea y las implicaciones que tiene en cuanto a los costos de producción y las técnicas utilizadas para bajar el tiempo de ciclo de una línea de producción. Se toma en cuenta la Eficiencia y Eficacia en todo el desarrollo del proyecto.

Palabras claves—Tiempo Disponible, Tiempo ciclo, Holders, Kjig, Balanceo de Líneas, productividad.

Abstract—this article deals with how a line is balanced and the implications it has for production costs and the techniques used to reduce the cycle time of a production line.

Keywords— Time Available, Cycle Time, Holders, Kjig, Line Balancing.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se pretende dar una breve ilustración sobre el balanceo de líneas en compañía Arnesera de la ciudad de San Pedro de las colonias en área de ensamblaje. El balanceo de líneas básicamente es el hecho de asignar varias tareas sucesivas en las estaciones de trabajo que generalmente tienen un flujo consecutivo y están en línea recta, en forma de U o bien en forma de C.

A esta orquesta de trabajo se le empiezan a añadir ciertas restricciones y la primera es el tiempo, tiempo en que debe de haber una congruencia total en el tiempo de ciclo de cada una de las estaciones de trabajo, según sea la carga dada y la preparación de las máquinas en el menor tiempo posible. El tiempo de ciclo es considerado como uno de los datos más importantes en la línea de producción pues marca el paso con que una pieza es ensamblada en una estación o bien el tiempo en que una pieza es completada en una línea de ensamblaje. Y para ello se puede utilizar la siguiente formula:

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo Total Efectivo Disponible por día}}{\text{Número de Piezas a producir}}$$

Cabe destacar que de acuerdo a los análisis de ventas, las tendencias se han inclinado a favor de productos cuya

personalización sea alta, por lo que en las líneas de producción se han tenido que optimizar los procesos y hacer en una sola línea varios productos muy similares y obtener lotes de producción.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Para desarrollar la presente investigación, primero se realizó un diagnóstico general de la línea que se va a

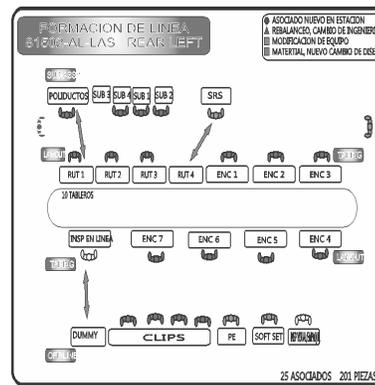


Figura 1. Balanceo de línea 81502

Balancear, en la que se tomaron los cronómetros y en una tabla se tomaron tres tiempos a cada estación (poner los poliductos, Subensamble, ruteo, encinte, prueba eléctrica, área de clip, área de Inspección y Soft Set) y posteriormente se obtuvo el promedio, así como se muestra en la Tabla I.

TABLA I

Estación	TIEMPOS			Tiempo Promedio
	T1	T2	T3	
Poliductos	112	162	129	134
sub3	158	149	151	153
sub4	120	122	136	126
sub2	120	122	134	125
sub1	150	155	151	152

Del Tecnológico 53, Colonia del Tecnológico, C.P. 27800, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

¹ Rafael.martinez@tecsanpedro.edu.mx Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias,

SRS-R4	126	128	136	130
R1	135	145	160	147
R2	97	104	88	96
R3	91	99	90	93
Enc1	140	148	150	146
Enc2	117	123	126	122
Enc3	140	145	155	147
Enc4	139	136	150	142
Enc5	112	122	119	118
Enc6	148	145	155	149
Enc7	151	158	148	152
Inspección clips	103	115	107	108
Prueba Eléctrica	116	105	135	119
SOFT-SET	76	90	73	80
Inspección	148	155	148	150

El tiempo ciclo que se va a obtener es en base a un turno diario de 28,800 Segundos efectivos entre las 201 piezas programadas, obtenemos TC=143.28seg.

En base en la Tabla I, se realiza un gráfico así como se muestra en la Figura 2, con lo que se aprecia de manera rápida cuales son las estaciones que sobrepasan el tiempo ciclo. Para desarrollar un plan de mejoramiento en cuanto a los tiempos, algunas recomendaciones son las siguientes:

- a) Uno o ambos operarios trabajen en la segunda operación tiempo extra, lo que acumula un pequeño inventario en esta estación de trabajo.
- b) A través de la re-asignación de parte de trabajo de la estación 2 a la operación 1, o a cualquier otra operación.
- c) Mejorar el método de la operación 2 para reducir el tiempo de ciclo de la estación
- d) Mediante el empleo de los servicios de un tercer operador de tiempo parcial en la estación de trabajo de la estación 2.

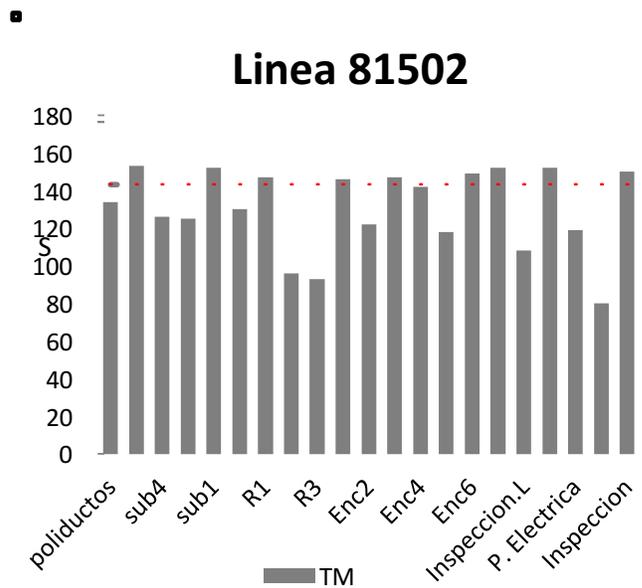


Figura 2. Gráfico de Tiempos en línea 81502

De acuerdo a los tiempos y a las gráficas de las 21 estaciones totales en el estudio, 9 estaciones fueron las que resultaron por encima del Tiempo Ciclo, y la estación más crítica es aquella que tiene el Tiempo de Ciclo mayor, por lo que el Subensamble número 3, es en la que se trabajará más para disminuir su tiempo.

Una Vez, que ya se identificaron las estaciones más lentas se obtiene el porcentaje de eficiencia, a través de la siguiente formula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\% \sum \text{De Tiempo de todas las Estaciones}}{(\text{Estaciones con mayor tiempo}) (\text{No. de estaciones})}$$

Figura 3. Formula de Eficiencia

Una vez realizados los cálculos obtenemos que la eficiencia es de 85%, sin embargo se establece que debe de subir la eficiencia de la línea hasta un 93% por lo que es importante que se determine el número de operadores existentes en la línea, para ello al revisarla se observa que existe 1 operador por cada estación, dando un total de 21 operadores.

Para determinar los operadores que debe de llevar la línea de manera matemática según la eficiencia que se requiera se hace uso de las siguientes formula (figura 4 y 5):

$$\text{Tasa de Producción (Tp)} = \frac{\text{Unidades a Producir}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

Figura 4. Formula de Tasa de Producción

$$\text{No. Operadores} = \frac{\text{No. De Tiempo Estándar}(Tasa de Producción)}{\text{Eficiencia}}$$

Figura 5. Número de Operadores

Para determinar la tasa de producción es muy sencillo, puesto que las unidades a producir son 201 piezas y el tiempo disponible es de 28,800seg, se efectúa la división y se obtiene 0.0069 (Tp).

2741 es la sumatoria de todos los tiempos por lo que se multiplica por la Tp y se divide entre 0.93 que es la eficiencia a la que se quiere llegar, dándonos un resultado de 20 operadores. De esta manera nos tenemos que enfocar en reducir 1 operador, actualmente hay 21.

Dado lo anterior procedemos a calcular el número teórico de operarios por estación, y en base a lo anterior localizar el que tenga el índice más bajo y proceder a eliminar la estación de Subensamble, para ello utilizamos la siguiente formula:

$$\text{No. De Operadores (1)} = \frac{\text{(Tiempo estándar) (Tp)}}{\text{Eficiencia}}$$

Figura 5. Número de Operadores en estación 1

Como se puede observar los valores de la Tabla I, en cuanto al Tiempo promedio, el Ruteo 3 (R3) es el que menos tiempo hace en su operación (93 segundos) y obteniendo un tiempo libre de 50 segundos en cada ciclo. Por ello en la Tabla II al determinar el Número de Operadores, coincide en arrojar el dato menor, por lo que se procederá a pasar la mayor parte del trabajo a ruteo 2 (R2) y encinte 2 (Enc2). Todo esto con el fin de elevar la eficiencia.

También debemos de saber cuál es la operación más lenta, ya que esta marca el ritmo de producción de la línea, aunque todas las demás operaciones sean más rápidas. Además del acumulamiento de material en proceso en dicha estación y la posibilidad también de daño de partes del producto y aumento en errores y defectos. Para calcular cual estación es más lenta de manera matemática se hace uso de la Figura 6 y se busca el valor más alto.

TABLA II

Ensamble	Tiempo Promedio	Número de Operadores
Poliductos	134	0.99
sub3	153	1.14
sub4	126	0.93
sub2	125	0.93
sub1	152	1.13
SRS-R4	130	0.96
R1	147	1.09
R2	96	0.71
R3	93	0.69
Enc1	146	1.08
Enc2	122	0.91
Enc3	147	1.09
Enc4	142	1.05
Enc5	118	0.88
Enc6	149	1.11
Enc7	152	1.13
Inspección	108	0.80
clips	152	1.13
P. Eléctrica	119	0.88
SOFT-SET	80	0.59
Inspección	150	1.11

$$\text{Tiempo Asignado (1)} = \frac{\text{(Tiempo estándar) No. Operarios en Estación}}{\text{Eficiencia}}$$

Figura 6. Tiempo Asignado

Una vez realizados los cálculos se determina que la estación Sub 3, Sub1, Enc7 y Clips fueron las que arrojaron la mayor cantidad de tiempo, por lo que se procede a realizar las mejoras.

Las primeras mejoras que se hicieron fueron directamente en las estaciones de trabajo y fue el hecho de cerrar las canaletas que no se estuvieran usando, con el fin de evitar tiempo innecesario en localizar las terminales en espacios vacíos, así como el hecho de proteger las puntas con vasos protectores para evitar el daño de las terminales durante su transporte del área de materiales hasta los Subensambles, así como se parecía en la Figura 7.



Figura 7. Tiempo Asignado

En la estación de clips encontraban puestos unos pernos en los cuales están los holder de los clips que se colocan, estos pernos representaban una gran dificultad para el operador al momento de fijar el clip al arnés, ya que al encintar el clip el operador se golpeaba la mano con el perno ocasionándole dolor. Esto generaba una acumulación de tiempo muerto por que el operador tardaba 12 segundos en colocarlo correctamente por consecuencia se eleva el tiempo de ciclo. Se cambiaron los pernos por Kjig para mejorar el ruteo del arnés y para que el operador al momento de encintar el clip pueda bajar el holder y no golpearse con él, facilitándole la operación, con este cambio.

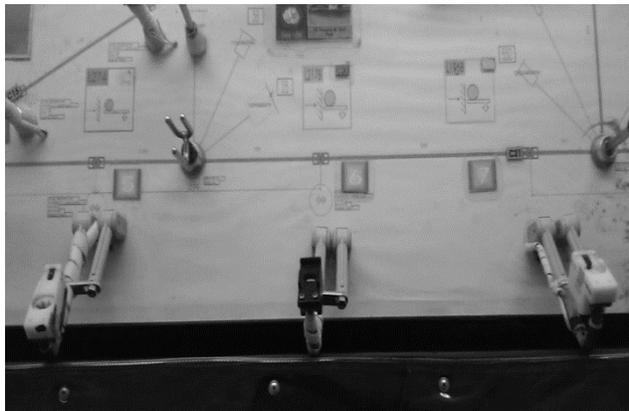
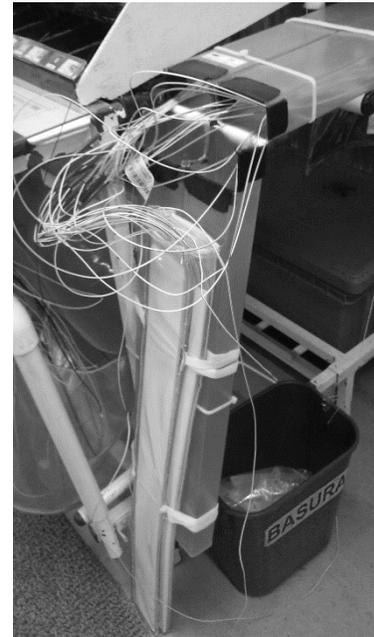


Figura 7. Cambio de Holder por Kjijs.

Otro de los problemas más comunes en el área de Subensamble es el enredo de los cables, unos con otros, ya que la canaleta en la que se les surtía no era la adecuada y elevaba el tiempo de ciclo de la operadora al estar desenredándolos

Se eliminaron las canaletas de plástico la cual no era la

adecuada para este conjunto de cables que se le llama empalme y las bolsas traseras en donde bajaban los circuitos, acondicionando las mesas de Subensamble de manera que la operadora no tuviera problemas y atrasos. Se les colocaron unas canaletas en las cuales pueda surtir los cables sin tener problemas de enredos y disminuyendo 8 segundos a su tiempo de ciclo, ver Figura 9.



Por ultimo a los operadores de encinte se les dio una breve capacitación sobre el método para realizar el encinte de manera correcta y en el menor tiempo posible, para ello en el área de adiestramiento, se les toma el tiempo en encintar un tramo de cables.

III. RESULTADOS

Debido a las mejoras realizadas en cuanto a los tableros de ruteo, cambio de holders por Kjijs, así como el cambio de las canaletas o bien tapar aquellas canaletas que no se usaron y finalmente un taller para los operadores de encinte, se logró bajar el tiempo ciclo a menos de 143 segundos según lo muestra la Tabla III.

Nótese que el Ruteo3 (R3) se ha eliminado de la línea de ensamble como parte de las medidas para cumplir la Eficiencia. Y que la eficacia es del 100% al obtener 201 piezas diarias.

Ensamble	T1	T2	T3	Tiempo Promedio
Poliductos	125	130	135	130
sub3	138	138	140	139

sub4	125	128	135	129
sub2	140	138	139	139
sub1	140	141	140	140
SRS-R4	138	138	137	138
R1	135	137	139	137
R2	140	135	138	138
Enc1	138	140	142	140
Enc2	130	138	135	134
Enc3	140	141	138	140
Enc4	140	140	138	139
Enc5	138	139	130	136
Enc6	138	130	140	136
Enc7	140	140	142	141
Inspección.	120	125	120	122
clips	140	141	140	140
P. Eléctrica	120	121	122	121
SOFT-SET	90	100	102	97
Inspección	140	135	138	138

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Como parte del aprendizaje en el balanceo de líneas, se debe de saber que la línea perfectamente balanceada no existe, sin embargo se debe de llevar a la perfección... y es precisamente ese intento incansable del día a día que se utilice el ingenio y todas las herramientas, técnicas y metodologías que los Ingenieros poseen para el bien de la sociedad.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Autosistemas de Torreón S.A. por permitirnos colaborar en este proyecto.

VI. REFERENCIAS

Para libros:

- [1] B. Niebel, A. Freivalds. (2009). Ingeniería Industrial, Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Mexico D.F.: Mc Graw Hill. p. 47.
- [2] F. Jacobs, R. Chase. (2014). Administración de operaciones, Producción y Cadena de Suministros. Mexico D. F.: Mc. Graw Hill
- [3] B. Render, J. Heizer. (2007). Administración de la Producción . Mexico D. F.: Pearson Education
- [4] L. Krajewsky, L. Ritzman, M. Malhotra. (2008). Administración de operaciones. Mexico D.F.: Pearson/Prentice Hall.

VII. BIOGRAFÍA



Rafael Kon Martínez Chong, Torreón Coah, 17 de febrero de 1982. Ingeniero Industrial en Manufactura, Instituto Tecnológico de La laguna, Torreón, Coahuila 2004, Maestría en Gestión de Negocios de Manufactura, Torreón Coahuila 2008, El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias en San Pedro Coahuila. Las líneas de investigación de interés del autor son: Manufactura Avanzada por Computadora, Sistemas de Gestión de Calidad, Metodologías en Productividad

M.C Rafael Kon es miembro de la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico (ADIAT).



Elsa Carolina Ávila Salomón

San Pedro de las Colonias Coahuila, 16 de Enero de 1979. Maestría en Administración de Seguridad e Higiene, Salud Ocupacional y Ecología, Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón Coahuila. 2012. Ingeniero Químico Instituto Tecnológico de La Laguna. Torreón, Coahuila. 2001. Diplomado en Docencia Universidad Autónoma de La Laguna. Torreón Coahuila. 2005. Diplomado en Competencias Docentes Básicas en el Nivel Superior. Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica. Santiago de Querétaro, Querétaro. 2008. Auditor Líder en el Sistema Integral (calidad, ambiental y oshas). WORLD REGISTER O.C. México D.F. 2014.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en la Ciudad de San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Maestro de tiempo completo, pertenece a la academia de Ciencias Básicas, colaborador en el Área de Innovación, Coordinadora de la Implementación del sistema de Gestión Ambiental, de la Norma ISO 14001, en el punto 4.4.6 Control Operacional y 4.4.7 Respuesta ante Emergencia en la Institución. Titular en las asignaturas de Química, Estadística Inferencial II, Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional, Propiedad de los Materiales, Líneas de Investigación de interés: Química, Polímeros, Seguridad e Higiene y/o Desarrollo Sustentable

“Prácticas de Valor para Adoptar un Enfoque por Competencias Laborales”

E.A. Meraz-Salazar,^{*} M.L. García Mares².

Resumen— La Globalización ha traído consigo, la necesidad de establecer estándares en los procesos que integran las organizaciones, ha ayudado a formentar la Administración del Conocimiento. La administración del conocimiento es un factor determinante en el desarrollo de la industria tanto como el capital humano. Un sistema por competencias laborales es aquel sistema que conjunta y enumera las competencias necesarias para el desarrollo y cumplimiento de una ocupación en un área determinada establecida por las características especiales de cada persona. La Gestión del Conocimiento y sus corrientes múltiples para realizarlo se han convertido en una de las principales cuestiones de estrategias de administración de personal actual. Surgen la necesidad de detectar las prácticas de valor necesarias para adoptar un enfoque por competencias laborales. El presente trabajo de investigación se basa en la gestión de un sistema por enfoque de competencias laborales, presenta un análisis por medio de un estudio a diversas empresas en Monterrey, N.L., con el objetivo de presentar información relevante basada en datos empíricos sobre las prácticas de valor que influyen para la gestión por enfoque de competencias. Los conceptos básicos de referencia respecto a la investigación son: Prácticas de Valor, Administración del Conocimiento, Sistema por Competencias Laborales, Administración del cambio. Cada uno de estos conceptos se consideran durante la investigación, y con base a las prácticas detectadas se desarrolla una encuesta con el fin de permitir detectar las prácticas de valor, así como originar un modelo particular para la gestión por competencias. En recursos técnicos, se analiza la relación de las variables en los procesos involucrados que apoyen esta gestión. Las conclusiones finales presentarán las prácticas de valor detectadas, los beneficios que estas prácticas traen a la gestión por competencias, así como un modelo particular para la gestión por competencias.

Palabras claves—Competencias Laborales, Globalización, Administración del Conocimiento, Prácticas de Valor, Capital Humano.

Abstract— Globalization has brought with it, the need to establish standards in the processes that integrate the

organizations, has helped to formentar the Knowledge Administration. Knowledge management is a determining factor in the development of industry as well as human capital. A system by labor competencies is that system that combines and lists the necessary skills for the development and fulfillment of an occupation in a specific area established by the special characteristics of each person. Knowledge Management and its multiple streams to realize it have become one of the main issues of current personnel management strategies. The need to detect the value practices necessary to adopt a labor competencies approach. The present research work is based on the management of a system by approach of labor competencies, presents an analysis by means of a study to several companies in Monterrey, NL, with the aim of presenting relevant information based on empirical data on the value practices that influence the management by competencies approach. The basic concepts of reference regarding research are: Values Practices, Knowledge Management, System for Labor Competencies, Change Management. Each of these concepts are considered during the research, and based on the practices detected, a survey is developed. In order to allow the detection of value practices, as well as to create a particular model for competency management. In technical resources, the relationship of the variables in the involved processes that support this management is analyzed. The final conclusions will present the value practices detected, the benefits that these practices bring to management by competencies, as well as a particular model for competency management.

Keywords— Labor Competencies, Globalization, Knowledge Management, Value Practices, Human Capital.

I. INTRODUCCIÓN

La industria en general está integrada por varios sectores como son el financiero, el material, y el humano este último fundamental para su éxito y desarrollo favorable, sin embargo conforme pasa el tiempo se ha modificado la percepción respecto al recurso humano y a su manera de integrar personas a la organización.

La Globalización ha traído consigo, la necesidad de establecer estándares de desempeño así mismo ha ayudado a formar conceptos tales como Administración del Conocimiento. La administración del conocimiento es un

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería Industrial. Av. Tecnológico S/N Col. Periférico. C.P. 35150, Ciudad Lerdo, Dgo. Mexico.
emeraz@outlook.com

factor determinante en el desarrollo de la industria tanto como el capital humano.

Las organizaciones, han encontrado que los activos físicos y financieros no tienen la capacidad de generar ventajas competitivas sostenibles en el tiempo y descubren que los valores intangibles son los que verdaderamente las aportan. Cuando nos realizamos la pregunta ¿Que son realmente dichos valores intangibles? La respuesta se centra en toda aquella serie de recursos que pertenecen a la organización, pero no están valorados desde un punto de vista contable o financiero así como las capacidades que se generan en la organización cuando los recursos empiezan a trabajar en grupo, referidos además como procesos, rutinas organizativas y todo aquello que los rodea. En definitiva un activo intangible es todo aquello que una organización utiliza para crear valor, pero no se contabiliza (Masoulas, 1997).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Diseño

Se realiza una investigación de tipo no experimental, dado que se observarán los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

En referencia a (Hernández, Fernández, y Baptista, 1991) en un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente, así mismo las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, no se tiene control directo sobre dichas variables, no se puede influir sobre ellas porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Dentro del estudio no experimental existen dos tipos de diseño de acuerdo al número de momentos o puntos en el tiempo en los cuales se recolectan los datos; que son transversales y longitudinales.

Nos enfocaremos al estudio no experimental transversal, debido a que se desea analizar cual es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien, cual es su relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo (Hernández, Fernández y Baptista, 1991)

Así mismo los diseños transversales pueden dividirse en dos: descriptivos y Correlacionales/causales. Dado que se tendrá como fin de esta investigación indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables (Hernández, Fernández y Baptista, 1991) se seleccionará el diseño transversal descriptivo.

B. Población y Muestra

La herramienta de investigación se aplica a diversas empresas que están relacionadas con el enfoque de sistema por competencias laborales y que tiene vínculo con el Centro de Sistema de Conocimiento del ITESM, sin importar el sector al cual se dediquen.

De las cuales se omite el nombre debido a fines de confidencialidad.

Por lo cual la población total es 15 empresas

Y apoyándose en la herramienta de STATS se deduce lo siguiente:

Tamaño del Universo:30

Error máximo aceptable: 5%

Porcentaje estimado de la muestra: 95%

Nivel deseado de confianza 99%

Tamaño de la muestra: 15

C. Entorno

La herramienta de investigación se aplicará en las organizaciones que tengan conocimientos en un enfoque de Sistema por Competencias Laborales, enviándola al responsable de este sistema y explicándole el fin de la misma.

Además se facilitará el uso de herramientas internas como el correo electrónico, teléfono y facilidades en general para la distribución de encuestas.

D. Validación del Instrumento

Para la validación del Instrumento de Investigación, se validó a través de los Doctores que imparten cátedra en el ITESM Campus Monterrey en la Maestría en Tecnologías de Información, así como el grupo de compañeros doctorantes.

E. Procedimiento

En referencia a Hernández, Fernández y Baptista (1998) la investigación es de tipo correlacional, pues nos permitirá conocer como se puede comportar un concepto o variable

conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

La investigación es no experimental, se va a realizar sin manipular deliberadamente las variables y el diseño es del tipo transeccional correlacional para describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado

III. RESULTADOS

Retomando el objetivo del estudio, descrito con anterioridad se resume que su intención fue obtener una lista con las prácticas de valor que apoyan la gestión por competencias a través de la información recabada de 5 empresas que están familiarizadas con el enfoque por competencias y que tienen vínculo con el Centro de Sistemas del Conocimiento del Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey.

Para lograr este objetivo, se procedió a recabar información a partir de 3 secciones contenidas en la herramienta de investigación.

La primera sección, consiste en una lista de 11 variables; las cuales a consideración de las personas encuestadas deberían asignar una ponderación del 1 al 12, siendo el 1 el máximo valor otorgado y 12 el mínimo valor. Esta sección permite realizar una exploración acerca de las variables planteadas, con el fin de analizar el status en cada organización. Para representar los valores planteados se apoya de gráfica de pastel e histograma con el fin de solo representar los datos y la inclinación respecto a las variables cuestionadas.

La segunda sección consiste en una serie de preguntas generadas a partir de las variables detectadas y su relación con los procesos internos y externos de la organización considerando las hipótesis planteadas con anterioridad. A través de esta sección se permite detectar las prácticas de valor considerando el total de datos de la encuesta; planteando como prácticas de valor aquellas prácticas que aportan valor a la organización ya que permiten obtener la gestión por enfoque de competencias con Óptimo resultado. El criterio que se eligió para aceptar o rechazar la hipótesis, fue: Se acepta la hipótesis cuyo valor de la variable se encuentre entre los valores 5 y 30 del total de los datos emitidos, Se rechaza la hipótesis cuyo valor de la variable sea entre 5 y 30 del total de los datos emitidos, En las hipótesis en las cuales se plantean más de una variable, las variables en cuestión han de encontrarse entre el rango señalado con anterioridad para poder se aceptadas.

□Este porcentaje resulta de realizar un análisis estadístico y de obtener los limites tanto superior como inferior con relación a los datos totales obtenidos.

Los limites resultaron del siguiente planteamiento:

Fórmulas : LSC: $c + 3\sqrt{c}$ $c = FT / \text{No.Preguntas}$ LIC: $c - 3\sqrt{c}$

Por lo cual los limites para aceptar o rechazar son:

$$C = 1096/56 = 19.57$$

$$\text{LSC} = 19.57 + 3\sqrt{19.57} = 30$$

$$\text{LIC} = 19.57 - 3\sqrt{19.57} = 5$$

Lo cual representa como valor minino 5 y valor máximo 30

La tercera parte de la encuesta consiste en preguntas abiertas, con el fin de detectar información que consideran así mismo valiosa en la organización.

Analizando los datos se identifica que la tendencia es primeramente la comunicación otorgándole un 14% del Total, le sigue la variable Confianza en el Sistema por enfoque de competencias con un 14% así como el nivel de responsabilidad, debido a que se redondeo el valor existen valores que concuerdan, como tercer lugar aparece la cultura organizacional, otorgando un 8% sigue la motivación y capacitación con un 6% la integración, y por último con un 4% Calidad de vida intelectual, compromiso organizacional, orden en las etapas del sistema y entendimiento.

A través de esta gráfica se muestra la preferencia principal a seleccionar la variable comunicación como práctica principal para realizar la gestión por competencias.

Así mismo se obtiene que las medias se encuentran en las variables capacitación y motivación con un valor de 4.6 y 3.8, representando en el histograma siguiente:

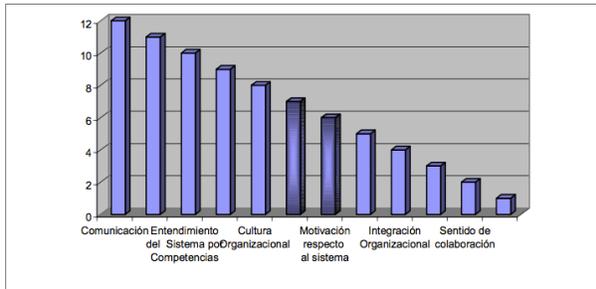


Gráfico 2. Histograma representativo de medias de frecuencia de la sección I

A continuación se muestra por medio de una hoja de verificación las variables así como su correspondiente ponderación, Media, y porcentaje:

Variable / práctica	TOTAL	MEDIANA	PORCENTAJES %	LUGAR QUE OCUPA
Comunicación	56	0.717948718	14	1
Integración Organizacional	26	0.333333333	7	9
Cultura Organizacional	38	0.487179487	10	5
Desarrollo de Calidad de vida intelectual	7	0.08974359	2	12
Capacitación	36	0.461538462	9	6
Entendimiento del Sistema por Competencias	42	0.538461538	11	3
Confianza en el SGC	40	0.512820513	10	4
Orden de las etapas del SGC	24	0.307692308	6	10
Nivel de responsabilidad de las personas involucradas en la gestión	26	0.333333333	7	8
Compromiso Organizacional	55	0.705128205	14	2
Motivación respecto al sistema	30	0.384615385	8	7
Sentido de colaboración	11	0.139240506	3	11

Tabla 5. Hoja de Verificación de datos de la sección I

Se deduce por medio de esta representación que se obtuvieron datos constantes, sin embargo se observa preferencia por la variable de comunicación y Confianza en el sistema por enfoque de competencias; las preguntas relacionadas con estas dos variables señalaban la importancia de la comunicación y de la retroalimentación sobre el avance del proyecto antes, durante y después de la gestión, así mismo que es necesario detectar aquellas oportunidades de mejora en la gestión de la misma e integrarla a la comunicación, y realizar juntas semanales; respecto a la confianza, señala que es fundamental conocer el alcance de un sistema por enfoque de competencias que nos permita articular las necesidades de la organización con el perfil de cada puesto; apoyando también al desarrollo dentro de la organización y como plataforma

para realizar escalonamientos de un puesto ha otro.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Analizando los datos obtenidos, se detecta que básicamente las empresas encuestadas consideran prácticas de valor a las siguientes prácticas Comunicación en un 30% Compromiso Organizacional en un 20% Entendimiento del sistema por enfoque de competencias 20% Confianza en el sistema por enfoque de competencias 10% Cultura organizacional 10% .

Ya que consideran que estas prácticas aportan un valor importante y generan ventaja competitiva apoyando las iniciativas de la gerencia, y considerando desde el punto de vista de la gestión por competencias, que facilitaron su integración tal como su gestión.

Entre los beneficios que se destacan de estas prácticas de valor se enumeran:

Comunicación: Permite la retroalimentación constante de las etapas que integran la gestión por competencias, así como detecta las inconformidades y oportunidades de mejora del diseño de gestión por competencias

Compromiso Organizacional: Guía el objetivo a seguir, así como las metas que se han cumplido a la vez que apoya las iniciativas guiadas por la dirección.

Entendimiento del sistema por enfoque de competencias: Permite visualizar los beneficios que trae consigo el sistema por competencias laborales, así como los elementos que lo integran, con el fin de apoyar en cuanto a tiempos establecidos a realizar. **Confianza en el sistema por enfoque de competencias:** Guía a desarrollar un enfoque integral por competencias, apoyando el desarrollo de las personas en la organización por medio del perfil de competencias . **Cultura organizacional:** Aporta un valor muy significativo, dado que en la cultura organizacional se encuentra implícito los valores, objetivos, y misión establecidos y cuya identidad originan su razón de ser, y apoyan a las competencias organizacionales distintivas.

Para finalizar cabe señalar que estas prácticas de valor, no son aplicables para todos los sectores, sin embargo el modelo desarrollado así como las prácticas de valor analizadas pueden apoyar una investigación de acuerdo a cada sector.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de las empresas que respondieron el instrumento para la realización de esta investigación.

VI. APÉNDICES

Se considera que las personas encuestadas no consideran necesaria el desarrollo de la motivación y compromiso, dado que opinan que no solo al inicio se ha de considerar sino durante todo el procesos de implementación de la gestión por competencias.

En la sección III de la herramienta de investigación, se realizaron preguntas abiertas, por medio de las cuales se obtuvieron resultados diferentes que se continuación se detallan.

En relación a la pregunta que cuestionaba cuales eran las actividades y/o prácticas que consideraban de apoyo para la comunicación durante la gestión por competencias los resultados fueron :

- Realizar juntas informativas al inicio del proceso para enterar a los involucrados sobre el objetivo y las metas concretas de la iniciativa.
- Informar con claridad cuales son las tareas de cada involucrado, así como los entregables.
- Establecer planes de seguimiento para asegurar el cumplimiento de las metas y proporcionar apoyo.
- Que el coach directo de la persona sea el que transmita la información a sus colaboradores

La retroalimentación del avance, la integración de nuevos proyectos y planes Los parámetros y/o indicadores que se considera para medir el Éxito de un proyecto se enlistan:

- Completa realización y colaboración de todo el equipo
- Depende del proyecto
- Claridad del resultado esperado, recursos, tiempo
- Cuando es rápidamente adoptado por el personal
- Cumplimiento a fechas, adopción del sistema, resultados tangibles del mismo
- Valor de recuperación que se obtenga

Entre los elementos que se consideran necesarios para

integrar el diseño por enfoque de competencias se encuentran: Evaluación ,Descripción de puestos, Auditorias, Comunicación continua, Valores organizacionales , Cultura, Planes a corto plazo.

También otro aspecto importante a cuestionar fue respecto a la forma como se realizó la capacitación de el enfoque de competencias respondiendo la mayoría que por medio de exámenes, cursos, y sobre principalmente un plan formal de capacitación integrado.

Y por último se pregunto cuales fueron las prácticas que apoyaron la estrategia por gestión de competencias siendo estas:

- Control de Cambios
- Staff meeting
- Quality meeting
- Manufacture meeting
- Módulos informativos de quejas consumidor
- Procedimientos
- No conformidades
- Análisis de la problemática
- Adaptación del proceso de acuerdo a su propia dinámica flexibilidad para la planeación
- Seguimiento continuo
- Creación de taskforce
- Involucrar a los tomadores de decisiones
- Una buena comunicación
- Control del status del proyecto.

Al analizar los resultado emitidos, se lograron identificar las prácticas de valor, siendo estas las prácticas que ayudan a la organización para alcanzar el rendimiento más alto respecto ala gestión por competencias, que con frecuencia cruzan varios procesos y unidades de negocio aportando un valor distinguible al sistema de capitales. A continuación se muestra que a partir de las prácticas generadas para la gestión por competencias surgen las prácticas de valor. Las prácticas analizadas son: Comunicación ,Alineación estratégica , Cultura organizacional, Integración Organizacional, Confianza en el sistema, Capacitación, Entendimiento del Sistema, Orden de la secuencia en las etapas, Motivación, Compromiso, Colaboración

VII. REFERENCIAS

- Al Wilson; Continuous change management; Army

Logistician, Fort Lee; Mar/Apr 2002; Vol. 34, Iss. 2; pg. 13, 5 pgs Andersen Arturo - Servicios Del Contrato: Controle la técnica de la autovaloración."http://www.arthurandersen.com/bus_info/services/contract/control.htm (2/27/1998).

- Andersen Consulting. World Class Manufacturing Competitiveness Study - The Second Lean Enterprise Report. 1994 Andreau, R., Ricart, J.E., y Valor, J. La Organización en la Era de la Información: Aprendizaje, Innovación y Cambio. Estudios y Ediciones IESE , 1995.
- Anonymous; Leading your firm through a new culture of change; Partner's Report, New York; Nov 2001; Vol. 01, Iss. 11; pg. 1, 4 pgs
- Aramburu Goya, Nenakane. Aprendizaje Organizativo desde la Perspectiva del cambio, Implicaciones Estratégicas y Organizativas, San Sebastián, 2000.
- Arrunda, Concepción. Cualificación versus Competencia. Boletín Cinterfor/OIT. Montevideo, 2000.
- Barrera, Jorge. La persona correcta, en el lugar correcto. Revista Mundo Ejecutivo. Publicación Mayo 2002.
- Bradley L Kirkman; The impact of cultural values on job satisfaction and organizational commitment in self-managing work teams: The mediating role of employee resistance; Academy of Management Journal, Briarcliff Manor; Jun 2001; Vol. 44, Iss. 3; pg. 557, 13 pgs
- Centro de Sistemas de Conocimiento; Prácticas de Valor; Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Monterrey, 2002.
- Conectándonos al Futuro de el Salvador, "Estrategia para la Creación de una Sociedad de Aprendizaje", San Salvador, 1999, <http://www.conectando.org.sv/Estrategia>
- Cubeiro Juan Carlos. Cómo sacarle fruto a la gestión por competencias. Training and Development Digest. Mayo 1998.
- Cumming, Thomas, Organization development and change, International Thomson Publishing, Ohio, 1997.
- De Jager Peter; Resistance to change: A new view of an old problem; The Futurist, Washington; May/June 2001; Vol. 35, Iss. 3; pg. 24, 4 pgs
- Delgado, C.E. La Influencia de la Cultura en la Conducta del Consumidor. Informa. USB., Caracas, 1990.
- Deming, Edward, Calidad Total, Mc Graw Hill, USA, 1975
- Denison, Daniel. Cultura Corporativa. Ed. Legis, Satafe de Bogotá, 1991. DINA E; Proyecto Sistema Nacional de Competencias, OTI; Nov 2003. (http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/com_plab/observ/proyecto/)

VIII. BIOGRAFÍA



Meraz Salazar, Erika Alejandra. Nació en la Ciudad de Torreón, Coahuila el 14 de Febrero de 1976. Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila en 1999, Maestra en Administración en Tecnologías de Información por el ITESM Campus Monterrey en el 2003, Actualmente cursa el Doctorado en Desarrollo Educativo por la Universidad Autónoma de la Laguna a finalizar en Diciembre del 2017.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la ciudad de Lerdo, Durango. así mismo ha trabajado en otras Universidades de la Región. Cuenta con basta experiencia como consultora en la Industria en áreas referentes a mejora de proceso, innovación, Desarrollo Organización, Coaching y Desarrollo de Habilidades directivas, así como asesora en proyectos de innovación y desarrollo de nuevos productos. Ha impartido conferencias sobre diversos temas entre las que destaca: Imagen y Personalidad del directivo, Contratación por Competencias, PNL en la educación, Liderazgo Proactivo, Competencias Profesionistas en el Siglo XXI, Comunicación Efectiva, Capital Intelectual, Inteligencia Social, Protocolo Social y Protocolo en los Negocios, Reinventándose. Las áreas de interés de ella son: Innovación, Mejora de Proceso, Coaching, Desarrollo Organización así como Inteligencias Múltiples, Programación Neurolingüística e Imagen personal.

MATI. Meraz es miembro de la Asociación de Exatec, así como Evaluadora por parte de CACEI. A recibido diversos reconocimientos entre los que destacan Asesora en Proyectos del Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica en el 2015, 2016 y 2017 en su Etapa Local y Regional. Reconocimiento como Jurado del Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica en su Etapa Regional y Nacional en el 2015 y 2016.



García Mares Martha Liliana. Torreón Coahuila, 23 de junio 1975. Ingeniero Industrial en Producción, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coahuila, México. Titulación 2002. Maestría en Administración. Universidad Autónoma de la Laguna. Torreón, Coahuila, México. Titulación 2008. Estudiante del Doctorado en Desarrollo Educativo, por parte de la Universidad Autónoma de la Laguna.

Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad de Lerdo, Durango, México, desde el año 2008, desempeñándose como Docente de la división de Ingeniería Industrial. Capacitador ante la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Asesor de proyectos multidisciplinarios. Cuenta con experiencia en consultoría de proyectos de incubación e Innovación Empresarial. Actualmente se encuentra en la línea de investigación educativa.

M.A. García, obtiene el reconocimiento a maestros con Perfil Deseable otorgado por el Prodep, de la Subsecretaría de Educación Superior desde el año 2016. Coordinó el Centro de Incubación e Innovación Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo durante el año 2015.

ÍNDICE DE AUTORES

A		M		S	
Adame Delgado, Raymundo	75	Machado Díaz, Eduardo	25	Saldaña Acosta, Ramiro	93
Arroyo Chavarria, Erika Janeth	121	Marín Montañez, Luis Francisco	132	Segovia Ávila, Elda	207
B		Martínez Chong, Rafael Kon	219	Serrano Hernández, Arturo	88
Beltrán Cediel, Yury Katherine	31	Martínez Gamboa, Irving Uriel	68	T	
C		Martínez Navarro, Javier	48	Tarango Hernández, José Eduardo	54
Castro Juárez, Ernesto II	97	Meraz Salazar, Erika Alejandra	225	Téllez Zapata, Alejandra Belén	189
Cervantes Vázquez, Tomás Juan Álvaro	143	Morales Tassinari, Adolfo Manuel	158	V	
Cordero Escamilla, Armando José	173	Morón Monreal, Jorge Elliott	81	Vega Luna, José Ignacio	07, 13 19
D		N		Vidaña Martínez, Silvia Adriana	147, 152
Delgado, Daniel Ricardo	165	Noriega Rodríguez, Diego Armando	183	Vielma Castillo, Rosa Elena	109
E		O		Viramontes Acosta, Adriana	169
Espinoza Arellano, José de Jesús	195	Orozco Cerros, Sayra Lissette	127		
Espinoza Fraire, Arturo Tadeo	01	P			
F		Pineda Belmontes, Mario Alberto	61		
Flores Cedillo, María Lisseth	179	R			
Flores Luevanos, María Guadalupe	115	Reyes Ornelas, José Pablo	37		
H		Rivero Corona, Michel Alejandro	68, 121, 127, 132		
Hernández López, Mónica	147, 152	Rizo López, José Francisco	103		
L					
Landa Reyes, Piedad	199				
López Puente, Lázaro	212				
Loya Reyes, Jorge Eduardo	42				

GUÍA PARA AUTORES

Se invita a todos los docentes, estudiantes e investigadores a enviar sus artículos de difusión científica y tecnológica en fechas programadas en la página del CONINCI y/o en la página web de la presente revista. Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje claro, didáctico y accesible correspondiente al público objetivo, con un discurso que aproveche al máximo los recursos narrativos, literarios y gramaticales. Se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

Criterios editoriales (difusión)

- No se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados. Sólo se aceptan artículos originales, entendiendo por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no se ha publicado o enviado a otras revistas.
- Los autores deben demostrar haber trabajado y publicado en el tema del artículo.
- El artículo debe ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- El artículo debe ser ordenado. Separar las dimensiones del tema y evitar romper la línea de tiempo.
- Debe considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deben contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deben presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptan modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato “.doc”, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de cada autor de máximo 100 palabras y carta firmada por todos los autores (formato en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor del ITSL.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de seis páginas (incluyendo figuras y tablas) de acuerdo al formato que a continuación se especifica:
 - Respetar el formato vigente para artículos del CONICNI (disponible en página web)
 - Tamaño carta; el margen superior deberá ser de 2.5 cm. y el resto de 2 cm.
 - Título. Máximo dos renglones, tipografiado en altas y bajas, tipo Times New Roman a 24 puntos, con interlínea normal, en negritas.

- Nombre del autor o autores. En mayúsculas con alineación al margen derecho, misma fuente tipográfica en 12 puntos, asterisco sobrescrito al final.
- Adscripción. Colocarla en pie de página de la 2a. columna antecedida por un asterisco, en tipografía Times New Roman de 8 puntos.
- Cuerpo del texto. A dos columnas, con tipografía Times New Roman de 10 puntos, justificado.
- Resúmenes. No mayores de 100 palabras tanto en inglés como en español. Incluir a lo sumo cinco palabras clave tanto en inglés como en español para ser utilizadas en índices. Deben ubicarse al terminar el cuerpo y antes de las referencias. Misma tipografía que el cuerpo.
- Deberán ser numeradas y aparecerán en el orden que fueron citadas en el texto, utilizando la misma tipografía del cuerpo. Las fichas bibliográficas deberán contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre del libro o de la revista, lugar, empresa editorial, año de la publicación, volumen y número de páginas.
- Subtítulos. Tipografía Times New Roman, 10 puntos, en negritas.
- Notas al pie. Times New Roman, 8 puntos.
- Material gráfico (incluye figuras, imágenes y tablas). Mínimo dos, máximo cinco a una o dos columnas, máximo media página, todas las imágenes deberán ser de al menos 300 DPI.
- Pie de gráficos. Tipografía Times New Roman, itálica de 9 puntos.
- Deberán evitarse en lo posible las notas a pie de página.

Nota importante

Todas las colaboraciones, sin excepción, serán evaluadas; en el caso de los artículos de investigación (difusión) serán arbitrados por especialistas por área científica. Los criterios aplicables a esta clase de artículos serán: el rigor científico, la calidad y precisión de la información, el interés general del tema expuesto y la claridad del lenguaje.

En el caso de los artículos de difusión, serán evaluados por especialistas en el tema, quienes valorarán la pertinencia, el lenguaje y la calidad del contenido.

Todos los textos son sometidos a revisión y los editores no se obligan a publicarlos sólo por recibirlos.

Una vez aprobados, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.

La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.

Todos los artículos deberán remitirse a la dirección de correo:
revistacid@itslerdo.edu.mx

o bien, al siguiente dirección:

Revista *CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO*

Edificio "F", Planta Alta

Av. Tecnológico 1555 Sur Col. Periférico

C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:

Tel: +52 (871) 7 25 23 71. ext. 134

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

<http://www.coninci.mx>

LA REVISTA CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO TIENE COMO PROPÓSITO DIFUNDIR LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTO, QUE EMERGE DE LAS PONENCIAS ACEPTADAS EN LAS EDICIONES ANUALES DEL CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA (CONINCI) DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO, EN LOS ÁMBITOS ACADÉMICO, CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL.

EN ESTA OCASIÓN, EN SUS PÁGINAS SE PUBLICAN LOS TRABAJOS Y/O AVANCES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PRESENTADOS EN LAS DIVERSAS ÁREAS DE LAS PONENCIAS DEL CONINCI EN SU EDICIÓN 2017.

