



Temáticas

Tierra

Energía

Biológicos

Bioquímica

Medio Ambiente

Gestión Educativa

Mecánica de Materiales

Ciencias de la Computación

Calidad y Sistemas de Manufactura

nanoschematic

DNA contains the genetic information that allows all living things to function, grow and reproduce. However, it is unclear how long the history of life on Earth has been. In 2012, it has been estimated that the earliest forms of life may have lived 3.5 billion years ago. This is because the earliest material (fossilized) that has been found in the geological record is 3.5 billion years old. It is also thought that the earliest life forms may have been simple molecules and early cells. The world of nanotechnology is a world of small things, but it is a world of big ideas. It is a world of innovation and discovery. It is a world of the future.

Ingeniantes

Año 3/ No. 1 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, año 3, No. 1, Vol 1. Enero 2016 - Junio 2016, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: M.I.I Erika Adriane Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adriane Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 5 de julio de 2016.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

Junio 2016

Directorio

Dr. José Alberto Gaytán García

Director General ITSM, Veracruz, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán

Subdirectora Académica ITSM, Veracruz, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Planeación y Vinculación ITSM, Veracruz, México

M.C. Reyes Pérez y Cano

Director de Servicios Administrativos ITSM, Veracruz, México

Lic. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación ITSM, Veracruz, México

Ing. Carlos Yossio Nakase Rodríguez

Subdirector del Sistema Abierto ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Comité de Revisión

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET

Dra. Susana López Cuenca, COECYTJAL

Dr. Abel García Barrientos, ITSM

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM

Dr. Luis Alberto Morales Rosales, ITSM

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM

Dr. Saul Santiago Cruz, ITSM

M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

M.I. Daniel Aguayo Siqueiros, ITSM

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

Mc &cMDS Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM

M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

M.I. Francisco Javier Fernández Domínguez, ITSM

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González ITSM, México

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas ITSM, México

Ing. José Aurelio Carrera Melchor ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en cift.itsm.edu.mx/revista.html

Correo electrónico: revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

Ingeniantes

Contenido

Efecto repelente y biocida de los extractos metanólicos de <i>Azadirachta indica</i> , <i>Xanthosoma roseum</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Annona reticulata</i> y <i>Dysphania ambrosioides</i> sobre <i>Anopheles</i> spp	02
---	----

Nathaly del Carmen Sánchez Villegas; Elizabetha Hernández Domínguez; Alejandro G. Nila-Méndez; Francisco J. Gabino Roman, Instituto Tecnológico Superior de Acayucan

Estudio isocinético de los gases de emisión de una caldera instalada en un ingenio azucarero	08
--	----

J.L. Arenas Del Ángel, J.J. Marín Hernández; J.A. Del Ángel Ramos, Universidad Veracruzana; H.A. León Bonilla; L.R. González Grovas, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa; A.E. León Bonilla Universidad Tecnológica de Puebla

Bioetanol a partir del maguey (<i>Agave americana</i>) y su prospectiva en México	16
---	----

Diana Karen Lazcano Orozco, Universidad Mexiquense del Bicentenario; Aarón Rojas Aguilar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados; Yesenia Núñez Galindo, Instituto Tecnológico de Orizaba; Alejandro Valdés Ordoñez, Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca

Evaluación de la calidad interna en frutos de jitomate nativo de la región de Ajalpan y un híbrido comercial	24
--	----

Ana Cristina Pérez González; Lorena Santos Espinosa; Omar Gómez Carrasco, Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan

Matriz de calidad de la disposición de residuos de cantera en Huichapan Hidalgo México	28
--	----

Rebeca Guadalupe Ortiz Mena; Daniel Napoleón Gómez Balbuena; José Antonio Rosales Alvarez. María Guadalupe González García, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Análisis del potencial y velocidad de corrosión en concretos reforzados modificados con Microsilice	34
---	----

Viveros Soto Irving Edgardo, González Moreno Humberto Raymundo, Sandoval Herazo Luis Carlos; De la Cruz de la Cruz Janeth; González Sedano Ignacio, Instituto Tecnológico Mianthla, Sandoval Herazo Luis Carlos, Colegio de Veracruz

Electrical-mechanical analysis of a cement paste electrically conductive by the addition of carbon fiber	42
--	----

E.D. Perez-Diaz, Universidad Veracruzana; Luis Carlos Sandoval Herazo, Instituto Tecnológico Superior de Mianthla, Emma Garcés Velázquez; Erick Edgar Maldonado Bandala; Sergio Aurelio Zamora Castro, Universidad Veracruzana; Luis Carlos Sandoval Herazo, Colegio de Veracruz

Contribución del emprendedurismo en la formación integral de ingenieros en energías renovables _____ 52

Antonia Moreno Aguilar; Ramón Beltrán Martínez, Universidad Tecnológica de Puebla

Eficiencia y eficacia de la nueva gestión pública en el ámbito educativo. Estudio de caso en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (2015) _____ 60

Ernestina Gutiérrez Valverde; Alejandro Santiago Miguel; María del Rocío Santamaría Cuellar; Georgina Contreras Santos, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán

Pronóstico de cadenas Markov para la planeación de estrategias comerciales en la empresa Marinter, S. A. de C.V. _____ 66

Felipe de Jesús Dorantes Benavidez; Humberto Dorantes Benavidez; Marco Antonio Acosta Mendizábal, Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México

Simulación de propuesta de mejora para línea de producción en la empresa RT Automotriz, mediante software FlexSim _____ 72

Daniel Napoleón Gómez Balbuena, Rebeca Guadalupe Ortiz Mena, Armando Olvera Jiménez, Yaraset Reyes Sanchez, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Reducción de scrap en el área de cigüeñal diésel en planta Ford, aplicando la metodología Seis Sigma _____ 80

René Manuel Breach Ochoa; María de Lourdes Salas Woocay; Leticia del Pilar de la Torre González, Instituto Tecnológico de Chihuahua

SiBU: Sistema de búsqueda de usuarios en redes WLAN con niveles de acceso _____ 88

González Silva M.A; Franco Moreno J.J.; Olvera Mejía Y.F., Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

Control de posición del robot LEGO® MINDSTORMS® EV3 usando una red neuronal adaptativa con sistema de inferencia difuso _____ 96

Julio Ramírez; Daniel Tellechea; Gildardo Jiménez, Instituto Tecnológico de Nogales

Prototipo de luminaria LED con regulación de temperatura por PWM _____ 104

Teth Azrael Cortes Aguilar; Aristeo Gutiérrez López; Jorge Arturo Ruvalcaba Villa, Instituto Tecnológico Superior de Zapopan

Efecto repelente y biocida de los extractos metanólicos de *Azadirachta indica*, *Xanthosoma roseum*, *Bursera simaruba*, *Annona reticulata* y *Dysphania ambrosioides* sobre *Anopheles* spp

RESUMEN: Las enfermedades transmitidas por vectores como el mosquito, han provocado un problema de salud pública, además del desarrollo de resistencia causada por el uso constante y sostenido de insecticidas organosintéticos. Para encontrar una alternativa al problema anterior, este trabajo tuvo como objetivo, evaluar el efecto repelente y tóxico de extractos metanólicos de neem (*Azadirachta indica*), malanga (*Xanthosoma roseum*), palo mulato (*Bursera simaruba*), anona (*Annona reticulata*) y epazote (*Dysphania ambrosioides*) en larvas, pupas y adultos de mosquito (*Anopheles* spp.). El material vegetal fue colectado de plantas sanas, triturado y macerado en metanol a temperatura ambiente por 24 hrs. Las larvas de mosquito se colectaron de aguas estancadas y se cultivaron bajo condiciones controladas. Se realizaron bioensayos de repelencia y de actividad biocida. Las pruebas de repelencia mostraron un efecto superior al 80% para los extractos de epazote, neem y anona. La mortalidad de larvas y pupas fue del 100 % para el extracto de anona.

Palabras clave: bioinsecticida, larvas, pupas, mosquito, metabolitos secundarios de plantas.



Colaboración

Nathaly del Carmen Sánchez Villegas; Elizabeth Hernández Domínguez; Alejandro G. Nila-Méndez; Francisco J. Gabino Roman, Instituto Tecnológico Superior de Acayucan

ABSTRACT: Vector-borne diseases such as mosquito have caused a public health problem, in addition to the development of resistance caused by the constant and sustained use of insecticides organosynthetic. To find an alternative to the above problem, this study aimed to evaluate the repellent activity, and toxic effect of methanol extracts of neem (*Azadirachta indica*), malanga (*Xanthosoma roseum*), naked Indian tree (*Bursera simaruba*), custard apple (*Annona reticulata*) and epazote (*Dysphania ambrosioides*) against mosquitoes (*Anopheles* spp.) at different developmental stages (larvae, pupae and adults). The plant material was collected from healthy plants, crushed and macerated with methanol at room temperature for 24 hrs. Mosquito larvae were collected from stagnant water, and cultured under controlled conditions. Bioassay for mosquito repellency and biocidal activity were performed. Repellency tests showed a superior effect of 80% for epazote, neem and custard apple extracts. The larvae and pupae mortality was 100% when the custard apple extract was used.

Keywords: insecticide, larvae, pupae, mosquito, plant secondary metabolites.

INTRODUCCIÓN

La salud pública es un tema de gran importancia en nuestras sociedades. Un brote infeccioso inadvertido y no controlado puede provocar situaciones fuera de control que culminan en enfermedades a nivel de endemia, epidemia o pandemia. Entre los temas emergentes sobre salud pública destaca las enfermedades causadas al ser humano por los insectos vectores denominados con el nombre común de mosquitos [1]. El nombre mosquito refiere aproximadamente a 3000 especies identificadas mundialmente hasta el momento [2]. Las hembras de pocas de estas especies requieren adicionalmente en su alimentación de sangre obtenida de diversos animales vertebrados, incluyendo al ser humano. Debido

a esta situación, algunas especies de mosquitos que se alimentan de la sangre del ser humano se convierten en vectores de virus causantes de enfermedades. Por solo mencionar algunas, a *Aedes aegypti*, *Anopheles gambiae*, *Culex pipiens*, *Psorophora ferox*, *Aedes scapularis*, etc. Entre los agentes virales transmitidos por la picadura de mosquito se encuentran el DENV, el YFV, el WNV y el CHIKV causantes, respectivamente, de dengue [3, 4, 5], fiebre amarilla [6], fiebre del Nilo occidental [7] y chikungunya [8, 9]. La demanda de niveles de control para aminorar, prevenir e incluso erradicar estas enfermedades es de preocupación mundial. Por ejemplo, se ha estimado que ocurren alrededor de 390 millones de casos de dengue a nivel mundial por año y, de ellos, 96 millones se vuelven casos clínicos [10].

Diversos estudios se han enfocado a la búsqueda de nuevos productos naturales, con actividad insecticida y larvicida, que puedan controlar la población de mosquitos, sin presentar riesgos al ser humano y otros animales domésticos. Por ejemplo, el insecticida Olyset Duo® contiene una novedosa mezcla de compuestos sintéticos (permetrina y piriproxifeno) en conjunción con IGR, un regulador de crecimiento en insectos [11].

En ese sentido las plantas revisten un gran interés, debido a que durante su evolución han desarrollado un mecanismo de respuesta ante el estrés biótico y abiótico, produciendo compuestos conocidos como metabolitos secundarios y que han sido utilizados para el control de insectos; tal es el caso de las piretrinas, producidas naturalmente por las flores del género *Pyrethrum*: *Chrysanthemum cinerariaefolium* y *Chrysanthemum coccineum*.

El presente trabajo muestra el efecto tóxico de los aceites esenciales de cinco plantas colectadas en la región sur de Veracruz, México, sobre larvas, pupas y adultos de *Anopheles* spp. El propósito consistió en determinar y comparar el potencial de los extractos etanólicos de aceites vegetales como fuente de compuestos que puedan ser útiles para combatir el crecimiento poblacional de mosquitos vectores, causantes de enfermedades infecciosas como las antes descritas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material biológico

El material biológico se recolectó en un radio de 20 km de la ciudad de Acayucan, Veracruz (17° 56' 54" N, 94° 54' 48" W).

La recolecta vegetal consistió en semillas de neem (*Azadirachta indica*) y hojas jóvenes de las siguientes especies: malanga (*Xanthosoma roseum*), palo mulato (*Bursera simaruba*), anona (*Annona reticulata*) y epazote (*Dysphania ambrosioides*). Inmediatamente a su llegada al laboratorio, el material vegetal fue deshidratado en un cuarto ventilado y protegido de la luz solar. La colecta de larvas de mosquito (*Anopheles* spp.) se realizó en aguas estancadas en diferentes zonas del municipio de Acayucan, Veracruz.

Preparación de los extractos

La extracción de aceites esenciales se realizó mediante un protocolo modificado propuesto por Castro 2010 [12]. Brevemente, el material deshidratado se trituró en un molino de aspas y el pulverizado obtenido se colocó en un matraz de 500 ml con metanol grado reactivo (Baker®, México) en una proporción 1:10 (20 gramos de pulverizado por 200 ml de solvente). La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente en un agitador orbital Mod. 311 DS (Labnet México), durante 24 h a 50 rpm. El extracto obtenido se filtró por gravedad utilizando papel Whatman® con un tamaño de poro de 0.45 µm. Posteriormente el filtrado, se destiló a presión reducida en un Rotavapor® R-100 (Buchi, México) a 40°C. El material obtenido se conservó en recipientes de vidrio de color ámbar y se almacenó a 4°C hasta su uso posterior.

Cultivo de mosquitos.

El cultivo de mosquitos en fase adulta se realizó de acuerdo a lo reportado por Ávila 1993 [13] con modificaciones. Brevemente, se preparó un medio de cultivo rico para larvas y pupas (MCLP), el cual consistió en 1L agua de pozo artesiano suplementado con 3 g de la dieta formulada con 40% (p/p) de alimento para peces (Tetra GoldfishCrisps®, México), 30% (p/p) de complemento alimenticio (Nutralac®, México), 10% (p/p) de cereal de maíz en hojuelas (Corn Flakes de Kelloggs®, México), 10% (p/p) de extracto de levadura (Bioxon®, México) y 10% (p/p) de caseinato de calcio (ProWinner®, México). Las larvas colectadas de mosquito fueron transferidas a charolas de plástico con dimensiones de 25 x 15 x 10 cm, las cuales contenían 3.25 Lts., del medio MCLP descrito anteriormente. Este cultivo se mantuvo en la oscuridad y a temperatura ambiente durante 10 días con el propósito de obtener pupas. Las pupas obtenidas fueron transferidas a un frasco de 10 cm de diámetro por 18 cm de altura, conteniendo 0.25 Lts., de MLCP. Los frascos con larvas fueron colocados dentro de una jaula entomológica de 35 x 35 x 35 cm. Al cabo de 5 días, se obtuvo una población homogénea de mosquitos en su fase adulta con los cuales se realizaron los ensayos de repelencia.

Prueba de repelencia y actividad biocida

Para realizar las pruebas de repelencia se modificó el protocolo propuesto por Áviles 2013, [14]. Brevemente, los brazos y manos de voluntarios fueron lavadas con jabón neutro y enjuagadas abundantemente con agua. Posteriormente, éstos se cubrieron con cada uno de los 5 extractos y un tratamiento control (Autan®, SC Johnson, México) sin diluir y se introdujeron dentro de la jaula entomológica por 5 minutos. Durante este tiempo, se contabilizaron los mosquitos que se suspendieron sobre la piel, empleándose para ello tres observadores. El porcentaje de repelencia se estimó de acuerdo a lo reportado por Salazar y Soto 2012 [15] empleando la siguiente fórmula: $\%R = (MB/MT) \times 100$, donde %R, MB y MT representan % de repelencia, mosquitos parados en el blanco y mosquitos en el tratamiento, respectivamente.

Para evaluar la actividad biocida en larvas y pupas, se prepararon diluciones con agua destilada de los extractos que mostraron un mayor efecto como repelente (neem, anona y epazote), las cuales correspondieron a concentraciones de 0.03, 0.015 y 0.003 mg. de tejido vegetal/ml. A la par, se realizó un tratamiento control sólo con metanol. Después de 24 h de la aplicación de los tratamientos, los organismos se consideraron muertos al no observar ningún tipo de movimiento cuando se les tocó el mesotórax con aguja de disección. Cuando el porcentaje de mortalidad del tratamiento control fue de 4 a 12 %, éste se corrigió de acuerdo a la ecuación de Abbott, 1925 [16]: $MC = \frac{["X-Y"]}{["100-Y"] \times 100}$, donde MC, X y Y representan la mortalidad corregida (%), la mortalidad en el tratamiento (%) y la mortalidad en el testigo (%).

Todos los ensayos en este trabajo fueron realizados por triplicado. La significancia estadística entre los tratamientos se determinó por un análisis de varianza (ANOVA) con una comparación de medias de Tukey y con un nivel de significancia α del 0.05%, empleando Minitab® 17 como software estadístico.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Cultivo de mosquitos

Para el desarrollo de los ensayos de repelencia y actividad biocida fue necesario obtener una población de mosquitos representativos de la región de Acayucan. Mediante el empleo del medio de cultivo MCLP y condiciones descritas en la sección de materiales y métodos se logró caracterizar los cuatro estadios: huevo, larva, pupa y adulto, presentados en la figura 1.

Efecto repelente de los extractos

El efecto repelente de los extractos metanólicos de las cinco especies de plantas evaluadas comparado contra un repelente comercial (Autan®) se presenta en la figura 2, en ella se observó que todos los tratamientos mostraron un efecto repelente mayor al 45%, destacándose entre ellos los tratamientos correspondientes a anona, neem y epazote los cuales no fueron estadísticamente significantes con respecto al control (100% de repelencia), lo que significó que fueron tan efectivos como el repelente comercial.

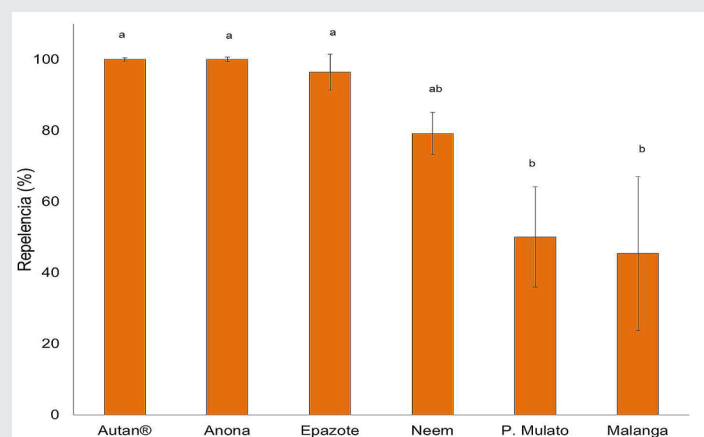


Figura 2. Efecto de repelencia de diferentes extractos metanólicos sobre tejido humano expuesto a mosquitos adultos. Letras distintas denotan una diferencia estadística significativa a un $\alpha=0.05$

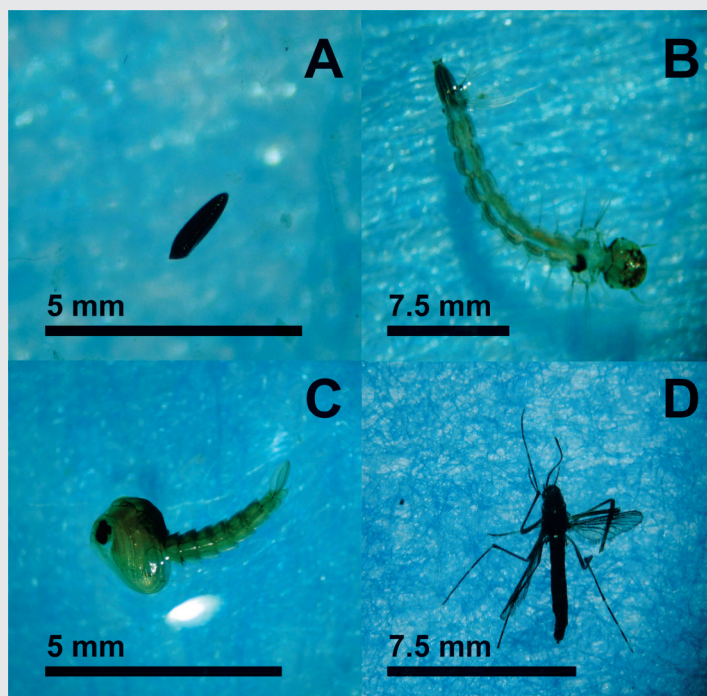


Figura 1. Ciclo de vida del mosquito cultivados in vitro en MCLP. A). Huevo, B). Larvas, C). Pupa y D). Adulto.

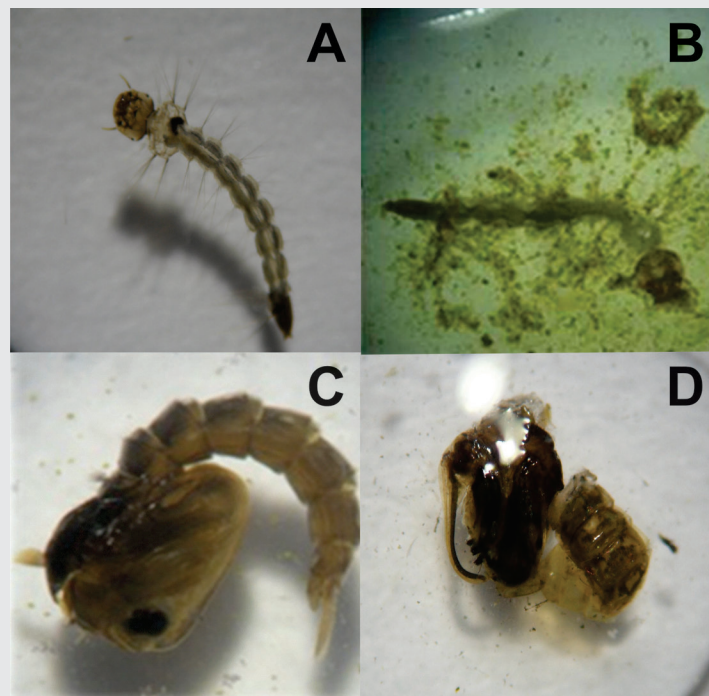


Figura 3. Observación del efecto biocida de los extractos metanólicos: A). Larvas antes del tratamiento. B). Después del tratamiento. C). Pupa antes del tratamiento y D). Después del tratamiento.

Un efecto menor de repelencia fue observado con los extractos de malanga y palo mulato cuya repelencia fue menor al 50%, siendo estos significativamente diferentes con respecto al control y a los extractos de anona, neem y epazote.

Actividad biocida

Para evaluar la letalidad de los extractos sobre larvas y pupas de *Anopheles* spp., solo se consideraron aquellos extractos que presentaron una repelencia mayor al 50% (anona, neem y epazote). Cuando se expusieron las pupas y larvas a estos extractos se observó mortalidad como la mostrada en la figura 3 B y D.

Como se puede observar de manera general en la figura 4, los tratamientos mostraron entre ellos una diferencia estadísticamente significativa en la actividad biocida en pupas. En el caso de anona, la letalidad de los extractos en pupas de *Anopheles* spp a concentraciones de 0.03, 0.015 y 0.003 mg., de anona/ml., no presentaron una diferencia significativa, lo que mostró 100% de letalidad en todos los tratamientos evaluados. Con respecto a neem, se obtuvieron valores promedio de letalidad de 86, 57 y 16% a concentraciones de 0.03, 0.015 y 0.003 mg. de neem/ml., respectivamente. Por otro lado, el extracto de epazote mostró el menor efecto letal sobre pupas, obteniendo valores promedio de 83, 47 y 2% a concentraciones de 0.03, 0.015 y 0.003 mg. de epazote/ml., respectivamente.

Los resultados presentados en la figura 4 demuestran que para obtener una mortalidad de pupas superior al 80% es posible utilizar extractos metanólicos de anona, neem y epazote a concentraciones superiores a 0.03 mg/ml. De acuerdo a lo presentado en la figura 4, el extracto de anona puede utilizarse hasta concentraciones de 0.003 mg/ml. y seguir teniendo un efecto letal del 100%.

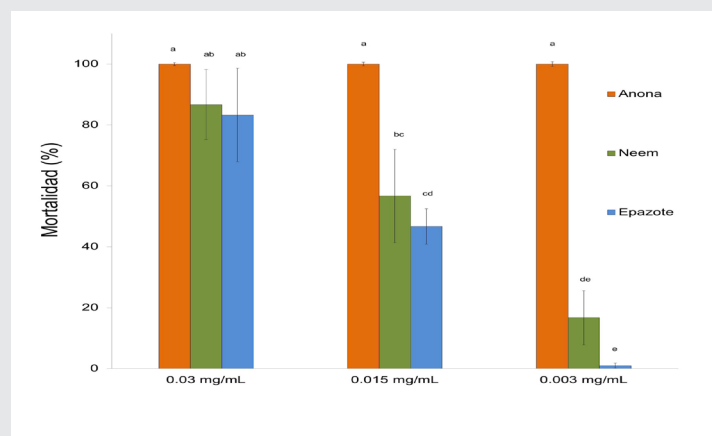


Figura 4. Porcentaje de mortalidad de pupas de *Anopheles* spp., expuestas a diferentes concentraciones de extractos (anona, neem, epazote). Letras distintas denotan una diferencia estadística significativa a un $\alpha=0.05$

El efecto letal sobre larvas se muestra en la figura 5, los resultados indican de manera general un comportamiento similar con respecto a la letalidad en pupas. La letalidad con extractos de anona no mostró una diferencia significativa en función de las tres concentraciones evaluadas y ésta se mantuvo al 100%. Este mismo comportamiento se presentó en los extractos de neem; sin embargo, la letalidad promedio fue del 67 %. Con respecto a los extractos de epazote, la letalidad cambió en función de la concentración. Cabe mencionar que este extracto fue el que presentó la actividad biocida más baja (30%).

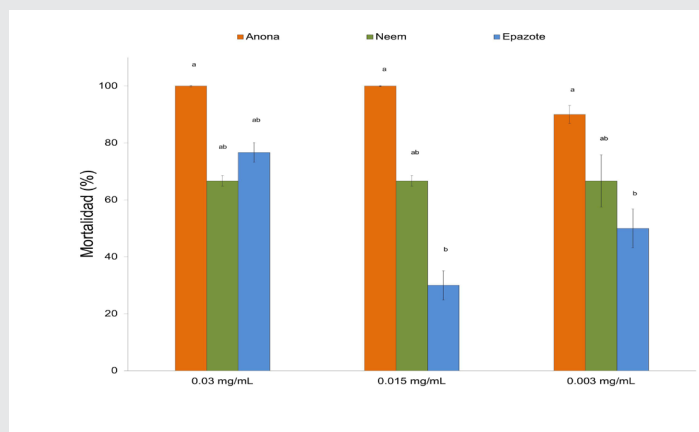


Figura 5. Porcentaje de mortalidad de larvas de *Anopheles* spp., expuestas a diferentes concentraciones de extractos (anona, neem, epazote). Letras distintas denotan una diferencia estadística significativa a un $\alpha=0.05$

En este trabajo se demostró que los cinco extractos estudiados exhibieron actividad de repelencia a diferentes concentraciones. Los extractos de anona, neem y epazote tuvieron la misma efectividad de repelencia que el repelente comercial (100%). Además de que exhibieron un efecto biocida sobre larvas y pupas, resultados similares sobre la actividad biocida sobre mosquitos han sido reportados por otros autores [12, 17, 18, 19]. Por otra parte, se ha propuesto que las acetogeninas presentes en la anona, podrían ser los compuestos responsables de esta actividad biocida [19].

Estudios sobre la actividad insecticida de anona, neem y epazote ya han sido reportados por otros autores [20, 21, 22, 23, 24]. Sin embargo, el uso de diferentes métodos de extracción, tipo tejido utilizados como materia prima (semilla, hojas), etc., dan como resultado una diferencia en el porcentaje de letalidad entre los extractos obtenidos, lo que hace difícil la comparación de un extracto a otro; aún siendo obtenidos de la misma especie. Por ejemplo, para el género anona, la extracción de los componentes activos se ha realizado por diferentes métodos así como utilizando distintas mezclas de solventes [12, 24].

Desde el punto de vista ecológico, los biocidas de origen natural pueden constituir una alternativa a los sin-

téticos. Es por ello que es necesario contar con una gama amplia de compuestos con propiedades biocidas que coadyuven a la sostenibilidad de las actuales estrategias de control integrado de plagas. En consecuencia, es necesario realizar mayores estudios in vitro utilizando diferentes partes del vegetal, además de realizar un screening o tamizaje fitoquímico para las diferentes especies de plantas e insectos.

Dada la dificultad de comparar el potencial insecticida de estos extractos, es necesario estandarizar y, finalmente optimizar los métodos de extracción para obtener la mayor letalidad posible a la menor concentración. Estudios posteriores requerirán identificar químicamente los componentes activos de los extractos y su posible escalamiento a nivel industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Petrić, D., Boase, C., Lane, J., Zgomba, M., Dahl, C., & Kaiser, A. (2010). Mosquitoes and their control (Vol. 2, pp. 25-40). Heidelberg: Springer.
- [2] Kwon, Y-S., Bae, M-J., Chung, N., Lee, Y-R., Hwang, S., Kim, S-A., Choi, Y. J. & Park, Y-S. (2015). Modeling occurrence of urban mosquitos based on land use types and meteorological factors in Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 13131-13147.
- [3] García-Rejón, J., Loroño-Pino, M., Farfán-Ale, J., Flores-Flores, L., López-Urbe, M., Najera-Vazquez, M. & Eisen, L. (2011). Mosquito infestation and dengue virus infection in *Aedes aegypti* females in schools in Merida, Mexico. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 84(3), 489-496.
- [4] Sanchez, L., Vanlerberghe, V., Alfonzo, L., Marquetti, M. D. C., Guzman, M. G., Bisset, J. & Van Der Stuyft, P. (2006). *Aedes aegypti* larval indices and risk for dengue epidemics. *Emerging Infect. Dis.*, 2(5), 800-806.
- [5] Gustavo, K. (2006). El dengue, un problema creciente de salud en las Américas. *Rev. Panam. Salud Públ.*, 19(3), 143-145.
- [6] Robertson, S.E., Hull, B.P., Tomori, O., Bele, O., LeDuc, J.W. & Esteves, K. (1996). Yellow fever: a decade of reemergence. *The J. Amer. Med. Assoc.*, 276(14), 1157-1162.
- [7] Murray, K. O., Mertens, E., & Desprès, P. (2010). West Nile virus and its emergence in the United States of America. *Vet. Res.*, 41(6), 67.
- [8] Pialoux, G., Gaüzère, B., Jauréguiberry, S. & Strobel, M. (2007). Chikungunya, an epidemic arbovirosis. *Lancet. Infect. Dis.*, 7(5), 319-327.
- [9] Mardekian, S. K. & Roberts A. L. (2015). Diagnostic Options and challenges for dengue and chikungunya viruses. *BioMed. Res. Int.*, 2015, 1-8.
- [10] Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., y Moyes, C. L., Drake, J. M., Brownstein, J. S., Hoen, A. G., Sankoh, O., Myers, M. F., George, D. B., Jaenisch, T., Wint, G. R., Simmons, C. P., Scott, T. W., Farrar, J.J. & Hay, S. I. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504-507.
- [11] Djènontin, A., Alou, L. P. A., Koffi, A., Zogo, B., Duarte, E., N'Guessan, R., Moiroux, N. & Pennetier, C. (2015). Insecticidal and sterilizing effect of Olyset Duo®, a permethrin and pyriproxyfen mixture net against pyrethroid-susceptible and -resistant strains of *Anopheles gambiae*: a release-recapture assay in experimental huts. *Parasite*, 22, 1-8.
- [12] Castro, L., Alzate, M. & Guerrero, G. (2010). Estudio preliminar de la bioactividad de extractos de semillas de *Annona cherimolia* de la familia Annonaceae. *Scientia Et Technica*, 1(44), 326-330.
- [13] Avila, J., Segnini, S. & Rossel, O. (1993). Metodología para la cría de *Anopheles nuneztovari* Gabaldón 1940, (Diptera: Culicidae). *Bol Entomol Venez*, 9(1), 19-31.
- [14] Avilés M., Flores R., Flores G., Flores P. & Charcas A. (2013). Estudio del efecto repelente y biocida de un extracto oleoso obtenido a partir de especies silvestres (*Ricinus communis*/*Datura stramonium*) contra *Aedes aegypti* insecto hematófago transmisor del dengue, Sucre 2012. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación. Colombia*, 7(8), 465-470.
- [15] Salazar, M. & Soto, R. (2012). Estudio de la actividad biopesticida in vitro de los extractos polares de las semillas de *Annona squamosa* frente a *Culex quinquefasciatus*. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- [16] Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol*, 18(2), 265-267.
- [17] Henao, G., Pajón, C. & Torres, J. (2007). Actividad insecticida de extractos vegetales sobre *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) vector del dengue en Colombia. *CES Medicina*, 21(1), 47-54.
- [18] Morales, C., González, R. & Aragón, R. (2004). Evaluación de la actividad larvicida de extractos polares y no polares de acetogeninas de *Annona muricata* sobre larvas de *Aedes aegypti* y *Anopheles albimanus* (Diptera: Cu-

licidae). *Revista colombiana de Entomología*, 30(2), 187-192.

[19] Colom, O. A., Barrachina, I., Mingol, I. A., Mas, M. C. G., Sanz, P. M., Neske, A., & Bardon, A. (2008). Toxic effects of annonaceous acetogenins on *Oncopeltus fasciatus*. *J. Pest Sci.*, 81(2), 85-89.

[20] Leyva, M., Marquetti, M. C., Tacoronte, J. E., Scull, R., Tiomno, O., Mesa, A., & Montada, D. (2009). Actividad larvicida de aceites esenciales de plantas contra *Aedes aegypti* (L.)(Diptera: Culicidae). *Rev Biomed*, 20, 5-13.

[21] Zebitz, C. P. (1984). Effect of some crude and azadirachtin-enriched neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extracts on larvae of *Aedes aegypti*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 35(1), 11-16.

[22] George, S., & Vincent, S. (2005). Comparative efficacy of *Annona squamosa* Linn. and *Pongamia glabra* Vent. to *Azadirachta indica* A. Juss against mosquitoes. *Journal of vector borne diseases*, 42(4), 159.

[23] Jaswanth, A., Ramanathan, P., & Ruckmani, K. (2002). Evaluation of mosquitocidal activity of *Annona squamosa* leaves against filarial vector mosquito, *Culex quinquefasciatus* Say. *Indian journal of experimental biology*, 40(3), 363-365.

[24] Magadula, J. J., Innocent, E., & Otieno, J. N. (2009). Mosquito larvicidal and cytotoxic activities of 3 *Annona* species and isolation of active principles. *J Med Plants Res*, 3(9), 674-680.



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Estudio isocinético de los gases de emisión de una caldera instalada en un ingenio azucarero

RESUMEN: Este artículo presenta el estudio de impacto ambiental de los gases contaminantes producidos por la combustión del bagazo de caña, los cuales son generados en los hornos de las calderas bagaceras como resultado del proceso de cogeneración en ingenios azucareros. Se implementó un estudio isocinético en un ingenio del Estado de Veracruz, en el cual se analizaron los gases de emisión de una caldera en los distintos elementos que conforman la chimenea. Se obtuvieron resultados de emisión de gases en condiciones normales de operación, realizando ajustes de corrección por presión y corrección por 5% de oxígeno. Las concentraciones obtenidas fueron, óxido de nitrógeno de $C_3 = 95.56 \mu\text{mol/mol}$ y para el bióxido de azufre de $Er = 5.84 \mu\text{mol/mol}$. Comparando los resultados obtenidos con los límites de emisiones de NO_x y SO_x permitidos por la normatividad vigente (700 ppmv y 375 ppmv respectivamente) estos resultados registraron una respuesta satisfactoria. Se comprobó de esta forma que los beneficios al medio ambiente son significativos, utilizando biomasa sólida como bagazo.

Palabras clave: caldera bagacera; gases de emisión; estudio isocinético; partículas suspendidas (NO_x); partículas suspendidas (SO_x).



Colaboración

J.L. Arenas Del Ángel, J.J. Marín Hernández; J.A. Del Ángel Ramos, Universidad Veracruzana; H.A. León Bonilla; L.R. González Grovas, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa; A.E. León Bonilla Universidad Tecnológica de Puebla

ABSTRACT: This paper presents the environmental impact that generates the contaminants, resulting from the combustion of solid as it is bagasse, held in bagasse boilers involved in processes in the sugar industry cogeneration biomass. An isokinetic study was implemented in a boiler installed in a sugar mill of the State of Veracruz, with which we analyzed the exhaust gases from the boiler in the different elements of the chimney. Emission results were obtained under normal conditions, performing settings related to pressure correction and a 5% for oxygen. In the case of nitrogen oxides (NO_x) was obtained the value $C_3 = 95.56 \mu\text{mol/mol}$ and for concentration of sulfur dioxide (SO_x) was obtained $Er = 5.84 \mu\text{mol/mol}$. Comparing the results obtained with the limit emissions of NO_x and SO_x specified on standards (700 ppm and 375 ppm respectively) we found It is satisfactory. It was prove that burn bagasse as a fuel is benefic for the environment.

Keywords: biomass; bagasse boiler; gases emissions; isokinetic study; nitrogen oxides (NO_x); sulfur dioxide (SO_x).

INTRODUCCIÓN

Nuestra sociedad en la actualidad ha incrementado su consumo energético como consecuencia del rápido desarrollo industrial y de todas aquellas actividades que permiten mantener sus niveles de confort. Estos procesos donde se da la transformación de energía, generan desechos o elementos que constituyen parte de la contaminación al medio ambiente. En este sentido se puede considerar el caso de los ingenios azucareros, que mediante procesos de cogeneración, utilizan calderas bagaceras, que a través de la combustión de un residuo (biomasa sólida) como lo es el bagazo, producen parte de la energía eléctrica requerida para el procesamiento de la caña de azúcar. Producto de esa combustión se tienen emisiones de contaminantes, cuya calidad depende del tipo de combustión y de las condiciones de operación del sistema.

Se sabe que la composición de partículas sólidas que se emiten a la atmósfera es diferente para cada tipo de caldera[1]. A simple vista puede detectarse principalmente la presencia de cenizas volantes, partículas de carbono (hollín), partículas de bagazo parcialmente quemado y material inorgánico (arena, arcilla, etc.).

Sin embargo, se ha comprobado que los gases de emisión contaminantes, son menores cuando se queman biomasa que cuando se hace uso de combustibles de origen fósil[2]. La presencia tanto de óxidos de nitrógeno (NOx), consecuencia de una mayor temperatura durante la combustión, como los óxidos de azufre (SOx), originados por las concentraciones de ese elemento en la composición elemental del bagazo, están presentes en los gases de combustión, en pequeñas cantidades. En general, para los diferentes tipos de biomasa, utilizada en los distintos procesos y por los diversos contaminantes que produce su uso. Se ha observado que el principal problema para conseguir que la biomasa no sea considerada un contaminante, es la falta de control durante su uso, ya que en la mayoría de los casos es utilizada en pequeñas instalaciones, lo que dificulta la reducción y el control de las emisiones, mientras que, en las grandes, la adopción de medidas e implantación de sistemas de limpieza es norma habitual[3].

MARCO CONTEXTUAL

El presente estudio fue realizado en la zafra 2009-2010. Se eligió estratégicamente un ingenio azucarero del Estado de Veracruz para estudiar sus hornos tipo Ward modificados.

La caldera bajo estudio de marca Babcock & Wilcox del Ingenio fue instalada en el año de 1947. Constantemente ha sufrido una serie de transformaciones en los diversos elementos que la conforman y entre los cuales se encuentran sus hornos, sin embargo, estas atienden a recomendaciones empíricas del personal técnico y de ingeniería responsable.

La falta de recursos económicos del país ha ocasionado que los ingenios azucareros no puedan reemplazar sus unidades de generación de vapor, esto ha ocasionado que los cambios se lleven a cabo de forma escalonada para mejorar su funcionamiento[4].

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo en análisis es una caldera Babcock & Wilcox diseñada para ser alimentada con combustóleo y/o bagazo, actualmente sólo opera con bagazo. Su capacidad nominal es de 3,248 caballos caldera. El horno es del tipo Ward modificado, al cual se le suministra aire caliente lateralmente y por la parte baja a través de una placa con rejillas. Originalmente el equipo no contaba con calentador de aire, recientemente se le adicionó uno tubular vertical con flujo cruzado a contracorriente con tres pasos por el flujo de aire. La caldera cuenta con un solo domo superior. La superficie de caldeo está formada por tubos rectos inclinados. Con el incremento de la presión de operación de la caldera y la introducción de un sobrecalentador se mejoraron las características del vapor vivo producido. La caldera cuenta con ventiladores de tiro forzado e inducido.

Se realizaron mediciones principalmente con instrumentos calibrados y confiables, algunos propios y otros proporcionados por personal técnico del departamento de instrumentación del Ingenio. Se utilizaron los siguientes instrumentos: un analizador de óxidos de nitrógeno de marca THERMO ENV. INST. INC y de Modelo: 10 AR; un analizador de eficiencia de combustión de marca SAUTER MESS y modelo SENSONIC 2000; un muestreador Isocinético de Marca: MCM y modelo S/Mo; un termómetro láser a color de marca RAYTEC y modelo Raynger 3i; un termooanemómetro de marca FLUKE y modelo 922; un termohigrómetro de contacto marca BK PRECISION y modelo 725; un multímetro digital de marca BK PRECISION y modelo 2890a; un termómetro de contacto de marca 54II.

A. Memoria de Cálculo.

La ecuación 1 determina el volumen de gas seco muestreado.

$$V_m = V_f - V_i \quad \text{Ec.1}$$

Las ecuaciones 2a y 2b determinan el volumen de gas corregido a condiciones estándar.

$$V_{mstd} = 17.64 \gamma V_m \frac{P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6}}{T_m} \quad \text{Ec.2a}$$

$$V_{mstd} = 0.3855 \gamma V_m \frac{P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6}}{T_m} \quad \text{Ec.2b}$$

Las ecuaciones 3a y 3b determinan el volumen de vapor de agua convertido a condiciones estándar.

$$V_{wstd} = 0.04707 V_{lc} \quad \text{Ec.3a}$$

$$V_{wstd} = 0.00133 V_{lc} \quad \text{Ec.3b}$$

La ecuación 4 determina el por ciento de humedad por volumen.

$$P_{mos} = \frac{V_{wstd}}{V_{wstd} + V_{mstd}} 100 \quad \text{Ec.4}$$

La ecuación 5 determina la fracción mol de gas seco.

$$M_d = \frac{100 - P_{mos}}{100} \quad \text{Ec.5}$$

La ecuación 6 determina el peso molecular del gas seco.

$$M_{wd} = 0.44\%CO_2 + 0.32\%O_2 + 0.28(\%N_2 + \%CO) \quad \text{Ec.6}$$

La ecuación 7 determina el peso molecular del gas de chimenea.

$$M_s = M_{wd} M_d + 18(1 + M_d) \quad \text{Ec.7}$$

La ecuación 8 determina la presión a condiciones de chimenea.

$$P_m = P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6} \quad \text{Ec.8}$$

La ecuación 9 determina la presión absoluta.

$$P_s = P_{bar} + \frac{P_e}{13.6} \quad \text{Ec.9}$$

La ecuación 10 determina Velocidad del gas en la chimenea.

$$V_s = K_p C_p \sqrt{\frac{T_s \Delta P}{M_s P_s}} \quad \text{Ec.10}$$

La ecuación 11 determina el área transversal de la chimenea o ducto.

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ec.11}$$

La ecuación 12 determina el flujo del gas seco en ducto en condiciones estándar.

$$Q_s = \frac{\frac{T_{std} T}{P_{std}} V_s A M_d P_s}{T_s} \quad \text{Ec.12}$$

La ecuación 13 determina el por ciento de muestreo isocinético.

$$I = \frac{1,667 T_s \left[(0.00267 V_{lv}) + \left(V_m \frac{P_m}{T_m} \right) \right]}{P_s V_s T A_n} \quad \text{Ec.13}$$

La ecuación 14 determina la carga de partículas en condiciones estándar.

$$C_s = \frac{M_n}{V_m std} \quad \text{Ec.14}$$

Las ecuaciones 15a y 15b determinan la carga de partículas en condiciones de chimenea.

$$C_a = 17.64 \frac{C_s P_s M_d}{T_s} \quad \text{Ec.15a}$$

$$Q_s = \frac{\frac{T_{std} T}{P_{std}} V_s A M_d P_s}{T_s} \quad \text{Ec.15b}$$

Las ecuaciones 16a y 16b determinan la emisión de partículas.

$$E = 0.132215 C_s Q_s \quad \text{Ec.16a}$$

$$E = 60 C_s Q_s \quad \text{Ec.16b}$$

La ecuación 17 determina la velocidad de muestreo isocinético.

$$S_r = V_s A_n \frac{T_m P_s}{T_s P_m} \left(1 - \frac{P_{mos}}{100} \right) \quad \text{Ec.17}$$

La ecuación 18 determina la corrección por 5% de oxígeno.

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} \quad \text{Ec.18}$$

La ecuación 19 determina el exceso de aire en la combustión

$$EA = \frac{O_2 - 0.5CO}{0.26N_2 - O_2 + 0.5CO} 100 \quad \text{Ec.19}$$

La ecuación 20 determina la corrección por presión.

$$C_1 = \frac{C_2 P_2}{P_1} \quad \text{Ec.20}$$

La ecuación 21 determina la corrección por 5% de oxígeno.

$$C_3 = \frac{16.0 C_1}{21.0 - O_2} \quad \text{Ec.21}$$

Determinación de bióxido de azufre (SOx).

La ecuación 22 define la masa de bióxido de azufre colectada

$$P_s = P_{bar} + \frac{P_e}{13.6} \quad \text{Ec.22}$$

La ecuación 23 define la concentración de bióxido de azufre a condiciones normales.

$$C_1 = \frac{M_1}{V_n} \quad \text{Ec.23}$$

La ecuación 24 define la emisión de bióxido de azufre.

$$E_I = C_1 Q_s 10^{-3} \quad \text{Ec.24}$$

La ecuación 25 define las partes por millón en volumen de SO2.

$$ppmv = \frac{E_1}{Q_s \delta 10^{-6}} \quad \text{Ec. 25}$$

Finalmente se corrigen por 5% de oxígeno las emisiones de SO2 utilizando la ecuación 18.

B. Datos de Campo.

Todas las mediciones realizadas se obtuvieron respetando las especificaciones dadas por la normatividad correspondiente y los datos de campo generales del muestreo realizados para el estudio isocinético fueron los siguientes; hora de inicio (17:15) y final (18:15), tiempo total 60 minutos, distancia 8.82609 diámetros, tipo de zona no critica. Altura, forma, diámetro y área transversal de la chimenea 57.80 m, circular, 2.30 m y 4.15 m² respectivamente, localización del puerto C.A. 37.50 m y C.B. 20.30 m, localización del puerto 1 y 2 de 0.36 m cada uno, presión barométrica 635.00 mmHg, coeficiente de Pitot 0.84, ΔH@ 2.0160, Ms 1.0161, número de puntos y puertos (12) y (2) respectivamente, diámetro interno de boquilla 0.95 cm.

La tabla 1 muestra el concentrado de los datos de campo en promedio y en grados Rankine.

Tabla 1. Concentrado de los datos

Punto	k	Tiempo de muestreo (min)	Distancia de punto de muestreo (cm)	Lectura en gasómetro (m ³)	Presión dinámica ΔP (mm H ₂ O)	Delta H ΔH (mm H ₂ O)	Presión estática Pe (mm H ₂ O)	Temp. de chimenea (°C)	Temp. entrada medidor (°C)	Temp. salida medidor (°C)
Promedio	-	-	-	-	5.7362	78.124	3.1750	206.7593	19.9537	21.1111
Raíz cuadrada	-	-	-	-	2.3950	-	-	-	-	-
Rankin	-	-	-	-	-	-	-	479.91	293.68	293.68
Diferencia	-	-	-	1.567	-	-	-	-	-	-

Tabla 2 muestra los datos de campo de la medición de gases de tres lecturas o muestras del porcentaje de O₂, CO₂, CO y N₂, promedio, factor y PM del gas de cada una.

Tabla 2. Medición de gases.

GAS	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio	Factor	PM del gas
% O ₂	3.90	3.90	3.90	3.9000	32/100	1.2480
% CO ₂	16.20	16.20	16.20	16.2000	44/100	7.1280
% CO	0.1010	0.1005	0.0970	0.0995	28/100	0.0279
% N ₂	79.799	79.800	79.803	79.8005	28/100	22.3441
Total:						30.7480

Tabla 3. Peso de impactores.

Parámetro	Valores.			
Secuencia de impactores:	1	2	3	4
Volumen final:	531.5	533.8	448.7	530.0
Volumen inicial:	523.3	529.7	447.3	524.3
Diferencia (mL):	8.2	4.1	1.4	5.7
Humedad total (mL):	19.40			

La tabla 3 y 4 muestran los parámetros de la secuencia del peso de los impactores, filtro y peso de partículas respectivamente.

Tabla 4. Filtro y peso de partículas.

Parámetros	Valor
Filtro n°:	FD-41
Peso final:	2.2865 g
Peso inicial:	1.8953 g
Subtotal 1	0.3912 g
Filtro n°:	N/A
Peso final:	0.0000 g
Peso inicial:	0.0000 g
Subtotal 2	0 g
Mn Total de partículas colectadas	0.3912 g
Diámetro interno de la chimenea:	90.55 in
Diámetro interno de la chimenea:	230.00 cm

Las tablas 5 y 6 muestran el resumen del muestreo efectuado de gases en ducto y del muestreo isocinético de partículas.

Tabla 5. Datos del muestreo de gases.

Parámetro	Magnitud	Magnitud
1. Muestreo N°	único	
2. Tiempo	60 min	
3. N° de puntos seleccionados	12	
4. Lectura del gasómetro	55.336 ft ³	1.567 m ³
5. Vol. Corregido en muestra a C. medidor	1566.95 l	1566.95 l
6. Fracción de gas CO ₂	16.2000 cmol/mol	7.1280 g/gmol
O ₂	3.9000 cmol/mol	1.2480 g/gmol
CO	0.0995 cmol/mol	0.0279 g/gmol
N ₂	79.8005 cmol/mol	22.3441 g/gmol

Tabla 6. Datos del muestreo isocinético de partículas.

Parámetro	Magnitud
1. Peso total de partículas	0.39 g
2. Diámetro de la boquilla	0.0095 m
3. Área de la boquilla	0.000767 ft ²
4. Volumen de la muestra a C. CH.	1504.27 l
5. Volumen de la muestra en C.N.	1339.43 l
6. Velocidad de los gases de chimenea.	11.0702 m/s
7. Isocinetismo	92.732 %
8. Concentración de partículas	292.14 mg/m ³
9. Emisión de partículas	24.24 kg/h

Las tablas 7 y 8 muestran los datos necesarios para la determinación de exceso de aire y su medición de gases.

Tabla 7. Datos necesarios para el cálculo del exceso de aire.

Variable	Valor
O ₂ (%)	3.79 cmol/mol
CO ₂ (%)	16.51 cmol/mol
Temperatura de chimenea	205°C
Temperatura de salida	33°C
Eficiencia	93.67%
Pérdida por chimenea	6.33%
Relación lambda	1.23

Tabla 8. Mediciones de gases.

Tiempo (min)	CO (μmol/mol)	CO (cmol/mol)	O ₂ (cmol/mol)	CO ₂ (cmol/mol)	N ₂ (cmol/mol)
3	993	0.0993	3.60	16.70	79.60
6	994	0.0994	3.70	16.60	79.60
9	995	0.095	3.60	16.70	79.60
12	1001	0.1001	3.60	16.70	79.59
15	1004	0.1004	3.80	16.50	79.59
18	1007	0.1007	3.90	16.40	79.59
21	1006	0.1006	3.90	16.40	79.59
24	1005	0.1005	4.10	16.20	79.59
27	999	0.0999	3.80	16.50	79.60
30	996	0.0996	3.50	16.80	79.60
33	1002	0.1002	3.60	16.70	79.59
36	1004	0.1004	3.80	16.50	79.59
39	998	0.0998	3.90	16.40	79.60
42	997	0.0997	4.10	16.20	79.59
45	1008	0.1008	4.00	16.30	79.59
Promedio	1000.60	0.1001	3.79	16.51	79.59

Tabla 9. Resultados.

Ecuación	Parámetro	Resultados
1	Volumen de gas seco muestreado	$V_m = 1.5666 \text{ m}^3$
2	Volumen de gas corregido a condiciones estándar	$V_{mstd} = 1.3388 \text{ m}^3$
3	Volumen de vapor de agua convertido a condiciones estándar	$V_{wstd} = 0.0259 \text{ m}^3$
4	Por ciento de humedad por volumen	$P_{mos} = 1.8950\% (1.8942\%)$
5	Fracción mol de gas seco	$M_d = 0.9811$
6	Peso molecular del gas seco	$M_{wd} = 30.7480 \text{ g/gmol}$
7	Peso molecular de gas de chimenea	$M_s = 30.5064 \text{ g/gmol}$
8	Presión a condiciones de chimenea	$P_m = 640 \text{ mm Hg}$
9	Presión absoluta	$P_s = 635.2335 \text{ mm Hg}$
10	Velocidad del gas en la chimenea	$V_s = 11.0714 \text{ m/s}$
11	Área transversal de la chimenea o ducto	$A = 4.1548 \text{ m}^2$
12	Flujo del gas seco en ducto en condiciones estándar	$Q_s = 1383.28 \text{ m}^3/\text{min} (EA = 21.68\%)$
13	Por ciento de muestreo isocinético	$I = 92.73 \%$
14	Carga de partículas en condiciones estándar	$C_s = 0.29220 \text{ g/m}^3$
15	Carga de partículas en condiciones de chimenea	$C_a = 0.14639 \text{ g/m}^3$
16	Emisión de partículas	$E = 24251.8 \text{ g/h}$
17	Velocidad de muestreo isocinético	$S_r = 0.0323 \text{ m}^3/\text{min}$
18	Corrección por 5% de oxígeno	$E_r = 271.60 \text{ mg/m}^3$
19	Exceso de aire	$EA = 21.68\%$
20	Corrección por presión	$C_l = 102.77 \mu\text{mol/mol}$
21	Corrección por 5% de oxígeno.	$C_3 = 95.56 \mu\text{mol/mol}$
22	Masa de bióxido de azufre colectada	$M_l = 0.048 \text{ g}$
23	Concentración de bióxido de azufre a condiciones normales	$C_l = 0.018 \text{ g de SO}_2/\text{m}^3$
24	Emisión de bióxido de azufre	$E_l = 1.518 \text{ kg de SO}_2/\text{h}$
25	Partes por millón en volumen de SO ₂	$ppmv = 6.282 \text{ ppmv}$
26	Corrección por 5% de oxígeno	$E_r = 5.84 \mu\text{mol/mol}$

RESULTADOS

Se evaluaron las ecuaciones 1 a la 25 y sus resultados se presentan en la tabla 9. Se destacan el peso molecular del gas de chimenea de 30.50 g/gmol que es característico de la quema de bagazo en un ingenio azucarero tradicional. La presión barométrica medida de 635 mm Hg, la cual es lógica para una ubicación de la caldera de 850 msnm. La velocidad de flujo de 11.07 m/s es alta debido a que históricamente se ha modificado la caldera de su diseño original para incrementar su capacidad con el mismo tiro natural, pero con la adición de un tiro inducido que ayuda a desalojar el gran volumen de gases de combustión generados. El flujo de gases de 1383 m³/min corresponde a un exceso de aire de 21.68%, dicho exceso es inferior a los valores promedio hallados para este tipo de calderas de alrededor de 50%.

Los parámetros que indican la concentración de sólidos en suspensión son elevados con una carga de partículas de 0.146 g/m³, lo cual origina una emisión de partículas emitidas por la chimenea de 24.25 kg/h, esto se debe a que la caldera está sobrecargada, aerodinámicamente está excedida en su capacidad y eso provoca un alto arrastre de partículas hacia el tracto convectivo, asimismo los separadores ciclónicos están mal diseñados y operan con una baja eficiencia.

El bagazo es un residuo proveniente de la fabricación de azúcar de caña, se utiliza principalmente como combustible en calderas para la generación de vapor. Dentro de sus ventajas está su bajo contenido de azufre, lo cual propicia que la concentración de bióxido de azufre de los gases de combustión sea baja, para el caso del estudio realizado se registró un valor de 0.018 g/m³, con una emisión al ambiente de 1.52 kg/h. Considerando el factor de corrección por 5% de oxígeno las emisiones de SO₂ son de 5.84 μmol/mol, valor que se encuentra dentro de lo establecido por la norma (375 ppmv).

Tabla 10. Determinación de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Tiempo	Valor ($\mu\text{mol/mol}$)
3	120
6	110
9	110
12	130
15	140
18	120
21	140
24	140
27	110
30	130
33	140
36	110
39	120
42	120
45	110
48	120
51	130
54	140
57	110
60	110
Promedio	123

El tipo de combustible y el tipo de horno usado por la caldera bagacera en estudio, propicia que no se alcancen valores elevados de temperatura durante la combustión, lo que es un ambiente no favorable para la emisión de óxidos nitrosos. La tabla 10 muestra las mediciones promedio de NO_x emitidos de $123 \mu\text{mol/mol}$, que al ser corregido por presión arroja $95.56 \mu\text{mol/mol}$, lo cual también se encuentra dentro de la normatividad vigente (700 ppmv).

NOMENCLATURA.

A= Área Del ducto en m^2 (ft^2)
 A_n = Área de la boquilla en cm^2 (in^2)
 C_1 = Concentración corregida por presión en $\mu\text{mol/mol}$
 C_1 = Concentración de bióxido de azufre a condiciones normales en g de SO_2/m^3
 C_2 = Concentración obtenida del muestro en $\mu\text{mol/mol}$
 C_3 = Concentración corregida por presión en $\mu\text{mol/mol}$
 C_a = Carga de partículas en condiciones de chimenea en g/m^3 (g/ft^3)
 C_p = Coeficiente de pitot
 C_s = Carga de partículas en condiciones estándar en g/m^3 (g/ft^3)
 E_1 = Emisión de bióxido de azufre en kg de SO_2/h
 EA = Exceso de aire en %
 E_m = Emisión media
 E_r = Emisión calculada al valor de referencia del O_2
 F = Factor de dilución
 I = Isocinetismo (%)
 $K_p = 85.49/34.97$
 M_1 = Masa de bióxido de azufre colectada en g

M_d = Fracción mol de gas seco
 M_n = Total de partículas colectadas en g
 M_k = Peso molecular del gas en la chimenea g/gmol (lb/lbmol)
 M_{wd} =Peso molecular del gas seco g/gmol (lb/lbmol)
 N = Normalidad del cloruro de bario empleado en la titulación
 O_m = Valor medido para el O_2
 O_r = Valor de referencia para el O_2
 P_1 = Presión barométrica estándar (760 mm Hg)
 P_2 = Presión barométrica en sitio (mm Hg)
 P_{bar} = Presión barométrica en mm Hg (in Hg)
 P_e = Presión estática en mm H_2O (in H_2O)
 Pe_{q1} = Peso equivalente del SO_2 (32 g/geq)
 P_m = Presión a condiciones de chimenea en mm Hg (in Hg)
 P_{mos} = Por ciento de humedad por volumen en % (cmol/mol)
 ppmv = Partes por millón en volumen
 P_s = Presión absoluta en mm Hg (in Hg)
 P_{std} = Presión estándar 760 mmHg (29.92 inHg).
 Q_s = Flujo de gas seco en ducto en m^3/min , m^3/h (ft^3/min)
 r = Radio del ducto en m (ft)
 S_r = Velocidad de muestreo isocinético en m^3/min (ft^3/min)
 T = Conversión de segundos a minutos (60)
 T = Tiempo de muestreo en min.
 T_m = Temperatura promedio del medidor en K (R).
 T_s = Temperatura en chimenea en K (R)
 T_{std} = Temperatura estándar 293K (528R)
 V_B = Volumen gastado de cloruro de bario en el blanco en ml
 V_{CA} = Volumen final de aforo colectado en campo en ml
 V_f = Lectura final en el medidor en m^3 (ft^3)
 V_i = Lectura inicial en el medidor en m^3 (ft^3)
 V_{lc} = Volumen de líquidos colectados en impactores en mm.
 V_{lc} = Volumen de líquidos colectados en impactores en mm.
 V_m = Volumen de gas seco muestreado en m^3 (ft^3).
 V_M = Volumen gastado de cloruro de bario en la muestra en ml
 V_{MC} = Volumen de muestra tomado para la cuantificación
 V_{mstd} =Volumen de gas corregido a condiciones estándar en m^3 (ft^3).
 V_z = Volumen de muestra a condiciones normales en m^3
 V_s = Velocidad del gas en la chimenea en m/s (ft/s)
 V_{wstd} = Volumen de vapor de agua en condiciones estándar en m^3 (ft^3).
 $\% \text{CO}$ = Promedio de monóxido de carbono en cmol/mol (%)
 $\% \text{CO}_2$ = Promedio de CO_2 nitrógeno en cmol/mol (%)
 $\% \text{N}_2$ = Promedio de nitrógeno en cmol/mol (%)
 $\% \text{O}_2$ = Promedio de oxígeno en cmol/mol (%)
 $\pi Pi = 3.1416$
 δ = Densidad del bióxido de azufre ($2.9268 \text{ kg}/\text{m}^3$)
 γ = Factor de corrección de gasómetro seco
 ΔH = Presión diferencial en mm H_2O (in H_2O)
 ΔP = Presión dinámica en mm H_2O (in H_2O).

CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en este análisis se observó, como la utilización de filtros reduce significativamente las partículas contaminantes contenidas en los gases emitidos a la atmósfera, y se comprueba su importancia al implementarlos en las chimeneas de descarga de los ingenios azucareros del país, que utilizan biomasa sólida en sus procesos de cogeneración.

Comparando los resultados obtenidos, con los límites de emisiones de NO_x y SO_x permitidos por la norma-

tividad vigente se obtuvo una respuesta satisfactoria. Se comprobó de esta forma que los beneficios al medio ambiente son significativos, utilizando biomasa sólida como bagazo, en la combustión de calderas bagaceras, por tal razón es viable su uso y continúa siendo una alternativa atractiva, respecto a los combustibles fósiles.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Fernando Sebastián Nogués, D. G.-G. (2010). *Energía de la Biomasa*. (Vol. 1). Zaragoza, España: *Prensas Universitarias Zaragoza*.

[2] Sardón, J. M. (2010). *Energías renovables para el desarrollo*. Editorial Paraninfo.

[3] Ambientum. (2015). Ambientum.com. Obtenido de http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Impacto_ambiental_de_la_biomasa.asp.

[4] Hernández, F. J. (2009). *Simulación mediante CFD (FLUENT 6.3.26) del comportamiento de hornos tipo WARD modificados de calderas bagaceras*. Tesis Licenciatura., Universidad Veracruzana, Xalapa.

[5] Alvarez., V. M. (2012). *Emisiones de carbono negro en partículas atmosféricas provenientes de la quema de caña de azúcar*. Proyecto., SEMARNAT, INE, UAM. Obtenido de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_inegei4.pdf.

[6] Golato, M. A., Aso, G., Cárdenas, G. J., & Paz, D. (Marzo de 2009). *Muestreo isocinético de emisiones de particulados en chimeneas de calderas operando con bagazo*. *Avance agroindustrial*., V. 30(No. 1), 21-25.

[7] Marcos A. Golato, W. D. (2012). *Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera Tucumán, R., Argentina*. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, Vol. 89(No. 1), Pág. 11-19.

[8] P. J. Villegas Aguilar, B. B. (2004). *Algunas consideraciones sobre la calidad del aire en instalaciones azucareras*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*., 8(1).

[9] NOM-085-SEMARNAT-1994 *Contaminación Atmosférica - Fuentes Fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones que establecen los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la*

operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

[10] NMX-AA-010-SCFI-2001 *Contaminación Atmosférica - Fuentes Fijas - Determinación de la emisión de partículas contenidas en los gases que fluyen por un conducto. Método isocinético.*

[11] NMX-AA-009-1993-SCFI *Contaminación Atmosférica - Fuentes Fijas - Determinación del flujo de gases en un conducto por medio de un tubo de pitot.*

[12] USEPA MÉTODO 7E-1990 *Determinación de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas. (Método Instrumental).*

[13] USEPA MÉTODO 10-1996 *Determinación de monóxido de carbono en fuentes fijas. (Método Instrumental).*

[14] USEPA MÉTODO 3A-1990 *Determinación de oxígeno y bióxido de carbono en fuentes fijas. (Método Instrumental).*

[15] NMX-AA-056-1980 *Contaminación atmosférica - Fuentes Fijas - Determinación del bióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en los gases que fluyen por un conducto.*

[16] Víctor Muñoz, *Revista Electroindustria*, Edición Marzo 2016, *Efectos de las Emisiones de Gases en el medioambiente*. Obtenido de <http://www.clas.cl> ISSN 0718-3445.

[17] *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 SEMARNAT* ISBN 978-607-8246-63-2.

[18] *Inventario de gases de efecto invernadero de España Serie 1990-2013*; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Obtenido de http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/2__Sumario_inventario_GEI_Espa%C3%B1a_-_Serie_1990-2013_Def_tcm7-362874.pdf.



Tierra,

Medio Ambiente

y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Bioetanol a partir del maguey (Agave americana) y su prospección en México

RESUMEN: En la actualidad existe preocupación por la generación de fuentes de energía renovables, unas de estas fuentes la constituyen bioetanol, lo que brinda una gran oportunidad para aumentar el sector agropecuario. Con la producción de etanol y su uso en mezcla con los combustibles fósiles, ha surgido la necesidad de cooperar en la detección de materia prima para su producción, que no sea la caña de azúcar y el maíz, ya que el precio de estos cultivos ha aumentado debido a la demanda para su utilización en la producción de etanol, cuando es más importante destinarlos al consumo alimenticio. Por lo anterior, este proyecto de investigación propone el uso del Maguey (*Agave americana*), como materia prima para la obtención de bioetanol, dando un alto potencial a los productos rurales en México. Además, este trabajo muestra una técnica calorimétrica para la caracterización energética del bioetanol generando un valor experimental de $-(23,473.74 \pm 25.51) \text{ Jg}^{-1}$ y un valor teórico de $-26,953.76 \text{ Jg}^{-1}$, para un bioetanol al 79.26% y 91% en volumen respectivamente. También se presenta una proyección para una demanda energía de bioetanol en mezcla E10 para el período 2015-2027 en México.

Palabras clave: bioetanol, agave americana, energía de combustión, mezcla E10, tierras áridas.



Colaboración

Diana Karen Lazcano Orozco, Universidad Mexiquense del Bicentenario; Aarón Rojas Aguilar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados; Yesenia Núñez Galindo, Instituto Tecnológico de Orizaba; Alejandro Valdés Ordoñez, Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca

ABSTRACT: At present preoccupation by the generation of renewable energy sources exists, one of these sources constitutes it the bioetanol, which offers a great opportunity to increase the farming sector. With the ethanol production and its use in blend with fossil fuels, it has been given the necessity to cooperate in the detection of raw material for its production, except from cane sugar and maize, since the price of these crops has increased due to demand for its use in ethanol production, when it is more important its destine to the nutritional consumption. By the previous thing, this project of investigation proposes the use of the maguey (*Agave americana*), like raw for the production of bioethanol, giving a high potential to rural products in Mexico. In addition, this work shows a calorimetric technique for characterization energetic of bioethanol generating an experimental value from $-(23,473.74 \pm 25.51) \text{ Jg}^{-1}$ and a theoretical value from $-26,953.76 \text{ Jg}^{-1}$, for a bioethanol 79.26% and 91% by volume respectively. Projected energy demand for bioethanol in E10 blend to the period 2015-2027 in Mexico is also presented.

Keywords: bioethanol, agave americana, energy of combustion, E10 blend, drylands.

INTRODUCCIÓN

El problema energético que enfrentan varios países en el mundo, se debe principalmente a la creciente demanda de combustibles fósiles y al agotamiento de los yacimientos petroleros. México no queda exento de esta problemática, por lo que es necesario buscar nuevas alternativas que permitan obtener combustibles renovables y ecológicamente aceptables.

Los biocombustibles en la actualidad juegan un rol de suma importancia, aunque estos constituyen la primera fuente de energía que conoció la humanidad. Entre las fuentes para producir los biocombustibles, está la biomasa proveniente de cultivos como: caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca, en-

tre otros, la cual es usada para la obtención de etanol. El bioetanol como también se le suele nombrar, es un combustible de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos, al ser utilizado en la oxigenación de la gasolina, reduce las emisiones de los gases de efecto invernadero en un orden del 20 al 60 por ciento en comparación con los combustibles fósiles; además, la emisión neta de CO₂ producida por la combustión del bioetanol es nuevamente fijada por la biomasa a través del proceso de fotosíntesis [1,2].

Actualmente, cerca del 85% de la producción mundial de biocombustibles líquidos está representada por el etanol. Los dos mayores productores de etanol con el 90% de la producción mundial, son Estados Unidos de América y Brasil, el resto de la producción se reparte entre Canadá, China y la Unión Europea [3].

En Estados Unidos de América, la producción de bioetanol se basa en el maíz (*Zea mays*), reportando una producción en el 2013 de 60,000 millones de litros, mientras que en Brasil la biomasa empleada es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con una producción en el mismo período de 33,000 millones de litros. Pero en el caso del etanol extraído del maíz, durante su elaboración se está utilizando gas natural o carbón de origen mineral para su destilación, mientras que en el proceso de cultivo se usan fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola, resultando en un balance energético donde cada unidad de energía utilizada por unidad de energía contenida en cada litro de alcohol obedece a una relación de 1:1.3. En el caso de la caña de azúcar, en muchos lugares se continua con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nitroso, dos gases que contribuyen de manera importante en el calentamiento global. Esta problemática se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, lo cual disminuiría el empleo rural, en este caso el balance energético requerido es de una relación de 1:8 [4,5].

En México, el etanol extraído del maíz y de la caña de azúcar, resulta no ser una solución a largo plazo, ya que ambos cultivos requieren de suelos agrícolas, un tema particularmente delicado por el alto índice de pobreza extrema y la deforestación de 260,000 hectáreas de bosque y/o selva al año. Además este país debe tener muy en claro que el maíz y la caña de azúcar es para el consumo de los mexicanos y no para el uso de sus autos.

Sin embargo a pesar de todo, México será otro país que transite en esa línea, cuando nuestros vehículos se desplacen con etanol en mezcla E10 (90% gasolina y 10% de etanol), por lo que resulta conveniente la propuesta de cultivos bioenergéticos con características diferentes a las descritas anteriormente, como lo es el Maguey (*Agave Americana*).

La presencia del maguey en México, se remonta a hace 10 mil años, tiempo en el que no ha recibido protección a pesar que ha dado alimento, bebida, techo, vestido, medicina y muchos otros beneficios de suma importancia, al mismo tiempo que ha sido testigo de nuestra historia y ocupa un lugar importante en las manifestaciones culturales de los mexicanos. El maguey “árbol de las maravillas” así lo escribió el jesuita José Acosta en 1590 en su *Historia Natural y Moral de las Indias* [6], por su aprovechamiento desde sus raíces hasta la punta de sus espinas, fue atacado durante la época colonial y actualmente es menospreciado y marginado. Sin embargo, países como Australia, han aprovechado la oportunidad que ofrecen estas especies y desde 2004 se encuentran importando varios tipos de *Agave* desde México [7].



Imagen 1. Maguey pulquero de la especie *Agave americana*.

La adaptación del Maguey en otros climas y suelos, es debido a las modificaciones morfológicas y fisiológicas que le permiten soportar las condiciones ambientales de los sitios que habitan, son plantas resistentes a terrenos áridos, donde no requiere de riego, por lo que con su capacidad de adaptación se podría utilizar y cultivar con notables ventajas en muchos de los terrenos que están abandonados en México y que se encuentran erosionados.

Ciertas especies de maguey como: *Agave salmiana*, *Agave americana*, *Agave atrovirens* y *Agave mapi-saga*, producen una savia azucarada conocida como aguamiel. El proceso de fermentación inicia en el propio maguey, donde se encuentran microorganismos autóctonos como un hongo levaduriforme perteneciente al género *Saccharomyces*, al igual que bacterias

del género *Zymomonas* y *Lactobacillus*, responsables de que el aguamiel se transforme, mediante una fermentación alcohólica, en una bebida llamada pulque. El tiempo de fermentación puede durar de 12 a 48 horas a temperatura ambiente, sin embargo el proceso se acelera por la adición de un inóculo iniciador llamado semilla (porción de pulque previamente producido). A medida que pasa el tiempo se presentan cambios importantes como un incremento en el porcentaje de etanol y formación de exopolisacáridos como β -glucanos y dextranos; que generan un incremento en la viscosidad [8-10]. Una característica química importante del pulque, es que presenta un contenido de etanol del 4-9 por ciento en volumen.

Una diferencia esencial entre el maíz y la caña de azúcar con respecto al maguey, es que en los primeros se necesita la adición de microorganismos para llevar a cabo el proceso de fermentación, así como el uso de centrifugas para una continua recirculación durante dicho proceso, lo cual requiere un valor energético estimado en (1,175.47 y 2,252.68) MJ/m³, respectivamente [11], eso sin tomar en cuenta el balance de energía que requieren el maíz y la caña de azúcar antes de llevar a cabo el proceso de fermentación. El proceso anterior a la fermentación se refiere al acondicionamiento, que consiste, en el caso del maíz, en lavado, molien-da, precalentamiento, mezclado, prelicuefacción, calentamiento y licuefacción, y para la caña de azúcar en lavado, molienda y clarificación, donde su consumo energético es estimado en (395.23 y 3,344.73) MJ/m³, respectivamente. Esto resulta una gran ventaja para el maguey, ya que esta energía es nula.

Actualmente los estados productores de pulque son principalmente Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México, Puebla y Aguascalientes, aunque también se le encuentra marginalmente en Coahuila, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz y Oaxaca. En la tabla 1 se muestra la producción de maguey pulquero reportado para el año 2013, por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de México [12].

Tabla 1. Producción de maguey pulquero en el 2013.

Estado	A _{Semb.} Ha	A _{Cos.} Ha	Producción Anual en L
Aguascalientes	50.00	50.00	5,355,000
Coahuila	1,838.00	0.00	0
Guanajuato	2.50	2.50	57,500
Guerrero	4.00	4.00	22,000
Hidalgo	5,613.00	3,681.50	437,210,620
Jalisco	3.00	0.00	0
México	1,414.00	236.88	3,123,000
Michoacán	7.05	0.00	0
Puebla	139.00	139.00	5,828,000
Querétaro	89.00	0.00	0
San Luis potosí	20.00	20.00	103,000
Tlaxcala	668.00	668.00	5,198,7000
Veracruz	107.00	85.00	680,000
Total	9,954.55	4,886.88	504,366,120

A_{Semb.}, Superficie sembrada; A_{Cos.}, Superficie cosechada en hectáreas; L, Litros.

Tomando en cuenta cada uno de los puntos anteriores, este trabajo de investigación propone como un cultivo alternativo, para la obtención de bioetanol en México, al maguey de la especie *Agave americana*, que por las características que posee tiene un alto potencial bioenergético. Así mismo, el análisis calorimétrico realizado de energía de combustión permite potencializar este cultivo bioenergético. Por otro lado, se realiza una proyección dentro del mercado nacional para la demanda de gasolina con una mezcla E10, para el periodo 2015-2027 y la producción de etanol requerida para satisfacer dicha demanda.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación fue desarrollada en cuatro etapas: proceso de fermentación, proceso de destilación, caracterización energética másica y prospectiva en México.

Proceso de fermentación

Para obtener bioetanol a partir del maguey, se obtuvo el aguamiel en la localidad de San Francisco Acuatla, municipio de Ixtapaluca, en el Estado de México. El aguamiel no se somete a un proceso de fermentación alcohólica como tal, ya que ésta se produce de manera natural en un tiempo de 48 horas obteniéndose como producto el pulque.

Proceso de destilación

Para obtener etanol a partir del pulque, se realizaron tres destilaciones simples. Para la primera destilación se utilizó una muestra de 4x10⁻⁴ m³ de pulque a temperatura de 364.15 K por 90 min; esto con la finalidad de garantizar la mayor cantidad de etanol hidratado, con el producto se derivó la cantidad de etanol a través de un alcoholímetro obteniendo 38°GL. Posteriormente la muestra fue sometida a una segunda destilación con un volumen de 1.5x10⁻⁴ m³ a temperatura de 353.15 K por un tiempo de 105 min., la cual se determinó un valor de 78°GL, finalmente la muestra de etanol aún hidratado se sometió a una tercera destilación con la finalidad de aumentar la pureza, a la temperatura de evaporización del etanol de 351.6 K por un tiempo de 120 min., obteniendo una muestra de etanol al 91° GL. En la tabla 2, se presentan los resultados obtenidos en el proceso de fermentación y destilación para el bioetanol producido a partir de maguey.

Tabla 2. Resultados del proceso de fermentación.

Biomasa	V _{ferm} m ³	V _{bioetanol} m ³	R _{teórico} %
Maguey	57.5x10 ⁻⁴	4.225x10 ⁻⁴	7.348

V_{ferm}, volumen de fermentado; V_{bioetanol}, volumen de bioetanol; R_{teórico}, rendimiento teórico.

Caracterización energética

Para la determinación de la energía de combustión se utilizó un calorímetro isoperibólico modelo Parr 1230 con una bomba estática modelo Parr 101A. Estas prue-

bas calorimétricas se realizaron en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Zacatenco en el Departamento de Química. La capacidad calorífica determinada para el sistema calorimétrico fue de $\text{esc} = (10,127.28 \pm 1.32) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ a partir de 10 experimentos de combustión de ácido benzoico NIST 39j (National Institute of Standards and Technology). Una vez determinada la capacidad calorífica del sistema, se procedió a determinar la energía de combustión del bioetanol, los resultados de masa y energía de combustión de cada experimento se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Masa y energías de combustión del bioetanol.

Exp.	$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$ g	$m(\text{poliet.})$ g	$m(\text{alg.})$ g	ΔT_{corr} K	$-\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$
<i>Bioetanol producido a partir del maguey</i>					
1	1.27122	0.15223	0.00261	3.64918	23,478.87
2	1.33380	0.14914	0.00220	3.78080	23,489.33
3	1.28336	0.17124	0.00228	3.76737	23,506.06
4	1.26408	0.19486	0.00208	3.83178	23,515.83
5	1.32875	0.17688	0.00236	3.89835	23,503.36
6	1.08562	0.19001	0.00213	3.37736	23,349.01
$\leftarrow -\Delta_c u^0 = (23,473.74 \pm 25.51) \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$					

$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$, masa del bioetanol empleada en cada experimento de combustión; $m(\text{poliet.})$, masa de la cápsula de polietileno empleado; $m(\text{alg.})$, masa de algodón utilizado como mecha; ΔT_{corr} , cambio de temperatura corregido registrado durante el proceso de combustión; $-\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$, energía de combustión de cada experimento.

Por otro lado en la tabla 4, se muestran los valores promedio de energía de combustión y el porcentaje de hidratación, a partir de los valores experimentales reportados previamente por Valdés y col. [13,14], así como el cálculo teórico y experimental de la energía de combustión del etanol absoluto.

Tabla 4. Valores de energía de combustión del bioetanol producido de distintas biomazas y su porcentaje de Etanol.

Muestra	$-\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$	$-\Delta u$ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ %
Valor teórico	- 29,619.52 $\pm$ 18.00	0	100.00
Absoluto	- 29,497.16 $\pm$ 22.54	- 122.36	99.59
Caña de Azúcar	- 24,373.69 $\pm$ 16.34	- 5,245.83	82.29
Maguey (2ª destilación)	- 23,473.74 $\pm$ 25.51	- 6,145.78	79.25
Maguey (3ª destilación)	- 26,953.76	- 2,665.76	91.00

$\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$, energía de combustión promedio; $-\Delta u$, diferencia de energía; $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ %, porcentaje de bioetanol.

El valor obtenido de $\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = -(23,473.74 \pm 25.51) \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, corresponde al bioetanol de maguey obtenido a través de dos destilaciones simples, mientras que el valor de $\Delta_c u^0(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = -26,953.76 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, se refiere al valor derivado de la medición de bioetanol con una tercera destilación simple, al cual se le determinó el contenido de etanol a través de un alcoholímetro con un resultado de 91º GL.

Prospectiva en México

Se realizó una investigación de la cantidad de gasolina que consume el país en un intervalo establecido, esto

con la finalidad de ver la tendencia y dependencia del consumo energético de este combustible fósil, dicha investigación se realizó a través del informe de la Secretaría de Energía (SENER, 2013) [15].

En la tabla 5, se muestra la producción y demanda de gasolina en México en el período 2002-2013, así como las crecientes importaciones de este petrolífero, observándose que en el 2013 la tasa de crecimiento anual fue de 42.46%, lo que corresponde a 336.5 miles de barriles diarios. También se observan las cantidades que se han utilizado de Metil Terbutil Éter (MTBE) y Teramil Metil Éter (TAME), principales componentes para la oxigenación de la gasolina en nuestro país, con un 10% del volumen empleado. Estos son los principales componentes a ser reemplazados con bioetanol.

Tabla 5. Producción, importación y demanda de gasolina en México 2002-2013.

Año	Prod. Mbd	Imp. Mbd	Demanda mbd	Demanda L/año	Demanda de MTBE y TAME L/año
2002	398.1	184.2	582.3	33,328,190,563	3,332,819,056
2003	444.9	141.1	586.0	33,539,961,652	3,353,996,165
2004	466.0	173.7	639.7	36,613,504,213	3,661,350,421
2005	439.5	231.8	671.3	38,422,143,783	3,842,214,378
2006	442.4	273.8	716.2	40,992,014,565	4,099,201,456
2007	443.8	309.8	753.6	43,132,619,626	4,313,261,963
2008	436.7	340.0	776.7	44,454,758,046	4,445,475,805
2009	455.3	329.1	784.4	44,895,470,853	4,489,547,085
2010	404.8	378.3	783.1	44,821,064,794	4,482,106,479
2011	388.8	404.7	793.5	45,416,313,261	4,541,631,326
2012	416.4	394.5	810.9	46,412,209,733	4,641,220,973
2013	456.0	336.5	792.5	45,359,078,117	4,535,907,783

Prod., producción; Imp., Importación; mbd, miles de barriles diarios; un barril equivale a 158.987304 litros, la demanda anual, está referido a 360 días lo que es igual a un año comercial; MTBE, Metil Terbutil Éter; TAME, Teramil Metil Éter.

En la tabla 6, se muestra una prospectiva de la producción, importación y demanda de la gasolina desde el 2014 hasta el 2027, donde se puede observar una dependencia que va del 39 al 50 por ciento de gasolina importada, razón de más para buscar nuevas alterna-

Tabla 6. Proyección de la producción, importación y demanda de gasolina en México 2014-2027.

Año	Producción mbd	Importación Mbd	Demanda mbd	Demanda L/año
2014	479.0	317.6	796.6	45,593,743,092
2015	507.0	336.1	843.1	48,255,190,561
2016	522.0	374.3	896.3	51,300,115,407
2017	510.0	464.4	974.4	55,770,202,446
2018	527.0	534.5	1,061.5	60,755,408,351
2019	531.0	607.2	1,138.2	65,145,365,789
2020	686.0	505.5	1,191.5	68,196,014,178
2021	732.0	506.3	1,238.3	70,874,632,276
2022	732.0	539.5	1,271.5	72,774,848,533
2023	733.0	579.4	1,312.4	75,115,777,597
2024	733.0	611.9	1,344.9	76,975,929,054
2025	729.0	648.5	1,377.5	78,841,804,054
2026	729.0	681.5	1,410.5	80,730,573,225
2027	726.0	717.3	1,443.3	82,607,895,311

mbd, miles de barriles diarios; un barril equivale a 158.987304 litros y la demanda anual, está referido a 360 días lo que es igual a un año comercial.

tivas para producir biocombustibles que satisfagan la demanda energética nacional.

Por otro lado, hablando de la extensión territorial, México cuenta con una superficie territorial de 1,964,375 km², del cual 1,959,248 km² son de superficie continental y 5,127 km² pertenecen a la superficie insular.

Las tierras que se propone para el cultivo del maguey con una alto potencial en México, serían las zonas secas, que comprende: suelos áridos, suelos semiáridos y suelos subhúmedos secos, en la tabla 7 se muestra el porcentaje de cada uno de ellos. Estos suelos se encuentran principalmente distribuidos en los desiertos sonorenses y chihuahuenses y en las regiones centrales influenciadas por el efecto de sombra orográfica generada por las sierras madre occidental y oriental. Con base en un estudio realizado por la Universidad Autónoma Chapingo (2011).

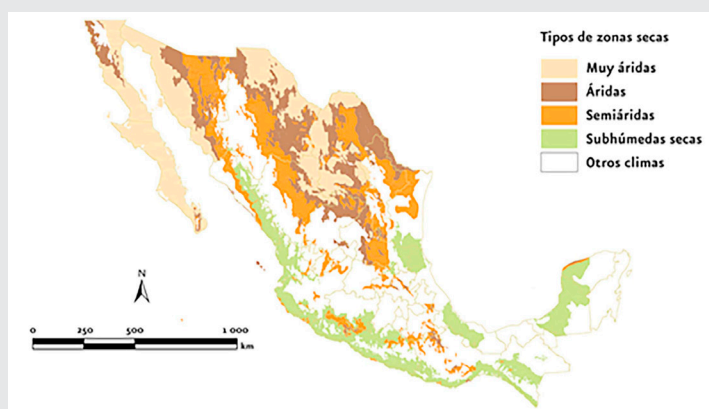


Imagen 2. Distribución de las zonas secas en México.

RESULTADOS

Con toda la información obtenida, podemos resaltar los siguientes puntos:

a) En la tabla 1, se reporta la superficie sembrada de maguey pulquero de 9,954.55 Ha, de la cual fue cosechada solo 4,886.88 Ha, con una producción de aguamiel de 504,366,120 litros. Si se estimara una producción de todas las hectáreas, la cantidad de aguamiel obtenida sería de 1,027,391,252 litros, esta cantidad sería la misma en pulque, de donde obtendríamos solo el 7.34% de etanol (tabla 2). Este valor equivaldría a 75,410,518 litros de etanol.

b) A partir de los datos de la tabla 6, se puede hacer una prospectiva de la demanda de bioetanol que equivale al 10% de la demanda de gasolina anual, este bioetanol será el sustituto del MTBE y TAME, para la oxigenación en una mezcla E10.

De acuerdo a la tabla 8, para el año 2027 se necesitarían 8,260,789,531 litros de etanol para satisfacer

la demanda del país en mezcla E10, sin embargo actualmente se obtendría 75,410,518 litros de etanol proveniente del maguey pulquero, lo que representa el 0.91% de la demanda nacional, en consecuencia no son suficientes las 9,954.55 hectáreas que son destinadas actualmente para el cultivo de maguey pulquero para satisfacer esta demanda.

Tabla 7. Porcentaje de zonas para su posible cultivo de agave.

Zonas	Superficie km ²	Porcentaje superficial %
Superficie continental	1,959,248	100
Áridas	159,355	8.13
Semiáridas	588,700	30.04
Subhúmedas secas	266,945	13.62

c) Si determinamos la cantidad de etanol por hectárea sembrada de maguey pulquero actualmente, obtendríamos un valor de 7,575.48 L/Ha. Para satisfacer la demanda de etanol hasta el 2027, sabemos que México cuenta con una superficie de suelos semiáridos de 588,700 km², lo que representa el 30.04% de la superficie continental de México reportado en la tabla 7, suelo que puede ser utilizado para la siembra del maguey pulquero. Si se hace el cálculo con los valores de la superficie y la cantidad de etanol que se produce por hectárea, tal como se muestra en la tabla 9, sabremos que tan solo el 0.56% de la superficie de México sería suficiente para satisfacer la demanda de etanol del 2015 al 2027 producido a partir del maguey pulquero y utilizando suelos no agrícolas.

Como se observa en los resultados anteriores, la superficie del 0.56% del territorio nacional supera la demanda anual de etanol para el 2027 por 59,928,742.20 litros, quedando un excedente de etanol para su exportación.

Tabla 8. Proyección de la demanda de gasolina y etanol para la mezcla e10 en México 2015-2027.

Año	Demanda Mbd	Demanda L/año	Demanda de etanol para la mezcla E10 L/año
2015	843.1	48,255,190,561	4,825,519,056
2016	896.3	51,300,115,407	5,130,011,541
2017	974.4	55,770,202,446	5,577,020,245
2018	1,061.5	60,755,408,351	6,075,540,835
2019	1,138.2	65,145,365,789	6,514,536,579
2020	1,191.5	68,196,014,178	6,819,601,418
2021	1,238.3	70,874,632,276	7,087,463,228
2022	1,271.5	72,774,848,533	7,277,484,853
2023	1,312.4	75,115,777,597	7,511,577,760
2024	1,344.9	76,975,929,054	7,697,592,905
2025	1,377.5	78,841,804,054	7,884,180,405
2026	1,410.5	80,730,573,225	8,073,057,323
2027	1,443.3	82,607,895,311	8,260,789,531

mbd, miles de barriles diarios; un barril equivale a 158.987304 litros y la demanda anual, está referido a 360 días lo que es igual a un año comercial.

Estos resultados obtenidos desde el 2015 hasta el 2027, representan 13 años de prospectiva, tiempo suficiente para que el maguey pulquero crezca hasta su maduración que es de 8 a 12 años [17]. Por otro lado con 13 años de diferencia, se necesitaría 7.8% del territorio nacional equivale a una superficie de 142,633.25 km₂. Sabiendo que el maguey pulquero para su cultivo puede ocupar una longitud aproximada de 5 m por el crecimiento de su roseta, esto implica un área de 25 m₂ por maguey, por lo tanto en una hectárea (10,000 m₂) se podrían sembrar 400 magueyes. Lo cual equivaldría a sembrar 438,871,600 magueyes pulquero en una superficie de 0.56% del territorio de México considerando al suelo no agrícola (semiárido).

Tabla 9. Superficie nacional de suelos semiáridos para cubrir la demanda del 2027, con un volumen de 8,260,789,531 litros anuales.

Porcentaje en superficie nacional	Superficie Km ²	Cantidad de etanol L/año	Excedente de etanol L/año
1.00%	19,592.48	14,858,425,487.86	6,597,635,956.86
0.90%	17,633.23	13,372,582,939.08	5,111,793,408.09
0.80%	15,673.98	11,886,740,390.29	3,625,950,859.29
0.70%	13,714.74	10,400,897,841.51	2,140,108,310.51
0.60%	11,755.49	8,915,055,292.72	654,265,761.72
0.56%	10,971.79	8,320,718,273.20	59,928,742.20
0.50%	9,796.24	7,429,212,743.93	- 831,576,787.07

d) Por otro lado, el valor obtenido teóricamente de energía de combustión del etanol, a través de las entalpías de formación de la reacción ideal de combustión, como reportan Valdés y col. [13,14], genera un valor recomendado de -29,619.52 J·g⁻¹ para el etanol al 100%. Con este dato, se derivan las diferencias energéticas obtenidas del etanol absoluto y del etanol del maguey, que corresponden a (-122.36 y -6,145.78) J·g⁻¹, respectivamente, donde se obtiene que la pureza del etanol absoluto es 99.59% y para el bioetanol de maguey es de 79.26%, aplicando dos destilaciones simples para el caso del maguey. Con una tercera destilación se muestra un aumento en la pureza, siendo esta del 91%, lo que nos permite realizar el cálculo teórico obteniendo un valor de $\Delta_c U^\circ(C_2H_5O) = -26,953.76 \text{ J·g}^{-1}$, lo cual lleva a establecer que el bioetanol obtenido a partir del maguey requiere someterse a una destilación azeotrópica [18], antes de realizar pruebas donde se establezcan mezclas pertinentes con gasolina y calcular las eficiencias en motores de combustión interna.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede establecer que el maguey de la especie *Agave americana*, es un cultivo que presenta un alto potencial para considerarse un cultivo bioenergético ecológicamente rentable, esto debido a que puede ser utilizado para la producción masiva de etanol, además que no compite con materias primas de origen alimentario, como el maíz y la caña de azúcar, los cuales son de suma importancia para la alimentación de los mexicanos. Adicionalmente los magueyes pulqueros, tienen una gran ventaja en el balance ener-

gético durante los proceso de extracción de etanol, ya que durante su acondicionamiento y fermentación el requerimiento en energía es nulo con respecto a otros cultivos bioenergéticos.

El utilizar una técnica calorimétrica para la caracterización energética del bioetanol, permite estimar la energía de combustión y derivar el porcentaje de hidratación de este biocombustible, datos que son de suma importancia debido a que con ellos se puede establecer la calidad del bioetanol extraído.

La proyección dentro del mercado nacional de la demanda de gasolina con una mezcla E10 para el período 2015 hasta el 2027, nos muestra que la tendencia de consumo va en aumento. Considerando que en la actualidad se encuentran sembradas aproximadamente 9,954.55 Ha de maguey pulquero, se estima que esto permitiría generar 75,410,518 litros de etanol, lo que representa sólo el 0.91% de la demanda nacional, por lo que no es suficiente para cubrir los requerimientos de producción de una mezcla E10. Sin embargo, de 1,959,248 km² de territorio continental de México, el 30.04% corresponde a zonas semiáridas, suelo que puede ser utilizado para la siembra del maguey. Para cubrir la demanda energética de etanol para los próximos años, se requerirá cultivar maguey pulquero de las especies: *Agave salmiana*, *Agave americana*, *Agave atrovirens* y *Agave mapisaga*, utilizando solamente el 0.56% anual del territorio nacional de suelos semiáridos por un período de 13 años, lo cual equivaldría a sembrar en una superficie total de 142,633.25 km².

Con la siembra de maguey pulquero, se promovería la creación de empleos permanentes y el desarrollo de la economía rural de forma directa, así como la expansión y explotación de la agricultura en tierras semiáridas, lo que sería una gran ventaja, debido a que la siembra de los magueyes recuperaría estos suelos en un futuro inmediato, y se podrían destinar a cultivos agroalimentarios sembrados de manera conjunta. Del mismo modo se fomentaría el desarrollo y la creación de tecnología nacional, así como la investigación científica en temas relacionados con el mejoramiento morfológico y fisiológico de los magueyes, lo cual tendría un impacto positivo en el medio ambiente local, nacional y global.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. El Estado Mundial de la agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.*
- [2] *Cardona, C.A., Sánchez, O.J., Montoya, M.I., Quintero, J.A. 2005. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. Scientia et Technica. 28: 187-192.*

- [3] García, C.J.M, García, L.J.A. 2006. Biocarburantes Líquidos: Biodiésel y Bioetanol. Citme y CEIM, Madrid, España.
- [4] IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2007. Preguntas y Respuestas más Frecuente sobre Biocombustibles. San José, Costa Rica.
- [5] Da Silva, A.G. 2013. Impactos de los Biocombustibles: Experiencia Brasileña con etanol y el biodiesel. ENERGÍA ALTERNA Y BIOCOMBUSTIBLES Innovación e investigación para un desarrollo sustentable. Editado por Pérez, V. A. y García, P. E. Colegio de Postgraduados. México. 13-22.
- [6] Ramírez, J. 1995. Los magueyes, plantas de infinitos usos. CONABIO. Biodiversitas 3: 1-7.
- [7] Holtum, J.A.M., Chambers, D., Morgan T., Tan, D.K.Y. 2011. Agave as a biofuel feedstock in Australia. Bioenergy. 3: 58-67.
- [8] Escalante, A., Rodríguez, M.E., Martínez, A., López, A., Bolívar, F., Gosset G. 2004. Characterization of bacterial diversity in Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage, as determined by 16S rDNA analysis. FEMS Microbiology Letters. 235: 273-279.
- [9] Cervantes, M., Pedroza, A.M. 2007. El pulque: Características Microbiológicas y Contenido Alcohólico Mediante Espectro Ramán. Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. 8(5): 135-146.
- [10] Nobel, P. S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Editorial Trillas. México.
- [11] Cardona, C.A., Sánchez, O.J., Montoya, M.I., Quintero, J. A. Simulación de los Procesos de Obtención de Etanol a partir de Caña de Azúcar y Maíz. 2005. Scientia et Technica Año XI. 28: 187-192.
- [12] SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2013. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp
- [13] Ibarra, A.M., Mendoza, V.A.M.A., García, C.O., Núñez, G.Y., Ruelas, S.P.U., Rojas, A.A., Valdés, O.A. 2013. Energía de combustión del Bioetanol Producido a partir de maguey (Agave americana), naranja (Citrus sinensis) y palma de coyol redondo (Acrocomia mexicana). ENERGÍA ALTERNA Y BIOCOMBUSTIBLES Innovación e investigación para un desarrollo sustentable. Editado por Pérez, V. A. y García, P. E. Colegio de Postgraduados. México. 67-76.
- [14] Lazcano, O.D.K., Rojas, A. A., Núñez, G.Y., Valdés, O.A. 2014. Energía de combustión del Bioetanol Producido a partir de maguey (Agave americana), naranja (Citrus sinensis) y palma de coyol redondo (Acrocomia mexicana). XI Congreso Internacional Sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET 2014. Cuernavaca, Morelos, México.
- [15] SENER (Secretaría de Energía). 2013. Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2013-2027.
- [16] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. LA FAO EN MÉXICO, Más de 60 años de cooperación 1945-2009. México, México.
- [17] Manrique-Dorronsoro, R. 2013. Caracterización y conservación de inóculos tradicionales para la producción de pulque. Tesis de grado. Licenciatura en Química de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma Nacional de México. México.
- [18] Chang, R. 2008. Fisicoquímica para las ciencias químicas y biológicas. Ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 255-256.



Tierra,

Medio Ambiente

y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Evaluación de la calidad interna en frutos de jitomate nativo de la región de Ajalpan y un híbrido comercial



Colaboración

Ana Cristina Pérez González; Lorena Santos Espinosa;
Omar Gómez Carrasco, Instituto Tecnológico Superior
de la Sierra Negra de Ajalpan

RESUMEN: En el Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan se diseñó y construyó la máquina semiautomática SARILSE que siembra en charolas de poliestireno de 200 cavidades. De tal forma, se realizó la siembra de dos variedades: híbrida (7705) y criolla (riñón) con la finalidad de evaluar el porcentaje de nacencia. Y para optimizar la plántula se prosiguió a trasplantarla en un invernadero tipo túnel con riego por goteo, siguiendo un diseño experimental 2X2 (podas y variedades), con la finalidad de conocer cuál es la que presenta los más altos contenidos en pH, sólidos solubles totales y acidez titulable, ya que son características para la aceptación del consumidor. Se obtuvo como resultado que los frutos provenientes de la variedad criolla podada a un tallo es la que presenta las mejores características en cuanto a calidad interna de los frutos.

Palabras clave: calidad interna, acidez titulable, sólidos solubles totales, SARILSE.

ABSTRACT: In the Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan was designed and built semiautomatic machine leaving in polystyrene trays of 200 cavities. Hybrid (7705) and Creole (kidney) in order to assess the percentage of germination: so, planting two varieties was performed. And to optimize the seedling was continued to transplant it in a greenhouse tunnel with drip irrigation, following an experimental design 2X2 (pruning and varieties), in order to know which is the one with the highest content in pH, total soluble solids and titratable acidity, because they are characteristic for consumer acceptance. It was obtained as a result that the fruits from the native variety is pruned to a stem which presents the best characteristics in terms of internal quality of the fruit.

Keywords: internal quality, titratable acidity, total soluble solids, SARILSE

INTRODUCCIÓN

El jitomate es originario de América del Sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México. El nombre de jitomate procede del náhuatl xictli, ombligo y tomatl, tomate, que significa tomate de ombligo. Existe una gran diversidad de formas silvestres a lo largo de la República Mexicana [1], [2]. Los criterios de calidad más importantes para el jitomate son: pH, sólidos solubles totales y acidez titulable [3]. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad en frutos de jitomate nativo de la región de Ajalpan y un híbrido comercial "7705".

El fruto de tomate *Lycopersicon esculentum* (Mill) es el segundo producto hortofrutícola en importancia mundial por el volumen consumido, y el primero por su aporte de vitaminas y minerales [4]. Esta hortaliza se cultiva en diversos países, y hasta el 2008 la producción se concentró en China con una participación de 36%. Le sigue Estados Unidos con 14%; Turquía, 12%; India, 11%; mientras que México ocupó el doceavo lugar, con 3% de participación en la producción, los cuales produjeron poco más del 50%. Los países que

ocupan los primeros tres lugares en el ranking de mayores exportadores, comercializan poco más de 55% de total mundial. Holanda ocupa el primer sitio, con 22% del volumen de exportaciones mundiales de jitomate; México tiene el segundo lugar con 18% de las mismas; en tercer lugar, España con 17% del total mundial. Los rendimientos más altos se obtienen en la India, China, México, Turquía y Estados Unidos [5]. El jitomate es, sin duda, la principal hortaliza gracias a la cual México ha desarrollado la industria hortícola, tanto para abastecer el mercado interno y a Estados Unidos, ya que es el principal exportador de jitomate fresco en el mundo [6], [7]. Parte de la producción de tomate se destina al procesamiento industrial, de la misma manera los flujos de comercio internacional registran el volumen de jitomate procesado. Los principales países procesadores de tomate son Estados Unidos e Italia, con 39 y 20%, respectivamente, de la producción industrial de tomate. El mayor incremento corresponde a China, que en los últimos años, triplicó su producción y se ubica actualmente como tercer productor mundial, con el 9% de la producción industrial de tomate. Durante 2008, se produjeron en todo México 2.26 millones de toneladas de jitomate, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35% del total nacional, cuyo monto es 3.8 veces mayor al producido por el segundo lugar, Baja California, con 9%. Siguen en la lista los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco con 8%, 6% y 5%, respectivamente. Regionalmente, a todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de jitomate, sin embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste. En la República Mexicana, se produce jitomate durante todo el año (figura 1). En el análisis temporal, durante los primeros meses del año, es cuando se genera el tope de producción nacional, en el estado de Sinaloa, que abastece al mercado nacional y la mitad del norteamericano. Por otro lado, durante el verano, la producción de los estados del centro y de Baja California, es la que abastecen la demanda interna y de exportación. Finalmente, en los meses de agosto a diciembre, son otras entidades las que cubren la producción. En lo que respecta a las variedades de jitomate que se producen en el territorio mexicano, la de mayor distribución es el jitomate saladette, representa el 56% del total, en segundo lugar se encuentra el jitomate bola, cuyo volumen de producción alcanza el 14% del total. Son importantes los jitomates de tipo importación y de invernadero, debido a los rendimientos y precios que ofrecen.

La percepción del consumidor de la calidad de jitomate involucra tanto factores externos como internos, algunos de estos son el sabor, el aroma y la textura del fruto [8]. Algunos de estos atributos de calidad han sido relacionados con parámetros fisicoquímicos que son definidos como buenos indicadores, por ejemplo para sabor se miden los contenidos de sólidos solubles totales (SST), azúcares y ácidos orgánicos [9]. El incremento en el contenido total de azúcares y ácidos aumenta la inten-

sidad del sabor [10]. En bajas concentraciones de ácido cítrico y glucosa la fructosa reduce la acidez, de tal forma que un mejor sabor requiere una concentración de azúcar elevada y un contenido relativamente elevado de ácidos; una concentración baja en azúcares y alta en ácidos produce un sabor agrio en los jitomates; un contenido elevado de azúcares y bajo en ácido produce un sabor dulce o suave; y un contenido bajo en ambos produce un sabor insípido [11]. La textura es uno de los componentes críticos para la percepción de la calidad por parte del consumidor de jitomate. Muchos de los rasgos son atributos sensoriales como la firmeza de la pulpa, harinosidad, carnosidad, jugosidad y textura crujiente. Los cambios importantes en la textura se producen durante la maduración y están asociados principalmente con ablandamiento que influye considerablemente en el rendimiento postcosecha, ya sea en el almacenamiento, conservación y resistencia a patógenos [12]. El desarrollo de los frutos de jitomate está marcado por cambios significativos en los componentes de la pared celular y una gran cantidad de enzimas que degradan polisacáridos, esta actividad enzimática está directamente vinculada con la vida de anaquel de la fruta, una de las características fundamentales para el mercado de jitomate [13]. A pesar de que la dulzura y acidez son factores determinantes de la preferencia en el sabor de jitomate, las modificaciones en la textura principalmente en la firmeza de las variedades modernas, han sido motivo de queja de los consumidores [14]. Los pigmentos de los frutos maduros no son sólo atractivos para los consumidores, además tienen efectos benéficos para la salud, debido a que son nutrientes esenciales que se consideran no pueden ser sintetizados de nuevo en el cuerpo humano [13]. El licopeno es responsable del color rojo de los tomates y es considerado como un antioxidante con alta actividad biológica en el cuerpo. El contenido en licopeno del tomate varía considerablemente entre cultivares, la etapa de madurez y condiciones de crecimiento [15]. Durante la obtención de variedades mejoradas, el énfasis en características como rendimiento, tamaño de fruto, firmeza, ausencia de defectos estructurales, resistencia a enfermedades, rendimiento de procesamiento, y no los aspectos sensoriales de la calidad de la fruta ha provocado la disminución del sabor [8]. Diversas investigaciones han mostrado que la diversidad del jitomate se ha reducido como consecuencia de la domesticación y años de mejoramiento genético, sistema reproductivo y pocas empresas productoras de semillas híbridas. En México existe gran diversidad en formas cultivadas, así como en formas silvestres [1]; siendo posible que genotipos silvestres de jitomate presenten concentración mayor de sólidos solubles respecto a las variedades cultivadas [16], [17]. Sin embargo, existe escasa información acerca de parámetros de calidad postcosecha de genotipos silvestres de jitomate y poblaciones nativas cultivadas. El presente estudio tuvo por objeto evaluar el valor genético en función de parámetros de calidad de una población nativa de jitomate silvestre e híbrido, para determinar su valor comercial.

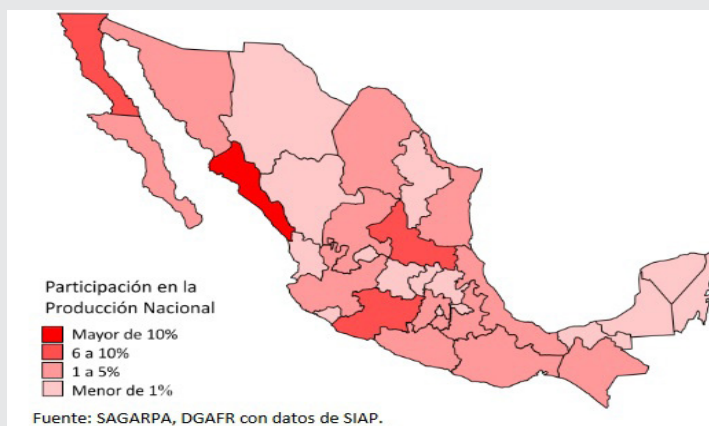


Figura 1. Producción de jitomate en México. Tomado de SAGARPA, DGAFR con datos de SIAP.

MATERIAL Y MÉTODOS

La siembra se realizó con la máquina sembradora semiautomática SARILSE, inventada en el Tecnológico con el objetivo de incrementar la producción y disminuir el tiempo de siembra de los pequeños productores; con la máquina se realizan dos de los principales procesos, el moldeado del sustrato de manera mecánica y la colocación de semillas de forma automática a través de succión y posteriormente la caída libre de las semillas sobre las cavidades de las charolas de polietileno [18].

La semilla nativa se obtuvo en el municipio de San Sebastián Zinacatepec, es conocida con el nombre de jitomate "Riñón" o jitomate criollo o chino y el híbrido "7705" fue adquirido en una empresa de este ramo. Se cultivaron durante el ciclo primavera-verano de 2014 en suelo, con sistema de riego por goteo, en un invernadero cubierto de plástico del Centro de Atención Múltiple (CAM) Xanextli; Institución con alumnos de capacidades diferentes de jardín de niños y primaria en la cual tienen como taller la siembra de hortalizas como jitomate y cilantro, por ello cuentan con un invernadero, el CAM está ubicado en la ciudad de Ajalpan, Puebla. Para el cuidado de las plantas se regaron diariamente dos veces al día con la solución de Steiner (1984) al 100 %. Se realizaron dos tipos de poda: a un tallo y dos tallos. Los frutos analizados estaban sanos y en etapa maduro con color rojo uniforme. Todos los parámetros se evaluaron inmediatamente después de la cosecha.

PH

Se licuaron 10g de tomates enteros con piel y se agregaron 30 ml., de agua destilada; después, el pH se midió directamente con un potenciómetro Conductronic.

Sólidos solubles totales (SST).

Los SST se determinaron agregando directamente dos gotas de jugo del fruto sobre el sensor de un refractómetro marca Atago, con escala de 0-15 %. Se hizo una calibración con agua destilada antes de cada medición.

Acidez titulable (AT).

Se utilizaron frutos enteros con piel, se pesaron 10 gr. de la muestra, se pasó a un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se agregó 50 ml de agua destilada, se le pusieron de 3 a 5 gotas de indicador azul de bromotimol y se tituló con NaOH 1N. Se observó el cambio de naranja a un color azul y se anotaron los ml., gastados de NaOH.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño experimental 2X2, cuya unidad consistió de tres frutos recién cosechados en etapa rojo maduro uniforme de cada variedad y tratamiento (11 plantas c/u).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La siembra de semillas se realizó con la máquina SARILSE, para ello fue necesario llenar las charolas de germinación (200 cavidades) con sustrato peat moss; posteriormente sembrar las semillas del genotipo híbrido (7705) y criollo (riñón), germinar en el vivero del Instituto (figura 2).



Figura 2. Siembra con la máquina SARILSE.

Una vez maduros los frutos se cosecharon, tomando un promedio de 3 muestras por cada uno de los tratamientos y se llevaron a analizar al laboratorio para conocer la concentración de acidez titulable, sólidos solubles y pH (tablas 1, 2 y 3), obteniendo los siguientes resultados (promedios):

Después de haber realizado el estudio, se concluye que una vez sembradas las semillas con la máquina SARILSE y germinadas en vivero, es necesario conducir el cultivo en invernadero con una densidad de plantación de 3 plantas/m², utilizar variedad criolla "riñón" y podar a un tallo, programar el riego y fertilización en dependencia de las condiciones ambientales para incrementar la productividad y mejorar los contenidos de sólidos solubles [20], acidez y pH [19] que se ven reflejados en la calidad de los frutos: apariencia física, sabor dulce-suave, carnosos, jugosos, harinosos, de textura crujiente; siendo finalmente agradables al gusto del consumidor.

Tabla 1. Concentración de acidez titulable

ACIDEZ TITULABLE	Tipo de poda	
Variedad	Un tallo	Dos tallos
Riñón	1.0	0.9
7705	0.8	1.0

Elaboración propia.

Tabla 2. Concentración de sólidos solubles

SÓLIDOS SOLUBLES	Tipo de poda	
Variedad	Un tallo	Dos tallos
Riñón	5.2	4.8
7705	5.1	5.0

Elaboración propia.

Tabla 3. Valores de pH

pH	Tipo de poda	
Variedad	Un tallo	Dos tallos
Riñón	4.4	4.3
7705	4.3	4.3

Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Jones, J. B; Jones, J. P; Stall, R. E; Zitter, T. A. 2000. *Plagas y enfermedades del tomate*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 2-3.

[2] Rick, C. M. 1986. Germoplasm resources in the wild tomato species. *Acta Horticulturae* 190: 39-47.

[3] Jones, J. B. 1999. *Tomato plant culture*. Ed. CRC Press. 1990 p. Boca Ratón, Florida, USA. 199 p.

[4] Bombelli C. E. y Wright E. R. 2006. Efecto del bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre *Botrytis cinerea* en poscosecha. *Ciencia e investigación social*. 33: 197- 203.

[5] FAOSTAT. 2008. Dirección de Estadística. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> .

[6] Macias, M. A. 2003. Enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales. *Región y sociedad*. 15: 103-151.

[7] FINANCIERA RURAL. 2009. *Monografía del tomate rojo*. Financiera rural: Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. 3.

[8] Lecomte L., Saliba-Colomba V., Gautier A., Gómez-Jiménez M. C., Duffé P., Buret M., y Causse, M. Fine mapping of QTLs of chromosome 2 affecting the fruit architecture and composition of tomato. *Molecular breeding*. 13: 1-14.

[9] Anza M. y Riga P. 2007. Efecto de la variedad y de la época de cultivo en la calidad organoléptica y nutricional del tomate. XI Congreso SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas). *Actas de Horticultura* 48:209-212.

[10] Gómez, P.A. y Camelo, 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*. 20:38-43.

[11] Rosales V. M. A., 2008. Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Granda, España.231 p.

[12] Chaib J., Devaux M. F, Grotte M. G. Robino, K. Causse M, Lahaye M. and Marty I. 2007. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*. 58: 1915-1925.

[13] Carrari F. and Fernie A. R. 2006. Metabolic regulation underlying tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*. 57: 1883-1897.

[14] Causse M., Saliba-Colombani V., Lecomte L., Duffé P. Rousselle P. and Buret M. 2002. QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany*.53: 2089-2098.

[15] Sahlin, E; Savage, G. P; Lister, C. E. 2004. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 635-647.

[16] Young, T. E., J. A. Jovic, G. Sullivan. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. *American Journal of Horticultural Sciences* 118: 286-292.

[17] Martínez B., E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37: 363-370.

[18] Sánchez, Z, S., & Santos, L. (2012). *Tecnificación en la siembra de jitomate*. Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, Ingeniería Industrial. Ajalpan, Puebla: Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan.

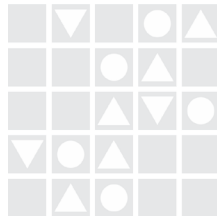
[19] Cuartero, J., and R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.

[20] Turhan, A., and V. Seniz. 2009. Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *Afr. J. Agric. Res.* 4: 1086-1092

Matriz de calidad de la disposición de residuos de cantera en Huichapan Hidalgo México

RESUMEN: La industria de la cantera en la región de Huichapan Hidalgo México, ha generado como residuos: segmentos de piedra y lodos, tras los procesos de corte y laminado de la materia prima; el manejo inadecuado y la mala disposición que se ha brindado a estos residuos, ha provocado en la actualidad contaminación paisajística. Para disponer de éstos, se busca que derivado de análisis químicos y granulométricos en los polvos, en conjunto con aplicaciones emprendidas en los ámbitos nacional e internacional a situaciones similares, se determine la mayor relación entre las expectativas de los canteros y las características en los residuos que mejor las satisfagan, estableciendo así una alternativa productiva, eficiente y altamente rentable para la empresa y la sociedad. Para ello se planteó la elaboración de la matriz de la calidad de la disposición de éstos residuos, en la cual se relacionaron los requerimientos de los canteros, con las aplicaciones encontradas, con forme al contenido químico, para satisfacerlos, determinando alternativas viables para disponer del desperdicio.

Palabras clave: contaminación paisajística, labrado de cantera, matriz de calidad, polvos, residuos.



Colaboración

Rebeca Guadalupe Ortiz Mena; Daniel Napoleón Gómez Balbuena; José Antonio Rosales Álvarez. María Guadalupe González García, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

ABSTRACT: The quarry industry in the region of Hidalgo Mexico Huichapan, It has generated as waste: stone segments and sludge, after the cutting and laminating processes raw material; inadequate management and poor provision has been given to this waste, contamination has caused currently landscape. To have these, it is intended that derived from chemical and granulometric analysis in powders, together with applications undertaken at the national and international levels to similar situations, the highest ratio between the expectations of the stonemasons and characteristics determined in the waste that best meet, thus establishing a productive, efficient and highly profitable alternative for the company and society. For this matrix making quality of these waste disposal arises, in which the requirements of the beds are related, with the applications found with the chemical content form, para satisfacerlos, determining viable alternatives to dispose of waste.

Keywords: pollution landscape, carved quarry, quality matrix, powders, waste.

INTRODUCCIÓN

En la industria canterera de Huichapan Hidalgo México, dedicada a la extracción, acabado y comercialización de piedra cantera, se obtienen como residuos “lodos”, tras los procesos de corte y detallado de la materia prima; la acumulación paulatina de estos lodos, ha provocado que las empresas reduzcan sus espacios productivos, al tener que destinar un espacio como almacén de residuos, y que al agotarse tal espacio, se vean en la necesidad de depositar los polvos en terrenos valdíos que podrían ser mejor aprovechados; también son vertidos al lado de carreteras, generando una imagen negativa de la región. En la actualidad se han emprendido algunas acciones sin tener resultados positivos, esta situación es consecuencia del desconocimiento que se tiene en torno a la composición química que tienen los residuos y por ende cual es la forma adecuada de aplicarse.

Fundamentos

Cantera. Bajo la denominación de piedra natural, se incluyen aquellos productos de naturaleza pétreo utilizados tradicionalmente por el hombre en la industria de la construcción.[11]

Residuos del proceso de transformación de la cantera: En México, la acción minera es una de las actividades económicas de mayor tradición, la cual se ha desarrollado por casi cinco siglos. Es importante mencionar que esta actividad se ha beneficiado con la evolución tecnológica. Sin embargo, esta actividad también conlleva un problema de actualidad, la acumulación paulatina de residuos o segmentos de piedra, derivados de la extracción, corte y labrado del material, y lodos, tras los procesos de corte y laminado de la cantera [9]. El manejo inadecuado y la disposición de estos residuos, ha generado problemas de tipo ambiental en todo el mundo. Entre los cuales se pueden mencionar la falla en estructuras de retención (diques) de los depósitos de los residuos (presas y/o embalses), ocasionando por su naturaleza (tamaño de partícula, plasticidad y contenido de agua) avalanchas que se desplazan a las partes más bajas de valles y algunas veces se depositan en los cauces de los ríos [5]

Clasificación de los polvos de piedra cantera como residuos: A partir de la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los residuos de la construcción son considerados como residuos de manejo especial; textualmente su definición es: "Residuos de Manejo Especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos." [2]

Gestión ambiental de residuos de piedra cantera: Desde el punto de vista técnico, el aprovechamiento de estos residuos, es perfectamente viable, teniendo sus principales aplicaciones en la industria de los áridos para la construcción, sin olvidar la industria cerámica, y la de los productos prefabricados de cemento como los terrazos, tejas de hormigón, etc. [7]

Al respecto, el proceso vitro-cerámico se perfila como una alternativa real y útil para el reciclado de estos residuos. [1]

En el ámbito nacional destaca el trabajo realizado en la Universidad de Guanajuato quien realizó un estudio sobre la composición mineralógica de las rocas piroclásticas del Eje Volcánico Transmexicano y cómo afectan éstas a las propiedades físicas tales como dureza, color, cohesión y porosidad en las piedras de cantera. [10]

Piedras Campaspero S.A., realizó estudios de valorización de sus residuos, resultando en acciones para la venta de los subproductos que son considerados estériles inertes y han servido para restauración topográfica de la cantera. [8] La industria minera de metales, ha sido transformada

de manera considerable por dos desarrollos técnicos independientes: la proporción en aumento de elementos de desecho en los materiales con los que se alimentan las operaciones metalúrgicas ha transformado parcialmente la extracción de metales en una industria de reciclaje, y el empleo de microorganismos en la extracción de metales de rocas que albergan el mineral ha convertido la minería de metales en una industria apoyada biológicamente. [6]

Cuando existe la posibilidad de dar aprovechamiento industrial y por ende económico a un "residuo", se establece un modelo de investigación con la finalidad de encontrar las herramientas necesarias para la adecuación de los procesos que servirán para reincorporar los residuos como parte de la materia prima en la elaboración de un nuevo producto [12]

No obstante, combinar en forma sostenible el desarrollo industrial y la calidad ambiental, cumpliría sin duda alguna, el reto que enfrentan muchas empresas que en años recientes han hecho toda clase de esfuerzos e investigaciones por mantener este equilibrio [9]

Herramienta de calidad: Estratificación

Técnica utilizada para dividir un universo de datos en grupos homogéneos de datos recolectados acerca de algún problema o evento. Incluye la revisión de información del proceso, categorización en diferentes niveles y análisis para observar los diferentes procesos que interactúan [3]

Hipótesis

La implementación de la matriz de la calidad, genera información apropiada sobre la disposición de los residuos de explotación de piedra cantera.

Objetivo general

Desarrollar la matriz de la calidad a partir de las expectativas de los canteros en relación a las aplicaciones viables del residuo, generando la información necesaria para disponer de los residuos de explotación de piedra de cantera en Huichapan Hidalgo, México.

Particulares

Realizar la toma de muestras en los lotes de residuos de las empresas cantereras para su caracterización química y granulométrica.

Estratificar las aplicaciones del tipo de residuo en cuanto a sus características físico-químicas para encontrar la mayor relación entre estas y las expectativas de los canteros.

Definir las opciones sustentables que propicien de acuerdo a las propiedades de los residuos de explotación de piedra cantera, la mejor disposición de los mismos en Huichapan Hidalgo, México.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio:

La industria de la cantera, se dedica a la extracción, procesamiento y comercialización de cantera y otras piedras naturales con el fin de elaborar productos de alta calidad, transformando la roca en productos que crean ambientes agradables para sus clientes, localizada en Huichapan Hidalgo, México, se encuentra asentada en la porción norte del eje neovolcánico, caracterizada por la presencia de numerosos conos piroclásticos. [4]

La figura 1 indica la ubicación geográfica de la industria de la cantera en Huichapan Hgo. México.

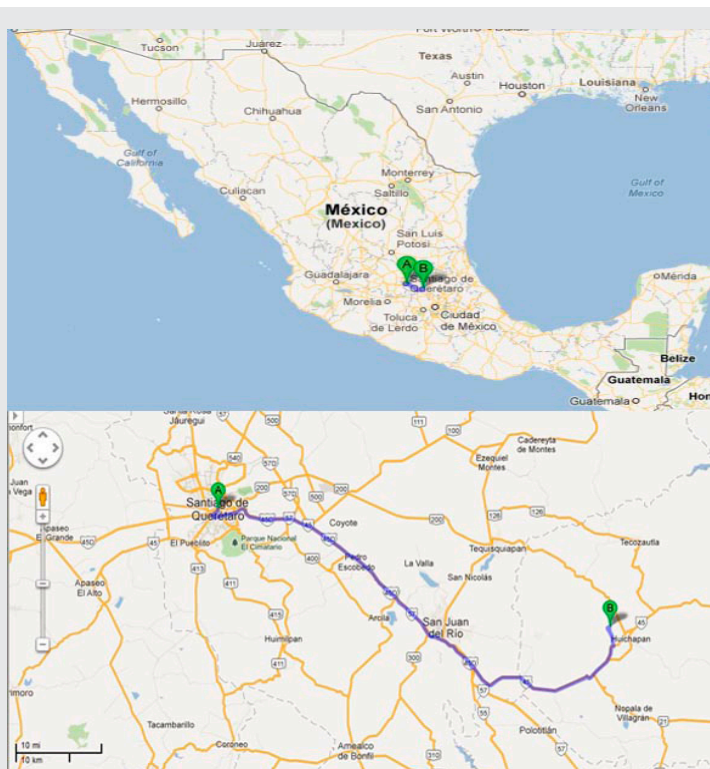


Figura 1 Ubicación geográfica Canteras Huichapan Hgo.

La figura 2, muestra la imagen del residuo al cual se pretende dar disposición Económico-Ambiental.



Figura 2 Residuos del trabajo de la cantera

Muestreo y preparación de muestras

Se realizó un muestreo aleatorio en el lote de depósito de los residuos conforme a lo establecido en la Norma oficial mexicana NOM-AA-104-1988.

Preparando 10 muestras, las cuales para su primer análisis fueron deshidratadas en mufla a 50 °C aproximadamente, morteradas y tamizadas en malla 120*10-8 m (120µ), especificaciones necesarias para introducir las muestras en el equipo de difracción de rayos X (DRX).

Análisis de composición elemental

La caracterización mineralógica para la determinación de especies minerales primarias (asociaciones minerales del yacimiento), se realizó por difracción de rayos-X (DRX), en el laboratorio de química del centro de Investigaciones multidisciplinario, campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Descripción del equipo:

Bruker D8-Advance con espejo Göebel (muestras no planas), con cámara de alta temperatura (hasta 1173°K), un generador de rayos-x KRISTALLOFLEX K 760-80F, (Potencia: 3000W, Tensión: 20-60KV y Corriente: 5-80mA) y un Seifert modelo JSO-DEBYEFLEX 2002 que está provisto de un cátodo de cobre y un filtro de níquel.

Análisis de concentración de los minerales

Los análisis químicos de sólidos (polvos), se realizaron en el Centro Nacional de Metrología (CENAM) en la Ciudad de Querétaro, Qro., México, el equipo utilizado fue un analizador de Fluorescencia de Rayos X,

Descripción del equipo:

Cuenta con cristales analizadores, trabaja con un tubo con ánodo de Rodio, dependiendo del elemento y su concentración es el cambio de potencia que se administra (KV-mA)

Análisis Granulométrico

El análisis de granulometría se realizó en el laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería de la Universidad autónoma de Querétaro.

Descripción de los materiales:

Juego de mallas, báscula de 2.5 Kg., regla de cuarteo, cucharón de ½ Kg., brocha, charolas y cápsulas, horno, flanderas, vidrio de reloj, vaso de aluminio, varilla de punta de bala, cubeta, y pizeta.

Técnicas de calidad empleadas

Estratificación

Para localizar las mejores pistas para resolver el problema se dividió el universo de información recabada en esta investigación en grupos homogéneos, categorizando las diferentes aplicaciones del tipo de residuo, con lo que se encontraron semejanzas entre las características químicas y físicas de nuestros polvos con algunas aplicaciones que existen.

Despliegue de Función de la Calidad (QFD)

El objetivo de aplicar esta metodología fue construir un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del cliente (Canteros y medio ambiente) en requisitos de diseños del producto (Aplicaciones).

Considerando como voz del cliente a los canteros, el diseño de la casa de la calidad se basó en los requerimiento de éstos para la disposición de sus polvos, tras una reunión con los canteros en la región, se elaboró una lista de las principales características (CTQ) que desean de un posible producto a base de sus polvos, cada uno asignó un nivel de grado de importancia (DOI) (0,1,3,5) de menor a mayor, posteriormente como características de calidad (RC) se enlistaron las aplicaciones de los residuos presentes en esta investigación, y que se encuentran estratificadas, y se relacionaron con la siguiente numeración: 0,1,3,5, de menor a mayor relación entre la demanda del cliente y la aplicación del residuo, con esto fue posible descartar los usos que no corresponden a las características según el resultado del análisis de FRX de los polvos y la granulometría, y considerar cual característica es la de mayor importancia para la aplicación.

Para identificar cuál de las opciones mostradas en la estratificación realizada es la más viable a las condiciones de las empresas y el aspecto del residuo, se contó con la elaboración de la matriz de calidad calculando en ella la relación entre los requerimientos de los canteros y las posibles aplicaciones conforme al tipo de compuestos en los residuos, y con ello determinar la mayor relación.

Los cálculos en la Matriz de calidad ocuparon las siguientes ecuaciones:
Grado de importancia:

$$DOI = \sum_{i=1}^{14} CTQ \quad Ec(1)$$

Peso de la calidad:

$$DOI = \sum_{i=1}^{14} CTQ \quad Ec(2)$$

Peso de la Característica:

$$= SUMAPRODUCTO(Matriz DOI, Matriz QW) \quad Ec(3)$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La figura 3, muestra el análisis por DRX, los picos más altos corresponden al SiO₂:

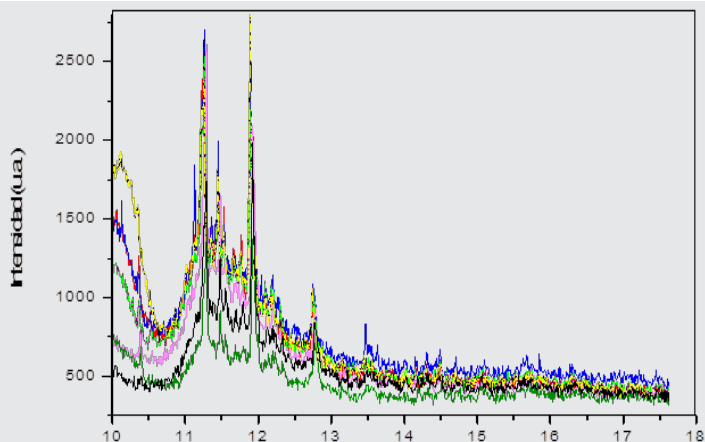


Figura 3 Análisis por DRX

Los resultados en composición en peso de las sustancias presentes en las muestras se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Análisis por DRX

Fracción masa % (w/w)	
Compuestos	Media de las muestras
SiO ₂	75.9579
Al ₂ O ₃	10.7956
K ₂ O	8.5099
CaO	2.4279
Na ₂ O	0.9631
TiO ₂	0.4791
SO ₃	0.323
MgO	0.1486

El análisis granulométrico y la determinación de los límites líquido y plástico realizados a las muestras, proporcionó el siguiente resultado:

Identificación de campo: material con baja tenacidad nula y dilatancia lenta, presenta muy baja resistencia en estado seco. No se percibe olor. El color del material se observa en tonos claros del café al blanco.

Clasificación SUCS

Observaciones: Suelo limoso o polvo de roca con poco contenido de arcilla inorgánica ligeramente plástica, por debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad, de baja plasticidad con alto contenido de finos. Más del 90% del material pasa la malla 200. LL de 24.98, LP de 21.25 e IP = 0.4 en promedio.

Clasificación: ML Limo inorgánico de baja compresibilidad.

La información recabada para la disposición de residuos del trabajo de la piedra natural en los ámbitos nacional e internacional, fue estratificada y se muestra el figura 4:

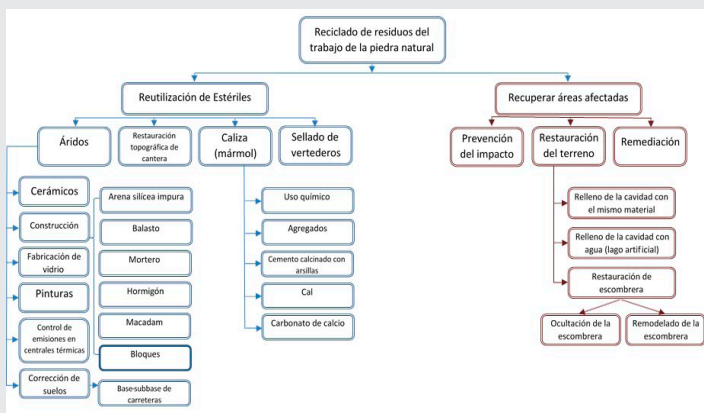


Figura 4 Estratificación

En la figura 5, se presentan los resultados de la matriz de calidad.

El material de desecho muestra un porcentaje de 76% en peso de SiO₂, Dióxido de Silicio, normalmente distribuido en el lote.

CTQ	DOI	BENEFICIO INDUSTRIAL: REUTILIZACIÓN DE ESTÉRILES														BENEFICIO AMBIENTAL: RECUPERACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS														Peso de la calidad (t)	Peso de la calidad normalizado	valor punt
		Arena sílica	Frutera	Centro de retención en vertederos	Fabricación de bloques	Hormigón	Mortero	Cerámicos	Balasto	Macadam	Base-subbase de carreteras	Caliza	Ladrillo	Blanca de la variedad	Restauración topográfica de cantera	Relleno de cavidad con el mismo material	Relleno de cavidad con agua (lago artificial)	Restauración de escombrera	Ocultación de la escombrera	Remodelado de la escombrera	Prevención del impacto	Restauración del terreno	Remediación	Prevención del impacto	Restauración del terreno	Remediación	Prevención del impacto	Restauración del terreno	Remediación			
Resistencia	65	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Adecuado a la construcción	55	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Adecuado a la construcción	70	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Costos de inversión accesibles	55	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Atractivo	45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Resistente	45	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
No genera residuos en proceso	43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Beneficio ecológico	52	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Combustible en producción	42	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Aplicación en el área de la construcción	49	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Novedad	35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1749	1571	1515	1585	1593	1521	1483	395	1445	1505	413	572	782	1977	1777	1789	1677	1677	1887	1887	30670	100									

Figura 5 Matriz de la calidad de la disposición de los residuos del trabajo de la piedra cantera

Existen aplicaciones en beneficio industrial como por ejemplo fabricación de vidrio, restauración de canteras, pinturas, etc., que se adecuan más por el contenido de dióxido de silicio presente, entre otras que muestran la estratificación y el QFD, de igual forma en beneficio del medio ambiente se muestran las acciones propuestas tanto para la remediación del daño como para la prevención del impacto.

La implementación de la matriz de la calidad, generó información apropiada sobre la disposición de los residuos de explotación de piedra cantera.

El implementar esta herramienta (QFD) permitió correlacionar variables cualitativas con cuantitativas, y tras los cálculos correspondientes obtener el mayor grado de relación entre éstas, sin necesidad de llevarlo a la práctica; lo que con una herramienta como el DOE (Diseño de experimentos). Nos llevaría primero a ejecutar en la práctica el experimento, para finalmente analizar el grado de relación entre las variables mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Allan Astrup, Jensen, Leif, Hoffman y Birgitte T., Møller. *Life Cycle Assessment. Guide to approaches, experiences.* Dinamarca: European Environment agency, 1997.

[2] Cámara de Diputados del H. consejo de la unión. *Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos.* México: Diario Oficial de la federación de México, 2003.

[3] Evans, R James, y M William Lindsay. *The Mag-nament and Control of Quality.* Thompson, 2005.

[4] Jaramillo, Miguel A. «canterasjaramillo.com.» 03 de Agosto de 2004. <http://canterasjaramillo.com/yacimientos.html> (último acceso: 29 de Noviembre de 2011).

[5] Kelly, E G y Spottiswod, D J. *Introducción al procesamiento de minerales.* México: Limusa, 1990.

[6]. Labban, M. (2014). *Deterritorializing Extraction: Bioaccumulation and the Planetary Mine.* *Annals of the association of american geographers*, 560-576.

[7] López González-Mesones, Fernando. *La Piedra Natural: El recorrido de los minerales.* Madrid: Consejería de economía e innovación tecnológica, 2007.

[8] Melgarejo, Juan Carles, Joaquín A Proenzal, Salvador Galil, y Salvador Llovet. «Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera.» *Boletín de la sociedad Geológica Mexicana*, 2010: Volúmen 62.

[9] Moreno, R. *Caracterización mineralógica y química de desechos minerales (jales) aplicada a la recuperación de valores económicos en Zimapán y Pachuca Edo. de Hidalgo*. México: Instituto Politécnico Nacional, 1998.

[10] Ortiz Mena, Rebeca Gpe. *Técnicas de calidad aplicadas en la disposición de los residuos del trabajo de la ignimbrita riolítica*. Querétaro: UAQ, 2012.

[11] Solís, A. *Explotación de Cantera de piedra caliza*. México, D.F.: Mc Graw Hill, 1995.

[12] Vadillo Fernandez, L, C López Jimeno, J González Cañibano, A González Santos, E Navarro Moreno, y A Vazquez García. «Manual de reutilización de residuos de la Industria Minera, Siderometalúrgica y Termoeléctrica.» *Ingeniería Geoambiental*. ITGME, 1995.



Tierra, Medio Ambiente y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Análisis del potencial y velocidad de corrosión en concretos reforzados modificados con Microsilice

RESUMEN: En la presente investigación se evalúa el comportamiento electroquímico en especímenes de concreto reforzado, por lo que serán expuestos en agua con NaSO_4 , así se determinara progresivamente velocidades y potenciales de corrosión.

Se elaboraron vigas de concreto, en los cuales se colocaron barras de acero (AISI 1018) y acero galvanizado, dichas vigas se estudiarán mediante procesos de técnicas electroquímicas de corrosión. El diseño de la mezcla se elaboró con el método ACI 211.1. Antes se realizaron pruebas de los agregados para conseguir las características de acuerdo a su normativa ONNCCE (NMX-111-ONNCCE-2014). El proceso de curado de los especímenes de acuerdo a su estudio establecido con la normativa ONNCCE (NMX-C-159-ONNCCE-2004). Las 2 mezclas elaboradas de concreto con un diseño de $f'c$: 300 kg/cm^2 empleando un tipo de cemento CPC 30R, después de la etapa de curado fueron puestos en un recipiente con agua contaminada con 5% de NaSO_4 para poder ser evaluados.

La utilización de una puzolana artificial (Microsilice), se utilizara con el fin de contribuir en al concreto resistencia, y durabilidad a diferentes períodos, tomando en consideración 10 meses de estudio. Así se reduce la cantidad de cemento en la obra y se logra la reducción del mantenimiento en la estructura en su período de vida útil.

Palabras clave: concreto, termodinámica, corrosión, sulfato de sodio, acero, microsilice, acero, microsilice.



Colaboración

Viveros Soto Irving Edgardo, González Moreno Humberto Raymundo, Sandoval Herazo Luis Carlos; De la Cruz de la Cruz Janeth; González Sedano Ignacio, Instituto Tecnológico Misantla, Sandoval Herazo Luis Carlos, Colegio de Veracruz

ABSTRACT: In the present investigation evaluates the electrochemical behavior of reinforced concrete specimens, which will be exhibited in water with NaSO_4 , so gradually speeds and corrosion potential is determined.

Concrete beams, in which steel bars (AISI 1018) were placed and galvanized steel were prepared, said beams processes will be studied by electrochemical corrosion techniques. The mix design was developed with ACI 211.1 method. Before aggregate tests were conducted for the characteristics according to their rules ONNCCE (NMX-111-ONNCCE-2014). The curing process of the specimens according to their study established the rules ONNCCE (NMX-C-159-ONNCCE-2004). 2 mixtures made of concrete with a design $f'c$: 300 kg/cm^2 using a type of cement CPC 30R, after the curing step were placed in a container with water contaminated with 3% and 5% to NaSO_4 be evaluated.

Using an artificial pozzolan (microsilica), was used in order to contribute to concrete strength and durability to different periods, considering 10 months of study. So the amount of cement is reduced in the work and reducing maintenance in the structure is achieved in its useful life.

Keywords: concrete, thermodynamics, corrosion, Sodium Sulfate, steel, microsilica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y desde hace tiempo, el material de construcción más utilizado es el concreto, que junto con las varillas de acero, forman el sistema conocido como concreto reforzado. Las estructuras de este sistema, son definidas como estructuras muy duraderas y que requieren de muy poco mantenimiento. Sin embargo, uno de los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad estructural de obras civiles como: puentes, túneles, carreteras, muelles, etc., de un país, es la corrosión del acero de refuerzo [1] [2].

Los costos económicos a causa del mantenimiento prematuro en estructuras de concreto reforzado debido a la corrosión del acero de refuerzo son cuantiosos para la economía de los países tanto industrializados como emergentes, costos que llegan a ser de miles de millones de dólares en reparaciones de puentes de concreto reforzado en E.E. U.U. sin contar el deterioro de otro tipo de infraestructura civil como son los muelles, los edificios, hospitales, nucleoelectricas, presas entre otras estructuras [3-6].

Con el incremento de la construcción y el propósito de suministrar estructuras más resistentes reduciendo la corrosión en las edificaciones, es de suma necesidad conocer la evaluación del acero desde el enfoque de corrosión, es un aspecto de vital importancia para determinar la vida útil de los aceros en la construcción.

La gran problemática es el aceleramiento de la corrosión en el concreto armado que es el más usado en la construcción, provocando severos daños en la estructura.

En los últimos años, numerosas estructuras de hormigón armado en todo el mundo han sufrido un rápido deterioro. Por lo tanto, la durabilidad de las estructuras de hormigón, especialmente los expuestos a ambientes agresivos, es motivo de gran preocupación [7].

Por ello la implementación de nuevas tecnologías en el ámbito de la construcción en las estructuras de concreto armado ayudan a poder reducir el gran problema de la corrosión, como es el caso de las puzolanas con la implementación de humo de sílice en las estructuras de concreto reforzado ofreciendo una vida útil mayor a la que se tiene sin la implementación de esta puzolana.

La utilización de humo de sílice como reemplazo del cemento se reduce la permeabilidad del concreto y la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, particularmente en presencia de cloruros (Khan y Siddique, 2011) [8].

Para alcanzar altas resistencias a compresión y bajos coeficientes de difusión de cloruros se sugiere el uso de porcentajes entre 5% y 10% de la masa del cemento [9-10].

Por lo tanto mediante el potencial de corrosión que contiene el metal se puede relacionar la cantidad de cloruros, y a su vez determinar un proceso electroquímico [11].

La corrosión electroquímica del acero en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el acero además del contacto con metales menos activos así como

también de las heterogeneidades en el medio químico o físico que rodea a la estructura[11]. La corrosión del acero de refuerzo en el concreto es una de las principales causas a las que se debe la reducción de la vida de servicio de las estructuras[12-13] además de que genera incertidumbre en la población que usa dichas estructuras, como pueden ser puentes, carreteras o edificaciones. Sin embargo el costo de mantenimiento de una estructura de concreto reforzado se elevaría por la pérdida de resistencia y estabilidad dentro de la estructura como consecuencia poniendo en riesgo la seguridad de las personas dentro de la edificación.

La evaluación de la corrosión es una de las medidas para poder conocer el daño del acero en el concreto armado de la edificación, así como para prever la corrosión dentro de las estructuras. Los factores que la corrosión son la dosificación; la compactación y la homogeneidad del concreto: el espesor del recubrimiento de concreto; el estado superficial de la varilla y humedad ambiental. Es por ello que el concreto debe ser sólido, homogéneo, compacto, resistente y poco poroso, para garantizar la protección de la varilla de refuerzo contra las acciones agresivas de los agentes externos [14].

Hoy en día la influencia de la sustentabilidad es de suma importancia, y con ello el incremento de puzolanas artificiales o naturales, incrementan la seguridad y confianza de la sociedad en el mundo. Además se ha demostrado que estos materiales puzolanicos también benefician al concreto para aumentar sus propiedades como protección contra la corrosión en el acero de refuerzo [15].

El concreto sustentable en la actualidad es de suma importancia debido a que las grandes construcciones desde edificios, puentes y demás obras civiles se realizan con este material, por lo tanto en este proyecto se hace mención mediante una puzolana artificial la cual es el humo de sílice (Microsilice).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los principales parámetros a considerar para la realización de la presente investigación son:

Mezcla de concreto con $f'c=300\text{kg/cm}^2$

Cemento portland 30 R y la adición de humo de sílice al 20% al cemento

Acero 1018 y acero galvanizado con un diámetro 3/8"

2 medios de exposición (agua convencional y 5% de NaSO_4)

Monitoreo de potenciales e interpretación de acuerdo a Norma ASMT C876-09 [16].

MATERIALES Y METODOS

Para la presente investigación se elaboraron 12 especímenes de concreto reforzado, utilizando en la ela-

boración de la mezclas el CPC 30R, ambas mezclas fueron diseñadas por el método ACI 211.1 para poder obtener una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, como material de refuerzo se utilizaron 2 tipos de aceros, acero al carbono AISI 1018 y un acero galvanizado los cuales se colocaron en el concreto.

La investigación tiene como finalidad analizar los términos de evaluación de varillas de acero 3/8" AISI 1018 y galvanizada. Con respecto a esto se realizaron especímenes con un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ y expuestos en un ambiente corrosivo de NaSO_4 en sol. 5%.

La matriz de experimentación se realizó mediante las variables que presentaron los materiales en su caracterización como puede ser: $f'c$ del concreto, mezclas del control y la adicción de humo de sílice al CPO 30R.

A continuación se mencionan las variables en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Matriz Experimental

Concreto $f'c$	Cemento	Acero	Medios de exposición	N° Esp.
300kg/cm ²	CPC 30R	AISI 1018 (3/8)	Agua	
	CPC 30R (80%) Y Humo de Sílice de (20%)	Galvanizado (3/8)		
300kg/cm ²	CPC 30R	AISI 1018 (3/8)	Sol. Al 3% de NaSO_4	
	CPC 30R (80%) Y Humo de Sílice de (20%)	Galvanizada (3/8)		
			Sol. Al 5% de NaSO_4	
1	2	2	3	12

Caracterización de materiales

Los materiales seleccionados fueron caracterizados, para poder obtener las propiedades de cada una de los agregados con base a la normativa ONNCCE (NMX-C-077-1997-ONNCCE).

Para su realización de la dosificación por el método del ACI 211.1, así poder determinar las cantidades de material para elaborar una viga de control y una mezcla de Microsilice en sustitución al cemento de 20%; la siguiente tabla muestra las cantidades establecidas:

Tabla 2.2 Dosificación de la mezcla de concreto por m³.

Contenido(kg/m ³)	$F'c = 300 \text{ kg/m}^3$
Cemento	355
Agua	185
Agregado Grueso	936
Agregado Fino	994

Las varillas de acero normal y galvanizado fueron limpiadas y tratadas para retirar cualquier impureza que en ellas estuviese presente, posteriormente se delimito el área con la que se evaluaría y al resto de la varilla se le colocó un thermofit de 1/2" de diámetro, con 4 cm de largo para poder aislar y saber cómo fue el avance de la corrosión en la varilla.



Figura 2.1. Tratamiento de Varillas con Thermofit.

La realización del proyecto por dos tipos de varillas se consideró de acuerdo a la serie galvánica típica, donde el proceso de corrosión es basada en la pureza de cada acero. No obstante, las varillas AISI 1018 y galvanizada estarán sometidas a las mismas acciones, tratamiento e incluidas en las vigas que se someterán en los medios anteriormente descritos.

Tabla 2.3 Serie Galvánica típica. [9]

Noble	Acero inoxidable 18/8	Pasivo
	Cu	"
	Bronce	"
	Aluminio	"
	Ni	Activo
	Latón	"
	Naval	"
	Sn	"
	Acero inoxidable 18/8	"
	Hierro colado	"
	Hierro forjado	"
	Acero al Carbono	"
	Al	"
	Zn	"
Base	Mg	"

Características y Especificaciones de los especímenes de estudio

Utilizando vigas de metal con un largo de 50 cm y un ancho 15 cm, se introdujeron a ellas un separador en la mitad, el cual fue elaborado de por material de Triplay.

Con el cual se fabricaron 8 tablas de 7 cm de ancho por 12 cm de largo para poder introducir las varillas en el molde y esta funcionaron como separador en cada espécimen.

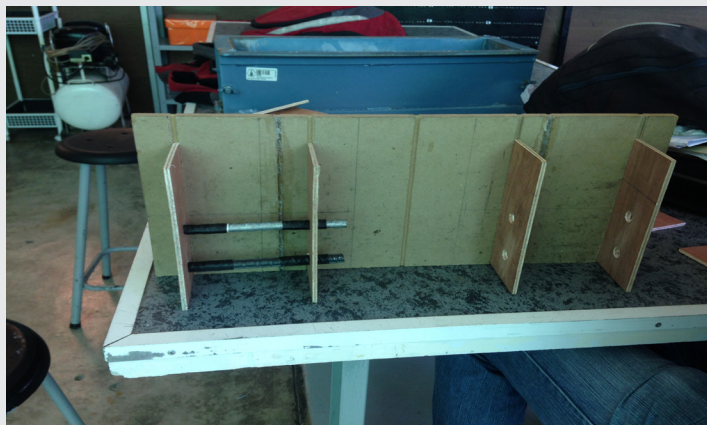


Figura 2.2. Preparación de material utilizado en la fabricación de vigas.

Se diseñaron vigas con las siguientes dimensiones: 7cm de ancho * 14cm de largo y 12cm de altura, con 2 agujeros a una equidistantes de 4cm para la colocación de las varillas de 3/8" (AISI 1018) y galvanizada.

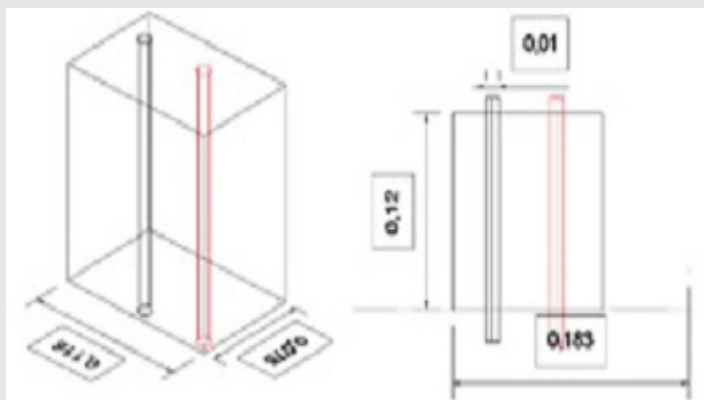


Figura 2.3. Isométrico de dimensiones de vigas.

Después de la preparación del material se procedió a la elaboración de las mezclas de concreto, la mezclas se elaboraron en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, se realizaron las respectivas pruebas establecidas en la Normativa ONNCCE (NMX-C-159-ONNCCE-2004) para la elaboración de especímenes de concreto, además se elaboró la prueba de temperatura obteniendo 26°C, además de un revenimiento de 2.5 cm., que cumple con la elaboración de la mezcla.

Las vigas realizadas se descimbraron a las 24 horas después de su fabricación para poder colocarlas en curado en donde se sumergieron durante 28 horas de acuerdo a su normativa (NMX-C-403-ONNCCE-1999) la cual recomienda colocar en curado de forma inmediata después de su descimbrado.

Cabe destacar que las vigas de experimentación no se encuentran sumergidas al 100%, ya que el acero de refuerzo en la parte superior no tiene contacto con el agua.



Figura 2.3. Elaboración de vigas de concreto reforzado.

Los concretos reforzados con acero AISI 1018 y otra de Galvanizado. Las vigas se colocaron en los medios descritos en la tabla 2.1



Figura 2.3.1. Descimbrado y colocación de curado de los especímenes de concreto.

Técnicas electroquímicas de corrosión

Se realizaran las pruebas técnicas de corrosión para poder medir parámetros de corrosión en el acero de refuerzo.



Figura 2.4. Vigas de concreto en experimentación y curado.

Potencial de corrosión (E_{corr})

Es el potencial eléctrico de un metal, relativo a un electrodo de referencia, medido bajo condiciones de circuito cerrado.

La importancia de los potenciales de corrosión es notable, ya se puede predecir la vida útil de la estructura. Para el procesamiento de dicha técnica de corrosión antes de ser colocados los conductores eléctricos se deberán limpiar con una lija la zona invadida por el Óxido Ferroso, para evitar alteraciones en la medición.



Figura 2.5. Medición de potenciales de corrosión.

Tabla 2.4 Criterios de evaluación

Potencial de corrosión (mV)	Probabilidad de corrosión
$E_{corr} > -200\text{mV}$	10% de probabilidad de corrosión
$200\text{ mV} > E_{corr} > -350$	Incertidumbre
$E_{corr} > -350\text{ mV}$	90% de probabilidad de corrosión

Velocidad de corrosión (I_{corr})

Una vez implementada la técnica de potenciales (E_{corr}), se procede a relacionar la probabilidad de corrosión en las distintas vigas de experimentación, así como los dos tipos de varillas de forma mensual.

Se llama velocidad o intensidad de corrosión (I_{corr}) a la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo.

$$Rp = \frac{B}{I_{corr}}$$

En base a las técnicas de corrosión propuestas en esta presente investigación, se puede proponer una vida útil de la estructura de acuerdo a un medio de

agua (H_2O) y un medio agresivo NaSO_4 al 5%. Para evaluar la densidad de corrosión en las mezclas de control y Microsilice al 20% se tomara en cuenta el criterio que propone el manual de inspección y rehabilitación de estructura de hormigón, donde se utilizan cuatro rangos de Evaluación.

Tabla 2.5 Criterios de evaluación de I_{corr} (Red durar, 1997)

$I_{corr}(\mu\text{A}/\text{cm}^2)$	Nivel de corrosión
<0.1	Despreciable
$0.1-0.5$	Moderado
$0.5-1$	Elevada
>1	Muy elevada

Las pruebas de velocidad de corrosión se realizarán mediante el aparato Potenciostato/galvanostato, conectado a una computadora con el software de procesamiento.



Figura 2.6. Potenciostato/Galvanostato y computadora de procesamiento de datos.

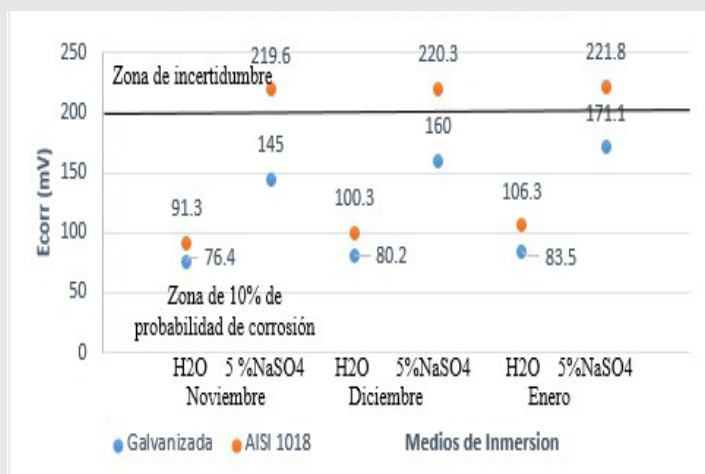
Para determinar de forma gráfica la existencia de la corrosión en las vigas que se sumergirán en distintos medios, se realizara gráficas de potencial y velocidad de corrosión, así como frecuencia acumulada.

Resultados y conclusión

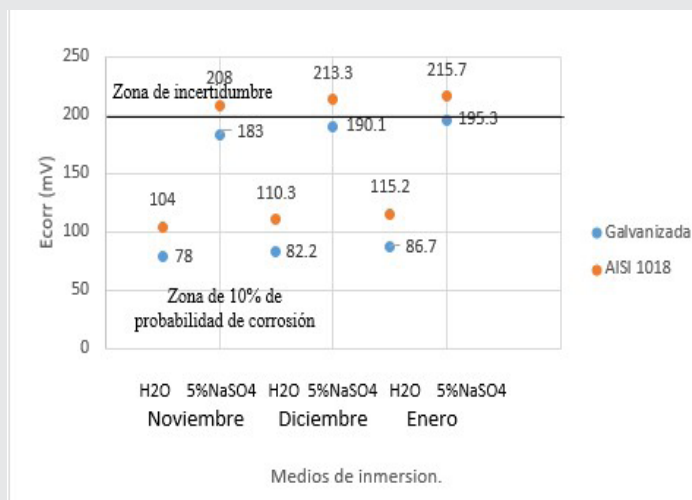
Los especímenes fabricados con materiales convencionales y modificados con un 20% de humo de sílice se encuentran desarrollando su día N° 22 de la etapa de curado, hasta el momento se observa una capa de óxido ferroso en las barras AISI 1018 Y galvanizadas que cambian cuando a través de ellas penetran sustancias agresivas que destruye la capa pasivante del acero

El estudio de los resultados se obtuvieron mediante gráficas de potencial de corrosión (E_{corr}) y velocidad de corrosión (I_{corr}) de forma mensual, en una duración aproximada a 300 días de inmersión.

Los resultados posteriores determinaran y condicionaran estructuras de concretos que se sitúen en medios de NaSO_4 , así como el daño que se ocasione en el acero de refuerzo y concreto.



Gráfica N.1.- Potencial de Corrosión Ecorr - Control (Noviembre - Enero).



Gráfica N. 2.- Potencial de Corrosión Ecorr - Microsilice (Noviembre - Enero)

A su vez se obtuvieron resultados de potenciales de corrosión de acuerdo a las técnicas antes mencionados, donde generaron los siguientes resultados:

La presente investigación se encuentra en el tercer mes de estar curado en el medio Sulfatado.

Se tendrán resultados cada mes para determinar gráficas de Potencial de corrosión (Ecorr), Velocidad de corrosión (Icorr) y carbonatación, evaluando así la pasivación por la puzolana artificial que sustituye al cemento.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] M.A. Baltazar-Zamora y et al. "Evaluation of the Corrosion at Early Age in Reinforced Concrete Exposed to Sulfates", *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.7, Pág. 588-600, Rep. de Serbia, 2011.

[2] M.A. Baltazar-Zamora y et al. "Corrosion Behavior of Steel Embedded in Ternary Concrete

Mixtures" *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 6, Pág.1892-1905, Rep. de Serbia, 2011.

[3] M. Maslehuddin y et al. "Effect of chloride concentration in soil on reinforcement corrosion" *Construction and Building Materials*, Vol. 21, Pag. 1825-1832. (2007) .

[4] Dimitri V. Val y et al. "Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments" *Structural Safety*, Vol. 25, Pag. 343-362. (2003).

[5] M.A. Baltazar-Zamora y et al. "Efficiency of Galvanized Steel Embedded in Concrete Previously Contaminated with 2, 3 and 4% of NaCl", *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.7, Pág. 2997-3007, (2012).

[6] C.P. Barrios Durstewitz y et al. "Cement Based Anode in the Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete", *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.7, Pág. 3178-3190, (2012).

[7] Ji Y, Zhao W, Zhou M, Ma H, Zeng P. Corrosion current distribution of macrocell and microcell of steel bar in concrete exposed to chloride environments. *Construction and Building Materials*. 2013;47:104-10.

[8] Siddique, R. (2011), Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties, Resources, Conservation and Recycling, 55(11), 923-932. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>

[9] Zhang, W-M., Ba, H-J. (2013) Effect of silica fume addition and repeated loading on chloride diffusion coefficient of concrete, *Materials and Structures*, 46(7), 1183-1191. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9963-6>.

[10] Farahani, A., Taghaddos, H., Shekarchi, M. (2015) Prediction of long-term chloride diffusion in silica fume concrete in a marine environment, *Cement and Concrete Composites*, 59, 10-17. doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.03.006.

[11] Adamec1 K., Palmer. N., Polebitski A. et al. Climate Change Evaluation of Climate Change Impacts to Reservoir Operations within the Connecticut River Basin [C]. World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change: 92-100.

[12] Wilbanks, T.J., Fernandez, S., 2003. Climate Change and Infrastructure, Urban Systems, and

Vulnerabilities e Technical Report for the U.S. Department of Energy in Support of the National Climate Assessment.

[13] Wilbanks, T.J., Fernandez, S., 2003. *Climate Change and Infrastructure, Urban Systems, and Vulnerabilities e Technical Report for the U.S. Department of Energy in Support of the National Climate Assessment.*

[14] Horvath A, Matthews HS. *Advancing sustainable development of infrastructure systems. J Inf Syst* 2004; 10(3):77–8.

[15] 7. *Trends and developments in green cement and concrete technology* Mohammed S. Imbabi, Collette Carrigan, Sean McKenna School of Engineering, King's College, The University of Aberdeen, AB24 3UE Scotland, February 2013.

[16] *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete*, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Electrical-mechanical analysis of a cement paste electrically conductive by the addition of carbon fiber

ABSTRACT: *A paste of concrete with conductive capabilities becomes a multifunctional materials and would replace the technical applications that have been developed to solve problems of durability and repair in the structures. The carbon fiber (FC) have characteristics of electrical conductivity (EC) that the adicionarla into a paste of Portland cement (CP) conventional modifies the EC in the paste. The main goal of our work was to develop a conductive cement paste (PCC) for the protection and repair of reinforced concrete structures, for which produced two types of cubical specimens with dimensions 50x50x50 mm for testing of paste to compression and prismatic specimens of 40x40x160 mm to determine the EC by the method of Wenner. Different proportions were made by varying the size and proportions of the FC to identify the metering that provides more EC without negatively affecting the resistance to compression. The percolation threshold for a PCC of electricity with the addition of FC is presented for a percentage of 0.9% with respect to the volumetric fraction of the specimen and in a size of 5 mm in length with a resistance to compression of 25 MPa, this threshold has not altered the mechanical resistance of a conventional paste.*

Keywords: *carbon fiber, durability, threshold-percolation, carbonaceous material, resistance.*



Colaboración

E.D. Perez-Diaz, Universidad Veracruzana; Luis Carlos Sandoval Herazo, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Emma Garcés Velázquez; Erick Edgar Maldonado Bandala; Sergio Aurelio Zamora Castro, Universidad Veracruzana; Luis Carlos Sandoval Herazo, Colegio de Veracruz

INTRODUCTION

The durability of concrete is an important property and fundamental, it is essential that the concrete structure is able to withstand the conditions for which it has been designed throughout its useful life. The short durability may be caused by external agents derived of the environment or by internal agents in the middle of the concrete [1].

When a structure of reinforced concrete (CA) is in an aggressive atmosphere being attacked by external agents or is in a critical state of deterioration, causing structural failures, it is necessary to establish an appropriate solution to neutralize the attack and prolong the life of the structure. The development of new types of anodes for the protection and repair of structures of CA is a topic of great technological interest [2]. The natural protection against the corrosion of steel reinforcement on concrete (layer of passivity) is usually lost due to the entry of chloride ions or by the carbonation of concrete. The electrochemical removal of chlorides (EEC) and electrochemical realkalisation are techniques used in the repair of concrete structures due to the above problems [3].

Currently we have developed new rehabilitation techniques with the objective to implement actions more efficient and economical. The electrochemical method of removal of chlorides (EEC) with mortars drivers is an example, has been used in the rehabilitation of structures CA, replacing the titanium mesh in the technique of EEC [4]. This technique is based on the use of the electrolysis system for the removal of the chlorides present in the concrete. The Chlorides (Cl-) are negatively charged ions. Through the continuous flow of current between the frame, which acts as a cathode (connects to the negative pole of the power supply), and a provision external, serving as the anode (connects to the positive pole of the power supply), force the chlorides to move outward through the porous structure of concrete by the action of the electric field created. So it is not necessary to replace the contaminated concrete and once removed a sufficient amount of chlorides, increases the durability of the structure [5].

Despite the existence of different studies with the purpose of improving the conductive property of a paste or mortar adding carbonaceous material; in Mexico there are few studies focusing on the proportions and optimal sizes of FC as part of added, generating a better behavior of EC and together with this while maintaining the properties of resistance to compression.

The carbon fiber has properties of EC, the addition of this material in a paste of CP intensifies considerably the EC in the paste, without negatively affecting the resistance to the axial compression with an optimal size and dosage determined in FC.

The objective of this research is to study the mechanical and electrical behavior of a cementitious paste with the addition of conductive material carbonaceous, (which in the development of this research project is to select for FC), through testing and pilot tests standardized to provide effective results and information and sufficient to characterize and analyze the new conductive properties and mechanical pulp to incorporate the fibers.

MATERIAL AND METHODS

The methodology consists of experimental test, following a phased and orderly planning in order to obtain a characterization truthful. The tests that are presented here are governed by international standards ASTM (American Society for Testing Material). In the Table 1 sets out the main materials used for the realization of this research.

Table 1. Main materials used in this investigation.

Equipment or material	Specifications
Portland cement	(CPC 30R), cement of rapid forged, obtaining their f'c to 14 days of age.
Carbon fiber	Crossweave in the form of fabric, high resistance. Fiber diameter 7.2 μm , carbon content of 95%, density 1.81 g/cm ³ .
Balance	Digital scale with accuracy of 0.01 g
Mold for compression	Metal mold for cubes with dimensions of 50x50x50 mm.
Mold for EC	Metal mold for beams with dimensions of 40x40x160 mm
Mixing machine	Blender mark Hobart model N50.
Copper	Sheets of 40 mm long and wires 40 mm long
Universal machine	Equipment for performing the test to axial compression. Control brand, model pilot 4.
GECOR 10	Special equipment to obtain and evaluate measures to determine the corrosion as well as electrical resistivity in concrete.

Researchers have concluded that the most important variable for a specific high resistance is the water/cement ratio (A/C). The respective proportionamientos aggregates in the paste is made with respect to the weight of cement and established a A/C relation of 0.5 following the rule set:

$$A/C \text{ ratio} = \frac{\text{Litres of water}}{\text{Kilograms of cement}} 0.5 \quad \text{Ec. (1)}$$

a) Dosage of the Mixtures

To determine the proportions of water, cement and FC you must know the volume of the two types of specimens, therefore, is divided into two parts, to determine the EC will require specimens in the form of beam with the dimensions set out above (see Table 1); on the other hand, the specimens that correspond to the test of resistance to the axial compression (f'c), where specimens are established in the form of cubes with dimensions mentioned above (Table 1).

Proportion water and cement for beams of 40x40x160 mm:

Total volume of the specimen (v) = 256 cm³

Water/cement ratio A/C= 0.5

Weight of Water (unknown) = Wh₂O

Weight of cement (unknown) = W_c

ℓh_2O =specific weight of water = 1

ℓc = specific weight of cement = 3.15

$$\text{Therefore,} \quad v = \frac{W h_2 O}{\ell h_2 O} + \frac{W_c}{\ell c} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\text{Where,} \quad \frac{W h_2 O}{W_c} = 0.5 \quad \text{Ec. (3)}$$

Then replacing Ec. (3) in Ec. (2):

$$v = \frac{0.5 W_c}{\ell h_2 O} + \frac{W_c}{\ell c}$$

$$v = \frac{0.5 W_c \ell c + W_c \ell h_2 O}{\ell h_2 O \ell c}$$

$$v = \frac{W_c}{\ell c} (0.5 + 1) \ell c$$

Knowing all the data then,

$$256 \text{ cm}^3 = \frac{W_c (2.575)}{3.15}$$

Clearing the weight of cement,

$$W_c = \frac{256 \times 3.15}{2.575}$$

$$W_c = 313.1650 \text{ g} + 10\% \text{ (waste)}$$

$$W_c = 313.1650 \times 1.10$$

$$W_c = 344.487 \text{ g}$$

$$W_{H_2O} = 156.5830 \text{ g} + 10\% \text{ (waste)}$$

$$W_{H_2O} = 156.5830 \times 1.10$$

$$W_{H_2O} = 172.2435 \text{ g}$$

The data previously calculated, correspond to the proportion of water and cement, in a relationship 0.5, which is required to make the pouring of the specimens in the form of beam. The specimens of control does not carry the addition of FC, i.e. that the specimens shall be of conventional paste with the purpose of comparing the results of EC and resistance to the axial compression with the altered with FC.

Proportion of FC for beams:

For a characterization of the electrical behavior of the beams with FC, account should be taken of the threshold of percolation, i.e. to study and compare the EC with different sizes and quantities of FC, so as to establish the optimal dosage that best conductive behavior has without affecting the mechanical resistance of the paste.

Are chosen sizes from 5, 10 and 20 mm in length, in addition for each size of FC have different amounts in percentage with respect to the volumetric fraction. These percentages are 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1.0.

The dosages of cement (WC) and water (WH₂O) for the paste with the incorporation of FC remain the same that previously were calculated, for each mix concrete. Table 2 summarizes the different proportions.

Example for calculating the quantities of FC:

Input data:

Percentage of FC (%FC) = 0.5%
Volume of the beam (V) = 256 cm³
Density FC (DF) = 1.81 g/cm³

Unknown:

Weight of FC (WFC) = Wc*(%FC)*DF

Then,

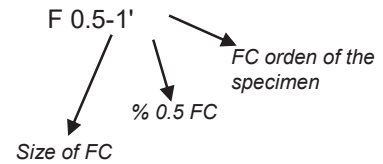
$$WFC = 256 \text{ g} \times 0.005 \times 1.81$$

$$WFC = 2.3168 \text{ g}$$

For the sizes of FC 10 and 20 mm, shall be the same dosages, therefore, is not displayed and obvious demonstration of calculations.

Three specimens were made by each mixture, i.e. three specimens for each percentage of FC, with the objective of having repeatability and average the results of the tests.

Nomenclature



Proportion water and cement cubes 50x50x50 mm:

The procedure for calculating the different proportions of water and cement, both for specimens of control as to be modified with the addition of FC is similar to that used in the beams.

Total volume of the specimen (v) = 125 cm³

You use the Ec. (2) and Ec. (3)

$$W_c = 168.201 \text{ g}$$

$$W_{H_2O} = 84.1005 \text{ g}$$

Table 2. Proportion of FC For the different specimens in the form of beam.

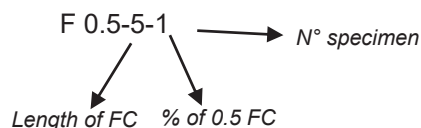
Proportionbeams with FC of 5 mm

Specimens	% FC	WFC
F0.5-1'	0.5	2.32
F0.5-1"	0.5	2.32
F0.5-1'''	0.5	2.32
Total		6.95
F0.5-2'	0.6	2.78
F0.5-2"	0.6	2.78
F0.5-2'''	0.6	2.78
Total		8.34
F0.5-3'	0.7	3.24
F0.5-3"	0.7	3.24
F0.5-3'''	0.7	3.24
Total		9.73
F0.5-4'	0.8	3.71
F0.5-4"	0.8	3.71
F0.5-4'''	0.8	3.71
Total		11.12
F0.5-5'	0.9	4.17
F0.5-5"	0.9	4.17
F0.5-5'''	0.9	4.17
Total		12.51
F0.5-6'	1.0	4.63
F0.5-6"	1.0	4.63
F0.5-6'''	1.0	4.63

The amount of water and cement is kept constant for all specimens in the form of a cube.

Proportion of FC for hubs:

We used the same dosages (size and percentages of FC) as those used in the beams, therefore, the procedure to determine the weight of FC should be added in each specimen is similar to the previous calculation, Table 3 presents the different dosages of FC. x Nomenclature:



b) Elaboration of the pastes conductive cement

The development of the different mixtures and the conduct of the trials was conducted in the laboratory of materials of postgraduate courses of the Universidad Veracruzana. The mixing for the creation of the specimens of control was produced on the basis of the ASTM C-305-10 [6].

This same rule was used to develop the paste with the addition of FC, highlighting the following steps, standardized by the authors, before the mixed with CP:

The dosage of FC must be pour in the water and wait 30 s to absorb a certain amount of water.

At the end of the 30 s, with the industrial mixing is shaken by 60 s.

It originates in the established in the ASTM C-305-10.

c) Casting and creation of specimens

To create the specimens, were added the mixture to a maximum height of 30 to 55 mm in the molds. First adds a layer of pulp up to half the height of the mold with the goal of migrating the air bubbles compacting this layer. The compaction consists in 80 strokes per layer on the entire mixture, was carried out with a rubber ram as advised in the rules.

Table 3. Proportion of FC for the different specimens in the form of cubes

Proportion FC hubs of 0.5 mm

Specimens	%FC	WFC
F0.5-10-1	1.0	2.26
F0.5-10-2	1.0	2.26
F0.5-10-3	1.0	2.26
F0.5-10-4	1.0	2.26
F0.5-10-5	1.0	2.26
F0.5-10-6	1.0	2.26
Total		13.58

Finished the previous process, proceeded to the second layer of paste followed by the corresponding compaction in the same manner as the first.

The design of the specimens to the test of mechanical resistance to axial compression was produced on the basis of the American standard in force ASTM C-109-99 [7], which indicates the procedure the preparation of specimens for mortars.

Proportion FC hubs of 0.5 mm

Specimens	% FC	WFC
F0.5-5-1	0.5	1.131
F0.5-5-2	0.5	1.131
F0.5-5-3	0.5	1.131
F0.5-5-4	0.5	1.131
F0.5-5-5	0.5	1.131
F0.5-5-6	0.5	1.131
Total		6.789
F0.5-6-1	0.6	1.36
F0.5-6-2	0.6	1.36
F0.5-6-3	0.6	1.36
F0.5-6-4	0.6	1.36
F0.5-6-5	0.6	1.36
F0.5-6-6	0.6	1.36
Total		8.15
F0.5-7-1	0.7	1.59
F0.5-7-2	0.7	1.59
F0.5-7-3	0.7	1.59
F0.5-7-4	0.7	1.59
F0.5-7-5	0.7	1.59
F0.5-7-6	0.7	1.59
Total		9.50
F0.5-8-1	0.8	1.81
F0.5-8-2	0.8	1.81
F0.5-8-3	0.8	1.81
F0.5-8-4	0.8	1.81
F0.5-8-5	0.8	1.81
F0.5-8-6	0.8	1.81
Total		10.86
F0.5-9-1	0.9	2.04
F0.5-9-2	0.9	2.04
F0.5-9-3	0.9	2.04
F0.5-9-4	0.9	2.04
F0.5-9-5	0.9	2.04
F0.5-9-6	0.9	2.04
Total		12.22

The design of the beams (see Figure 1) consists in the embedding of four tips current sourcing (cathodes), for this research copper, located on the top face of the beam, separated to certain distances along the length of the beam. The method for determining the EC in specimens requires that they be two sheets of equal size located each to 20 mm from each end and two wires located every one to 40 mm of the blades toward the interior of the beam.

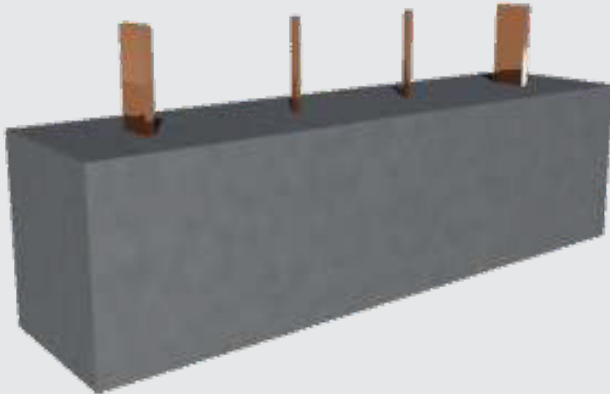


Figure 1. Design of beam 40x40x160 mm to be tested by the method of Wenner

Desencofrado and curing specimens

This item is governed by the ASTM -C-511-98 [8]. Is desmolda metal the centering after 24 hrs of having cast specimens in order to submit them to the curing (Figure 2).



Figure 2. Cured of specimens

The curing method that was used, consists of a solution of calcium oxide with 25% concentration for each 1000 liters of water.

Electrical conductivity

To calculate the EC in paste, used the GECOR 10 (Figure 3), is a high precision electronic device, capable of measuring the voltage and the intensity of a material by the method of Wenner or the four tips [9].



Figure 3. GECOR 10.

Calculations:

With the voltage and current in the readings taken with the GECOR 10 determines the resistance.

$$R = \frac{\text{voltage (volts)}}{\text{Intensity (ampere)}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Where,

R = resistance of the specimen.

Voltage reading taken from the device = in the measurement in volts.

Intensity = reading taken from the device in the measurement in amperes.

Determines the resistivity of the specimen with the data previously calculated.

$$\rho (\Omega) = \frac{R * A}{L} \quad \text{Ec. (5)}$$

Where,

P = resistivity (Ω)

A = cross sectional area of the specimen in meters

L = Length between the wires in meters

Now determines the conductivity with the inverse of the resistivity:

$$C = \frac{1}{P} \quad \text{Ec. (6)}$$

Where,

C = Conductivity in S/mm

P = resistivity, ohm-m

At an age of 4 days in the beams, readings are taken with the GECOR 10 in a wet state (recently removed of the curing process), subsequently captured the readings, are subjected to drying at 60°C for a time of 24 hours. Again take new readings with the GECOR 10, now in a dry state.

The EC will be the average of three specimens of the same dosage for each state.

Resistance to the axial compression

For this pilot test were performed by each dosage specified a number of six specimens, which allowed to try axial compression to the 7 and 14 days of age each mix concrete. The cement used (CPC 30R) allows a cement paste of resistance, acquiring the quick end resistance to 14 days of age.

The value of f'_c is obtained from the average of three specimens tested with the same dosage and under the same conditions [7].

RESULTS

The following graphs represent the results of EC of the specimens in their different dosages torque even wet state.

The threshold of percolation defined above, is summarized in the optimal level of concentration of a component, in this case the component in the study is the FC.

The following graphic show the behavior of the specimens wet with their different proportions of FC, where you can admire the variations of EC for each percentage and size of FC.

For specimens with FC 20 mm of length (Graph 1), the behavior of the curve is proportional to the percentage relationship FC-conductivity, this refers to the increase of the EC in the specimen as it is lifted the percentage or amount of FC.

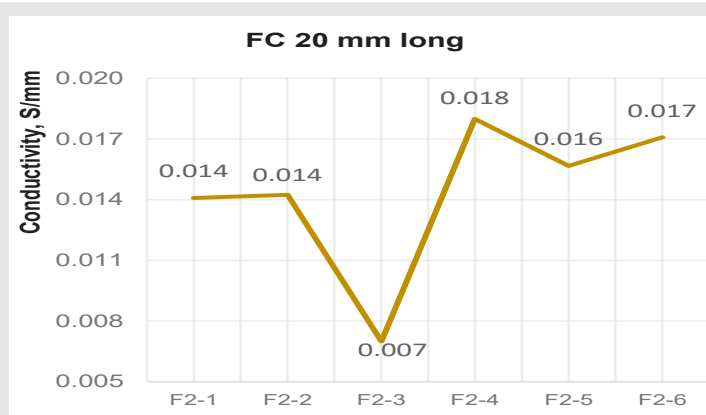
The critical points of this curve, i.e. the values of EC more low and high, observed for the FC of 20 mm with a percentage of 0.8% for the greater conductivity with a value of 0.018 S/mm. The lower conductivity was obtained with a value of 0.007 S/mm that corresponds to the percentage of 0.7% of FC.

The behavior that acquire the specimens with sizes of 10 mm FC (Graph 2) has a parabolic trend concave side down. This trend indicates that the curve sets a maximum conductivity value, being the point of inflection where it passes from one side growing to a decreasing side, therefore, the value that corresponds to the point of inflection is the optimal value of percentage of FC. The optimum value of EC is given by the 0.8% of FC with a value of 0.01783 S/mm in EC (specimens F2-4). The minimum value of EC is obtained of the percentage corresponding to the 0.5% (specimens F2-1).

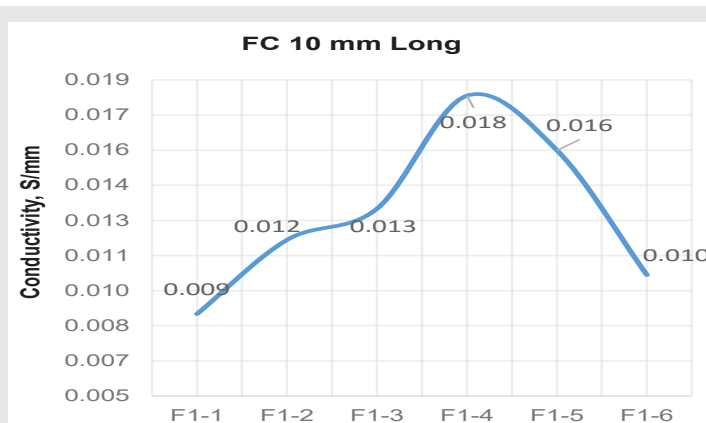
The conductive behavior of the specimens with FC sizes of 5 mm in length (Graph 3) has a growing trend on the left side to the point of inflection and decreases the EC to the right side of this point, therefore, has a be-

havior similar to the earlier curve, highlighting that the optimal value of FC was obtained with a percentage of 0.9% of FC with a conductivity of 0.028 S/mm; the minimum value obtained in conductivity is 0.002667 S/mm corresponding to the specimens with 0.5% of FC.

Already analyzed each trend in the curves of the different sizes of FC is a joint analysis. The specimens with sizes from 5 mm FC in a percentage of 0.5% presented the lowest behavior of conductivity, this can be appearing for two conditions, the percolation existing in these specimens can occur in such a way that the fibers are swarming into groups, these groups are dispersed among themselves along the length of the specimens, therefore the EC may be largely due to the contribution of the cement paste and part of the FC, therefore presents more resistivity to the EC in the compound.

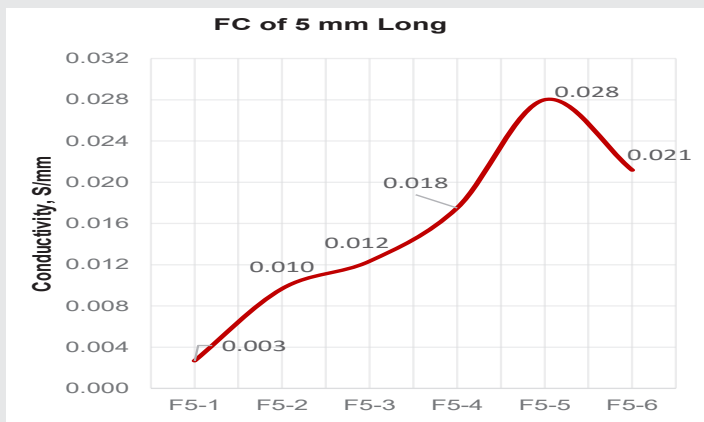


Graph 1. Conductivity of specimen humid with FC 20 mm long

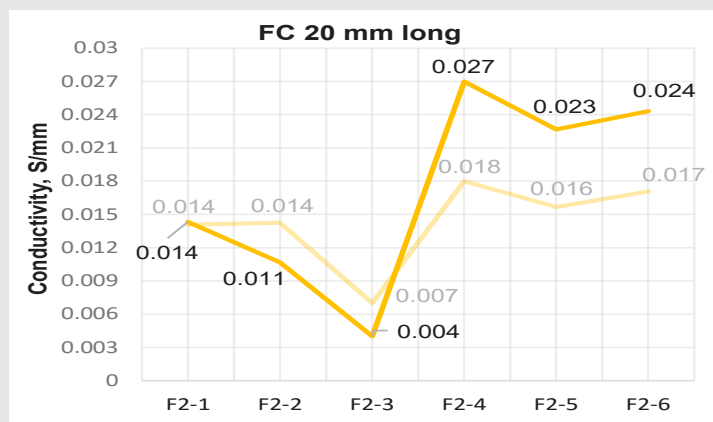


Graph 2. Conductivity of specimen humid with FC 10 mm long

The other condition that may be occurring is the size of the FC, its length can be so short that for a percentage of 0.5% do not reach to be in perfect contact between yes to cause a better electrical behavior.



Graph 3. Conductivity of specimen humid with FC 5 mm long



Graph 4. Conductivity of dry specimen with FC 20 mm long

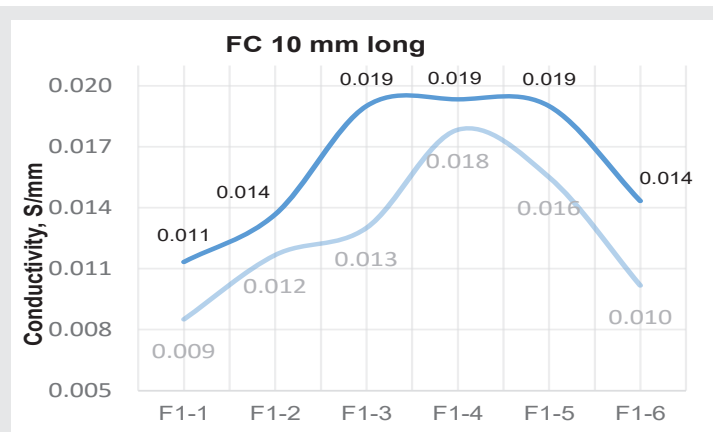
In the sizes from 5 and 10 mm the percentage of 0.5 per cent is the lowest point to the EC. For curves of the sizes of 10 and 20 mm approximately coincide with the same peak of 0.0175 to 0.01783 and S/mm respectively with the same percentage of FC 0.8%.

The threshold of percolation in a qualitative form is found by knowing the curve that greater EC submits, the graphics are notes the threshold of percolation optimo in specimens of size of 5 mm FC with a percentage of 0.9% since it is the most EC provides to the pasta. This is a result of the trend toward a better accommodation of carbon filaments in the specimen causing under vacuum spaces and a better connection of these FC causing greater EC. For a better characterization of this type are required to analyze the behavior of the specimens in a dry state, since its implementation in the engineering would be submitted to a reference state very similar.

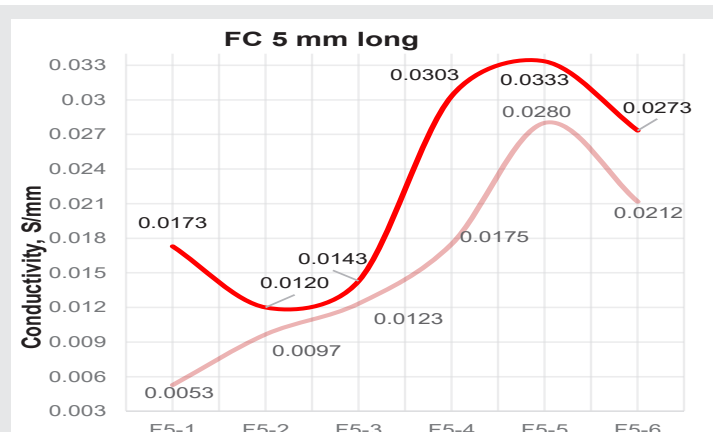
The Graphs 4, 5 and 6, there are two curves, the curve of strong color represents the conductive behavior of the dried specimens and the curve more tenuous specimens wet. The trend of the new curve must be equal since they are subject to the same conditions varying only its moisture content, inducing a single movement ascending or descending in the orderly, i.e. in the axis of the conductivity.

The Graph 4 shows the trend described previously, with an increase in the conductivity with reference to the maximum value of the specimens wet. For a percentage of FC 0.8% are wet and dry values of 0.018 and 0.027 S/mm respectively, therefore, in a state totally dry paste cementante with addition of FC from a proportion of 0.8% onwards leads a higher value of EC that a wet state.

In the Graph 5, the threshold of percolation is presented in the condition of dry and humid with values of 0.01933 and 0.01783 S/mm respectively with a percentage of FC of 0.8%.



Graph 5. Conductivity of specimen dry with FC 20 mm long



Graph 6. Conductivity of dry specimen with FC of 5 mm long

In Graph 6, each curve has a parabolic behavior concave down giving as greater EC the inflection point of the curve, same trend described in Graph 3. The threshold of percolation is presented in the condition of dry and humid with values of 0.028 and 0.03333 S/mm respectively with a percentage of FC 0.9%.

In general the EC in all specimens in their different proportions were higher in dried specimens. As the trend

is very similar to the wet specimens the proportions for a EC greater do not vary, i.e. that remains the same size of 5 mm of length of FC with a percentage of 0.9% which presents the threshold of percolation with a value in the EC of 0.03333 S/mm.

Identified the size and optimal percentage of FC that greater leads electricity may be compare these values of EC with those generated by the specimens of control, with the goal of being able to characterize that so much changes in conductivity specimens without the addition of FC and with the addition of this.

Table 4. Specimens of control

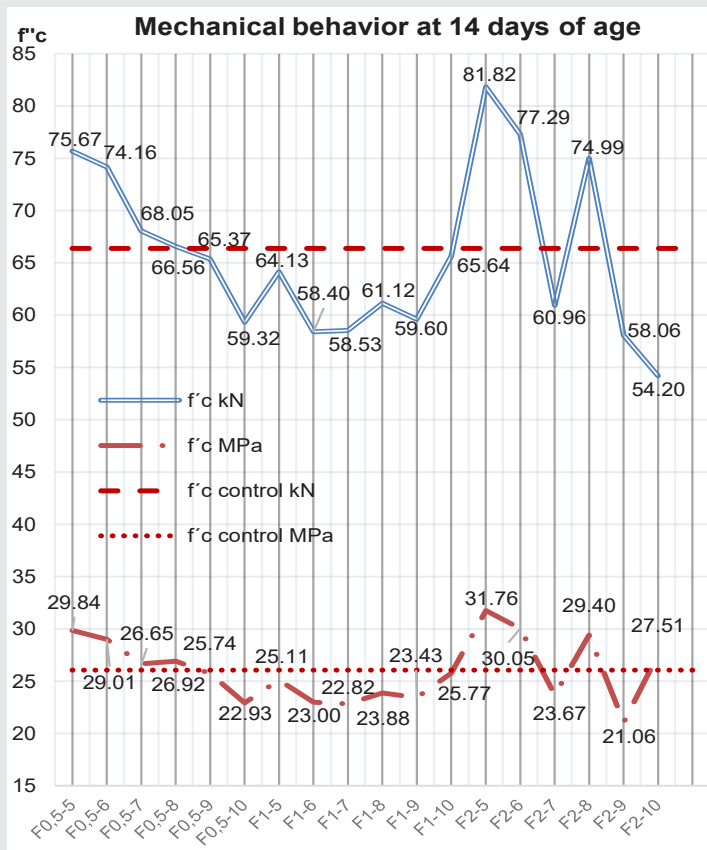
Specimen	Conductivity, S/mm
C _{dry}	0.0001129
C _{humedi}	0.0009860

The values of EC that are shown in the table 4, are the average of the EC taken under the same conditions that the specimens with FC both in the wet condition as the dry.

The conductivity in specimens of wet control has a greater EC that in the dry condition. To compare these values with the conductivity of the conductive cement paste with the addition of FC identifies the paste CP provides less conductivity that with which brings with it the addition of FC. The value of the EC that greatest contribution was in dry conditions for specimens with FC is 70333 S/mm while the control is 0.00011129 S/mm, therefore, a paste of CP when adding this carbonaceous material is converted to a greater extent a compound more conductor of electricity.

Graph 7 represents the mechanical behavior that the cementitious specimens with addition of FC to tested to axial compression, the values of f'_c are presented in MPa and kN. Obtained the threshold of percolation of optimum FC for the conductivity analyzes its mechanical behavior. The threshold of percolation was presented in the size of 5 mm of length of FC with an optimal percentage of 0.9%, therefore in mechanical resistance is due to the specimens F0.5-9, for this type of dosage is obtained a value very close to f'_c obtained in specimens of control (dashed line horizontal), the value of f'_c to F0.5-9 is 25.74 MPa, this value even though it is a little lower than that of control can be inferred that a paste with these doses produces a compression resistance equal to that of a conventional cement paste but with an extra feature of EC Achieved with the addition of FC with a size of 5 mm long and a percentage of 0.9% with respect to its volumetric fraction.

The Graph this is evident in more detail the maximum value of mechanical resistance, which corresponds to the specimens of F2-5, that is to say the specimens with FC size of 20 mm in length and a percentage of 0.5% of FC.



Graph 7. Axial resistance to compression.

CONCLUSIONS

The addition of carbonaceous materials as the FC increment in the paste its electrical conductivity, without losing its resistance to compression, accordingly, makes this paste in a multifunctional material.

The percolation threshold for a cement paste electrically conductive with the addition of carbon fiber is presented for a percentage of 0.9 per cent in a size of 5 mm in length.

This threshold produces in the paste a mechanical behavior similar to that of a conventional pulp, generating a variation below 0.3 MPa to 14 days of age. While the FC with a size of 20 mm of length produces an increase in the mechanical resistance to the 14 days of age up to 4.1 MPa.

REFERENCES

- [1] Sánchez, D. (1997). *Concrete Technology: technology and properties*. ASOCRETO. 2Nd Ed. Pp. 120-200.
- [2] Bertolinia, L., Bolzonio, F., Pastore, T. & Pedferria, P. (2004). *Cem. And Concr. Res.*, 34, 681.
- [3] Cobo, A., Prieto, M. I., Gonzalez M. N. (2008). *The electrochemical removal of chlorides as a technique of rehabilitation of reinforced concrete structures*. XI International Congress of Rehabilita-

tion of architectural heritage and building. Madrid, Spain.

[4] World Road Association, Use Of Innovating Materials For bridge construction and repair, PIARC Technical Committee on road bridges and other structures (C11). vol 11.09.B. 2002. 55.

[5] Del Moral, B. Galao Ó, Antón, C....& Garcés, P. (March, 2013). Usability of cement paste containing carbon nanofibres as an anode in electrochemical chloride extraction from concrete. Vol. 63, 309, 39-48. ISSN: 0465-2746.

[6] American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No.: T162. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. ASTM C-305-10.

[7] American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No.: T162 Standard Test Method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM C-109 - 99.

[8] American Association State Highway and Transportation Officials Standard AASHTO No.: T162. Standard Specification for Moist Cabinets, Moist rooms, and Water Storage Tanks used in the Testing of Hydraulic Cements Co. and concretes. ASTM-C511-98.

[9] ASTM G57. Standard Test Method for the measurement in the field of resistivity ground using the method of wenner of 4 points.



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Contribución del emprendedurismo en la formación integral de ingenieros en energías renovables



Colaboración

Antonia Moreno Aguilar; Ramón Beltrán Martínez,
Universidad Tecnológica de Puebla

RESUMEN: Debido a la velocidad con la que están ocurriendo los cambios sociales, políticos, culturales, científicos, tecnológicos, generacionales; a pesar de los avances y logros del sistema educativo nacional, se han acentuado algunos factores: económicos, familiares, sociales, pedagógicos conductuales y motivacionales que impactan considerablemente en la permanencia, el rendimiento escolar y el nivel de emprendedurismo, que condiciona la formación integral del alumno en la Carrera de Energías Renovables de la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP). Con la finalidad de identificar las áreas de mejora del alumno para su desarrollo integral, competentes para intervenir y participar responsablemente en la vida social, cultural, económica y política, aportando su actitud creativa y su aptitud crítica e investigativa, en el campo de las energías renovables para convertirlas en un motor de crecimiento, se ha realizado esta investigación cualitativa de tipo etnográfica. Para la detección de estos factores se utilizó la encuesta como un instrumento de recolección de datos factible con un nivel de confianza del 95% de acuerdo a los valores: 5% de error de un total de 289 alumnos inscritos en el cuatrimestre enero abril 2015.

Palabras clave: actitud creativa, emprendedurismo, formación integral, sustentabilidad, energías renovables.

ABSTRACT: Because of the speed with which social, political, cultural, scientific, technological and generational changes are occurring, even though the progress and achievements of the national education system, some factors have been emphasized: economic, family, social, educational, behavioral and motivational that affect significantly in the permanence, school performance and level of launching that determine the integral formation of the student into the Renewable Energy Career of the Universidad Tecnológica de Puebla (UTP). With the purpose of identify the areas for improving student in their integral development suitable to take part and participate responsibly in social, Cultural, economic and political, life. Bringing his creative attitude and aptitude criticism as well as research in the field of renewable energies to turn them into a growth engine. This research has been carried out exploratory-descriptive type. For the detection of these factors, the survey was used as an instrument of data collection feasible with a confidence level of 95 % according to the values, 5% of error from a total of 289 pupils registered in the cuatrimester January-April 2015.

Keywords: creative attitude, entrepreneurialism, integral formation, sustainability, renewable energy.

INTRODUCCIÓN

El Programa Sectorial de Educación (PSE) elaborado por la Secretaría de Educación Pública a partir de la meta nacional México con Educación de Calidad del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 establece que el país requiere profesionales especializados que impulsen el desarrollo económico y social. Reclama asimismo, tener capacidad para ofrecer alternativas a los jóvenes que egresan de la educación media superior. Para mejorar los resultados, se impulsarán los mecanismos de aseguramiento de calidad, se fortalecerá la formación del personal académico y se propiciará una mayor vinculación con el sistema productivo.

Se buscará desarrollar en los estudiantes una cultura de emprendedores y mejorar la oferta de posgrados. Así mismo, Las instituciones de educación superior fortalecerán la formación de

profesionistas capaces de generar, aplicar e innovar conocimientos de la ciencia y la tecnología, académicamente pertinentes y socialmente relevantes con el propósito de consolidar un sistema nacional de educación superior con proyección y competitividad internacional, que permita a los egresados dar respuesta a las necesidades cambiantes del entorno regional y nacional. Asimismo, con la colaboración del CONACYT, nos proponemos impulsar la educación y la investigación científica y tecnológica en las instituciones de educación superior y centros públicos de investigación, y propiciar la generación y aplicación del conocimiento para desarrollar las innovaciones necesarias para la transformación del país [1].

En este contexto, este documento propone mejorar la práctica educativa desde una perspectiva de emprendedurismo que complemente la formación integral del Técnico Superior Universitario e Ingeniero en Energías renovables de la UTP, aplicando los atributos de este modelo educativo: la intensidad, que busca la optimización del tiempo de proceso de enseñanza-aprendizaje, para que en periodos de cuatro años, se formen los profesionales requeridos por la industria y la sociedad; la flexibilidad, que permite formular los planes y programas de estudio, adecuados a los constantes cambios científicos y tecnológicos; la polivalencia, que logra una formación profesional, en uno o varios grupos de actividades de los procesos productivos, o en actividades generales aplicables a diferentes ramas de la producción; la pertinencia, que hace congruentes los planes y programas de estudios con las necesidades reales de la planta productiva; la continuidad, que asegura a los egresados la posibilidad de proseguir estudios superiores, siempre que cumplan con los requisitos establecidos por la Institución de Educación Superior correspondiente.

Emprendedurismo

El término emprender, se deriva de la palabra latina "in" y "prendere" y significa alguien que se compromete, tiene su origen entre los siglos XVII y XVIII, con el tiempo los ingleses adoptaron "entrepreneurship" que describe el comportamiento y las habilidades que requieren los emprendedores con potencial de éxito. Según Dees, el espíritu emprendedor es un proceso orientado a la creación y esto en muchas ocasiones sólo se le atribuye a un individuo que toma una oportunidad y se aferra a ella, seguro que generará beneficios económicos y cambios en el mercado. Es decir, el emprendimiento muchas veces surge de ideas innovadoras personales, pero los proyectos empresariales viables deben tener un seguimiento y capacitación durante el proceso de su formación que sean sostenibles económicamente y que agreguen valor social. El primer autor que le dio un concepto formal en el ámbito de los negocios fue el economista austriaco nacionalizado estadounidense Joseph Schumpeter, quien destacó que el emprendedor tiene la capacidad de innovar

desarrollando nuevos productos que se traducen en transformaciones y reorganizaciones en los mercados; conocido como el proceso de construcción creativa; es decir, la innovación de productos o servicios destruye a los que existen en el mercado [2].

El emprendimiento tiene una relevancia importante en el desarrollo económico del país, su objetivo primordial debe enfocarse a la creación de nuevas empresas que contribuyan a la creación de nuevos puestos de trabajo, una mejor distribución del ingreso y bienestar social; sin embargo, los esfuerzos de los gobiernos no han conseguido atender en forma eficiente y oportuna las necesidades de los grupos sociales en situación de vulnerabilidad que demandan mayor atención y que se traduce en un estancamiento económico que aumentan los índices de pobreza.

Hipótesis

El emprendedurismo en la formación integral del Ingeniero es esencial para preparar al alumno en su desarrollo profesional y personal, ampliar su horizonte para generar ideas sobresalientes, de realizar acciones por encima de lo cotidiano, que contribuya en la creación de nuevas empresas, que tengan la particularidad de contar con un alto potencial de crecimiento. Los grandes cambios tecnológicos demandan la creación de nuevos programas educativos basados en el cuidado del medio ambiente y el aprovechamiento de las energías alternativas, surge la necesidad de que el Ingeniero en Energías renovables contemple una cultura emprendedora, como respuesta a las necesidades actuales de servicios y el aprovechamiento de oportunidades de inversión en el sector laboral, contribuyendo a mejorar la competitividad y el desarrollo económico, social y ecológico de su entorno y con las capacidades para crear su propia empresa. Es entonces necesario una cultura ambiental que involucre Energías Renovables y Desarrollo Sustentable.

Objetivos

Contribuir en la formación integral de ingenieros en energías renovables de la UTP, con visión emprendedora en la búsqueda de mercados, de financiamiento, de aprendizaje y acceso tecnológico.

Impulsar en el alumno su iniciativa empresarial, motivándolo a fortalecer su potencial creativo e innovador mediante el desarrollo de habilidades directivas y de liderazgo, que le permita superar los obstáculos y aprovechar las oportunidades.

Fortalecer cadenas de valor de manera inclusiva, que genere riqueza y que se reparte de manera equitativa inherentes en el campo de las energías renovables para convertirlas en un motor de crecimiento económico, con valor sustentable, manteniendo el equilibrio económico, ecológico y social.

MATERIAL Y MÉTODOS

Emprender en México es complicado. Según la Organización de Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), existen tres principales barreras para el establecimiento de nuevos negocios en el país: los monopolios públicos, privados y el acceso al financiamiento [3]. Es tarea de los gobiernos promover el desarrollo del mercado financiero social emergente retirando estas barreras regulatorias, ofreciendo la infraestructura y los incentivos para impulsar a las empresas, oportunidades a los emprendedores a afrontar los retos sociales, el enfoque innovador debe estar basado en la cooperación empresarial, el acceso y uso de la propiedad intelectual. Debido a esta situación surge el emprendimiento social, este modelo despierta el interés de organizaciones o empresas que generen cambio en el entorno social, económico y ambiental, su objetivo es promover el bienestar con valor social en los sectores más desprotegidos a través de apoyos a las comunidades en rezago que les permitan acceder a los servicios de salud, educación, vivienda, agua potable, generar energías alternativas entre otros y que impulse la economía del país.

La presente investigación cualitativa es de tipo etnográfica; la finalidad es documentar todo tipo de información que se da a diario en una determinada situación o escenario, observar y llevar a cabo entrevistas exhaustivas y continuas, tratando de obtener el mínimo de detalle de los que se está investigando, está orientada a detectar los factores que condicionan el emprendedurismo en su formación integral; el estudio se realizó sobre una medición de 165 alumnos del último cuatrimestre de Técnico Superior Universitario y de Ingeniería en Energías Renovables inscritos en el período enero abril 2015; se utilizó la encuesta con preguntas y respuestas muy concretas, lo que permitió obtener resultados claros para la recolección de datos por ser un instrumento fácil y que no requiere una mayor cantidad de tiempo; Además, permite que se expresen las actitudes generales, de gran ayuda para interpretar las preguntas más estructuradas; establece una armonía para obtener la cooperación del encuestado, motivado a responder preguntas específicas para captar los resultados esperados.

En este proceso se realizaron entrevistas a los profesores de la carrera para captar sus experiencias con respecto a los comportamientos de los alumnos en el aula: déficit de atención, problemas de socialización, desmotivación personal, accesibilidad al cambio, actitud creativa e innovadora, iniciativa de colaboración en la investigación, dificultad de aprendizaje. Además se realizó un análisis sobre el desempeño académico de algunos alumnos involucrados en la muestra.

Diseño de la investigación.

El abordaje de esta investigación cualitativa es de tipo etnográfica donde se combinan tanto los métodos de observación participativa donde el investigador inter-

viene en la situación o problema que se va a investigar, interpreta y redacta sus experiencias pertinentes al estudio; y la observación no-participativa en la que el investigador observa y toma datos.

Alvarez-Gayou, considera que el propósito de la investigación etnográfica es describir y analizar lo que las personas de un sitio, estrato o contexto determinado hacen usualmente; así como los significados que le dan a ese comportamiento, realizado bajo circunstancias comunes o especiales, y finalmente, presenta los resultados de manera que se resalten las regularidades que implica un proceso cultural [4].

El investigador normalmente es un observador completamente participante (convive con el grupo o vive en la comunidad) y pasa largos períodos inmerso en el ambiente o campo. Debe irse convirtiendo gradualmente en un miembro más de este (comer lo mismo que todos, vivir en una típica casa de la comunidad, comprar donde lo hace la mayoría, etc.). Asimismo, utiliza diversas herramientas para recolectar sus datos culturales: observación, entrevistas, grupos de enfoque, historias de vida, obtención de documentos, materiales y artefactos; redes semánticas, técnicas proyectivas y autorreflexión. Va interpretando lo que percibe, siente y vive. Su observación inicial es general y luego comienza a enfocarse en ciertos aspectos culturales. Ofrece descripciones detalladas del sitio, los miembros del grupo o comunidad, sus estructuras y procesos, y las categorías y temas culturales. Por otro lado, el investigador se mantiene abierto a autoevaluar su papel en el contexto o escenario y genera clasificaciones culturales.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 p \cdot q \cdot N}{Ne^2 + Z^2 p \cdot q} \quad \text{Ec(1)}$$

Se estableció el nivel de confianza (95% y un error del 5%) o el (90% - y un error del 10%).

Se obtuvo el marco muestral con un registro de 289 alumnos inscritos en el cuatrimestre enero abril 2015.

Valores a estimar

$n = ?$

$e = 5\% = 0.05$ o $10\% = 0.1$

$Z = 1.96$ (tabla de distribución normal para el 95% de confiabilidad y 5% error) o

$Z = 1.65$ para el 90% de confiabilidad y 10% error.

$N = 289$ (universo)

$p = 0.50$

$q = 0.50$

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.05) (1 - 0.50) (289)}{(289) (0.05)^2 + (1.96)^2 (0.05) (1 - 0.50)} = \frac{277.5556}{1.6829} = 165$$

El tamaño de muestra de 165 alumnos

Los factores que se consideraron en la encuesta aplicada a esta muestra son:

- Sexo
- Conocimiento del perfil de la carrera en el momento de inscribirse.
- Nivel de liderazgo adquirido en su carrera.
- Nivel de emprendedurismo e innovación que aplica para dirigir proyectos relacionados con las Energías Renovables.
- Compromiso que tiene con el desarrollo sustentable y el aprovechamiento de las energías renovables.
- Nivel de motivación personal que influye en su aprendizaje y su comunicación intrapersonal e interpersonal.
- Manejo adecuado de las TIC'S.
- Práctica de actividades culturales y deportivas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la encuesta son los siguientes:

Uno de los primeros factores que influyen en la calidad de un programa de estudio es que el alumno esté convencido de qué carrera estudiar al momento de su inscripción a la Institución, si el alumno tiene una buena orientación vocacional, la cual es responsabilidad de las instituciones de educación superior, esto se reflejó en la respuesta; ya que el 15% de los estudiantes no conocían el perfil de la carrera al inscribirse.

El 66% de los alumnos considera que su formación académica en términos de liderazgo es satisfactoria, importante para su desarrollo personal y profesional y le será benéfico para superar los obstáculos y aprovechar las oportunidades inherentes al proceso de globalización.

Otro factor importante para la formación integral del alumno es el cambio de paradigmas en hábitos y costumbres, que le permita construir, aplicar y difundir conocimientos, comportamientos y valores que contribuyan a la conservación y uso sustentable de los recursos naturales, creando productos sociales que beneficien su entorno haciéndolos más competitivos con respecto a estudiantes de otras instituciones. Esto se refleja en que el 90% de los estudiantes se siente con un nivel de emprendedurismo e innovación regular para dirigir proyectos de ahorro y calidad de energía eléctrica, con base en un diagnóstico energético del sistema, para contribuir al desarrollo sustentable a través del uso racional y eficiente de la energía.

Con respecto al compromiso que adquiere el alumno con la sustentabilidad, el 87% de los estudiantes registraron que su compromiso es regular; en este sentido es necesaria una innovación energética en donde las energías renovables sean un motor de cre-

cimiento económico y la alternativa para el desarrollo y bienestar futuro de la humanidad. Aún cuando existen barreras económico-financieras, tecnológicas y de capacidad institucional, se deben enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades con emprendedurismo, para lograr la diversificación energética, mediante un aumento de las energías solar, eólica, geotérmica y bioenergía.

Además de las estrategias cognitivas, el alumno requiere estrategias motivacionales que le permita desarrollar y mantener un estado de bienestar y un ambiente de aprendizaje apropiado. Las emociones forman parte importante de la vida psicológica del alumno y tienen una alta influencia en su desempeño académico. Así mismo, el estudiante debe aplicar su aprendizaje con métodos didácticos apoyados en las TIC'S, en la investigación y la práctica en la empresa. La formación académica debe ser integral, que incluya actividades deportivas, culturales, de salud, ética y valores y de emprendedurismo y que se impartan como materias extracurriculares obligatorias, ya que el 78% de los estudiantes manifestaron que al incluir estas actividades mejorará la calidad educativa.

CONCLUSIONES

En el análisis de la presente investigación se observó que los alumnos tienen un bajo nivel de emprendedurismo e innovación, el emprendimiento muchas veces surge de ideas innovadoras personales, pero los proyectos empresariales viables deben tener un seguimiento y capacitación durante el proceso de su formación que sean sostenibles económicamente y que agreguen valor social. El primer autor que le dio un concepto formal en el ámbito de los negocios fue el economista austriaco nacionalizado estadounidense Joseph Schumpeter, quien destacó que el emprendedor tiene la capacidad de innovar desarrollando nuevos productos que se traducen en transformaciones y reorganizaciones en los mercados; conocido como el proceso de construcción creativa; es decir, la innovación de productos o servicios destruye a los que existen en el mercado [5].

El emprendimiento tiene una relevancia importante en el desarrollo económico del país, su objetivo primordial debe enfocarse a la creación de nuevas empresas que contribuyan a la creación de nuevos puestos de trabajo, una mejor distribución del ingreso y bienestar social; sin embargo, los esfuerzos de los gobiernos no han conseguido atender en forma eficiente y oportuna las necesidades de los grupos sociales en situación de vulnerabilidad que demandan mayor atención y que se traduce en un estancamiento económico que aumentan los índices de pobreza. Empezar en México es complicado.

Según la Organización de Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), existen tres principales barre-

ras para el establecimiento de nuevos negocios en el país: los monopolios públicos, privados y el acceso al financiamiento [2]. Es tarea de los gobiernos promover el desarrollo del mercado financiero social emergente retirando estas barreras regulatorias, ofreciendo la infraestructura y los incentivos para impulsar a las empresas, oportunidades a los emprendedores a afrontar los retos sociales, el enfoque innovador debe estar basado en la cooperación empresarial, el acceso y uso de la propiedad intelectual.

Es entonces necesario una cultura ambiental que involucre Energías Renovables y Desarrollo Sustentable. La Secretaría de Energía (SENER) enfatiza que, México destaca a nivel mundial por ser uno de los países con las metas más ambiciosas en materia de generación mediante fuentes no fósiles. La Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, establece

que para el año 2024 la participación de las fuentes no fósiles en la generación de electricidad será del 35%. Derivada de esta situación, la innovación energética será el motor del crecimiento económico y una fuente importante de competitividad debido a la necesaria transición de las economías bajas en carbono; el crecimiento acelerado por parte de las economías emergentes ha propiciado la innovación tecnológica para la extracción de recursos fósiles no convencionales y el uso de recursos renovables como el viento y el sol [6].

En la figura 1, esta misma Secretaría refiere que en México el 70% de la energía que consumimos se genera quemando un hidrocarburo altamente contaminante. Anualmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) quema 40 000 barriles de combustóleo, 2 000 barriles de Diesel, 15 000 toneladas de carbón y medio billón de pies cúbicos de gas natural aproximadamente de forma anual [7].

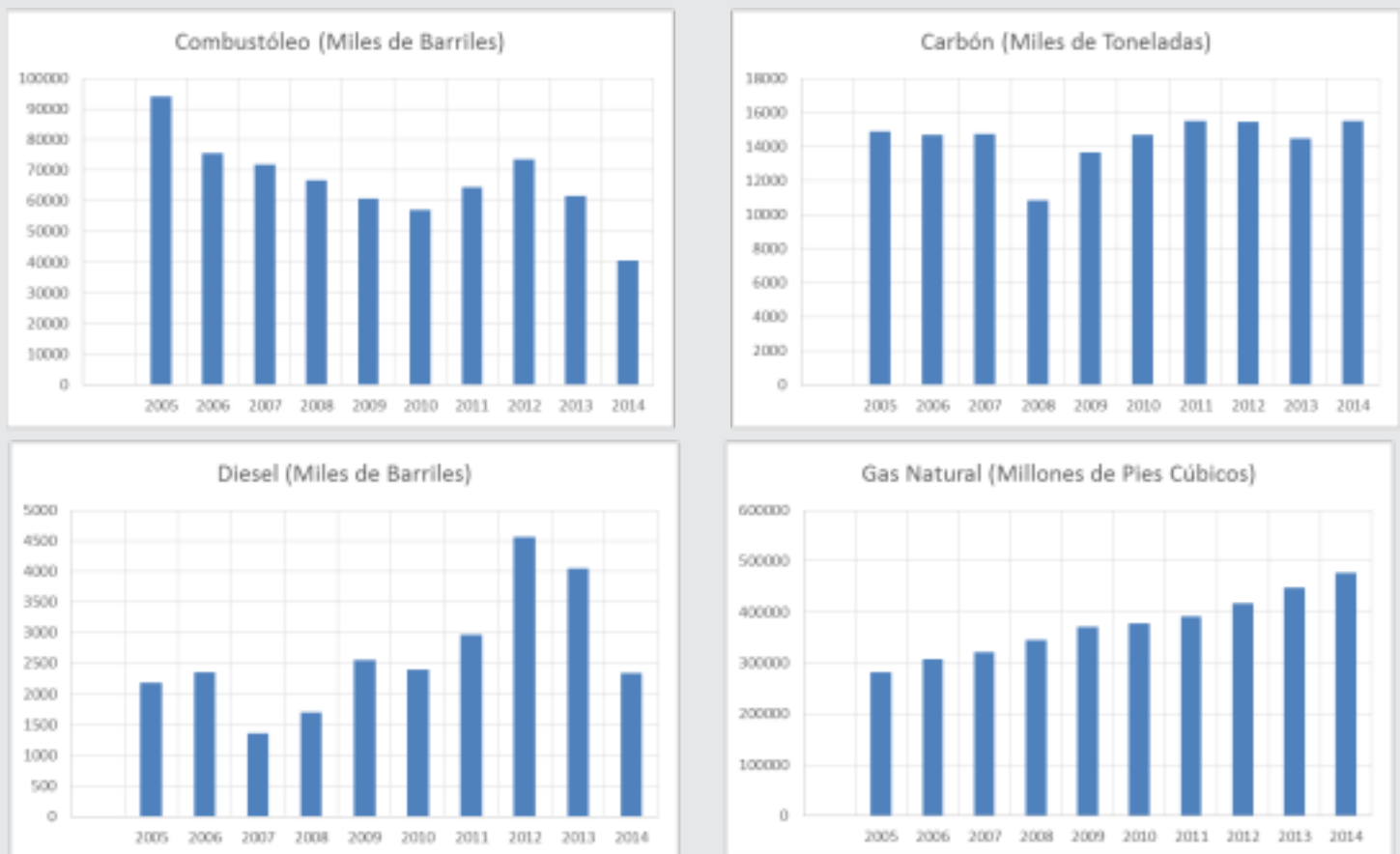


Figura 1. Consumo de Energías

Sumado a lo anterior los precios de la energía han tenido un crecimiento exponencial de 8.12% anual en la industria y de 6.8% en casas, desde 1997 y al no cambiar de un combustible hidrocarburo a generación con energía renovable, los precios seguirán subiendo. La Organización de Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE (2008), al abordar los problemas relacionados con el clima, la salud y la seguridad alimentaria,

estableció que la falta de acciones políticas que aborden el cambio climático puede implicar costos financieros significativos; la innovación puede reducir estos costos movilizándose hacia el uso de formas de energía que generen menos gases de efecto invernadero.

Como se observa en la figura 2, las perspectivas de la energía y tecnología de la Agencia Internacional

de Energía (IEA, 2008) supone una trayectoria tecnológica en la que alcance una reducción del 50% de las emisiones de CO₂ a través de las actividades de innovación dentro de un rango amplio de áreas de desarrollo, como la captura y el almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés), la energía nuclear y los que tienen mayor potencialización son: la energía renovable y el uso final de la eficiencia de combustible [8].

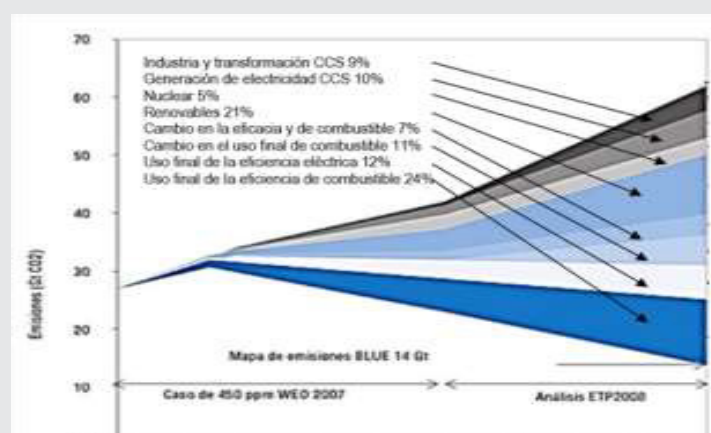


Figura 2. Contribuciones potenciales de diversas tecnologías energéticas a la reducción de las emisiones CO₂ 2005-2050.

De acuerdo a esta referencia, es necesaria una innovación energética en donde las energías renovables sean un motor de crecimiento económico y la alternativa para el desarrollo y bienestar futuro de la humanidad. El uso de los recursos naturales provee la materia para la creación y/o transformación de productos, y en su carácter económico es permitido que se busquen y obtengan utilidades, pero el emprendedor debe apearse a un criterio de desarrollo sustentable, con una cultura de responsabilidad social, donde los valores y principios sean las bases estructurales del negocio y que se refleje en políticas económicas, sociales y ecológicas.

Otro aspecto relevante, es que los alumnos deben conocer los apoyos para los proyectos y los programas que los Gobiernos ofrecen para aprovechar las energías renovables como alternativa para el desarrollo económico y bienestar social. A continuación se hace referencia del Marco Legal en esta materia, así como Programas Federales, fondos financiamientos que la Secretaría de Economía publica en su documento PRO MÉXICO Inversión y comercio [9].

MARCO LEGAL

Con el objetivo de promover la inversión en Energías Renovables, México ha trabajado en la creación y modificación de leyes que permitan incentivar su uso y disminuir la dependencia energética relacionada con los combustibles fósiles. La Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables (ER) y Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) establece el

marco regulatorio específico para la generación de energía eléctrica con fuentes alternativas de energía. De la misma forma, el Programa Especial para el Aprovechamiento de E.R. establece acciones y metas alcanzables en la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica en el país, siguiendo los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Nacional de Energía y el Programa Nacional de Infraestructura.

PROGRAMAS FEDERALES

Fondos

Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía: tiene como objetivo impulsar el sector energético del país mediante proyectos, programas y acciones que promuevan el desarrollo de las E.R., y la eficiencia energética para reducir el incremento en las emisiones de GEI (Gases Efecto Invernadero).

Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética SENER-Conacyt: impulsa la investigación científica aplicada y desarrollo tecnológico para impulsar las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética.

Financiamiento

Banco Nacional de Obras y Servicios, S.N.C. (BANOBAS): Banco de Desarrollo que trabaja con el sector público y privado a través del financiamiento de proyectos de infraestructura y servicios públicos de los gobiernos locales, apoya su fortalecimiento financiero e institucional e promueve la inversión y financiamiento privado.

Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext) cuenta con fondeo externo para proyectos sustentables a largo plazo que incluyen proyectos de generación de E.R., protección y mejora ambiental y Mecanismos de Desarrollo Limpio).

Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) financia la instalación de tecnologías de ER y eficiencia energética utilizadas en para agronegocios de áreas rurales.

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE): Financiamiento a proyectos de generación y cogeneración de energía eléctrica hasta de 500 KW, para la adquisición e instalación de equipos y sistemas, con el uso de fuentes de E.R.

Programas

Servicios Integrales de Energía (SIE) para Pequeñas Comunidades Rurales en México: proyecto de electrificación rural que tiene como objetivo proveer de servicio eléctrico a aquellas comunidades aisladas del SEN con fuentes renovables. Este programa tiene como meta beneficiar a 50,000 viviendas (aproximadamente 250,000 habitantes) en un período de eje-

cución de cinco años. La primera fase se desarrolla en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México 2007-2012 (PROCALSOL): programa que impulsa el ahorro de energía en el calentamiento de agua de los sectores residencial, comercial, industrial y agrícola.

Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (PROSOLAR): programa que pretende impulsar en el corto y mediano plazo la tecnología solar fotovoltaica y garantizar el crecimiento del mercado con calidad. Esto a través de cuatro líneas de acción: 1) marco regulatorio y normativo adecuado, 2) financiamiento, 3) capacitación; e 4) información y difusión.

Es de vital importancia establecer estrategias para el mejoramiento de la educación, con la finalidad de que el alumno logre un desarrollo psicosocial, adquiera aprendizaje, logre un equilibrio en su personalidad; consigan alcanzar los conocimientos y habilidades necesarias para lograr un mejor desempeño y una mejora en su calidad de vida.

RECOMENDACIONES

Para lograr mejorar la calidad educativa se quiere un cambio en los procesos de aprendizaje del alumno, lo que implica una transformación de las funciones y tareas educativas que se desempeñan tradicionalmente, la Universidad Tecnológica de Puebla, tiene la responsabilidad de generar condiciones para formar profesionales más competentes, con formación integral.

No es suficiente hablar sobre el medio ambiente y la existencia de problemas ambientales, es fundamental desarrollar en el alumno una sólida conciencia emprendedora social y ecológica; concientizarlo en un cambio de paradigmas en hábitos y costumbres, que le permita construir, aplicar y difundir conocimientos, comportamientos y valores que contribuyan a la conservación y uso sustentable de los recursos naturales, y el mejoramiento del medio ambiente. Despertar su interés por la investigación aplicada, acercándolo al conocimiento de problemas reales, dentro del marco de las competencias profesionales de su carrera.

La Reforma Energética ofrece una gran oportunidad para impulsar las inversiones en las Energías Renovables, México se encuentra en el mejor momento para potenciar la innovación sustentable, financieramente es viable para obtener recursos públicos y privados para impulsar proyectos que utilicen energías alternas que garantizan la sustentabilidad energética a las futuras generaciones.

En el proceso de emprendimiento debe haber una colaboración estrecha entre la universidad, gobierno local y empresarios que también asuman un rol de emprendedores, comprometidos con su gestión que generen un ambiente institucional flexible e innovador fundamental para crear un buen clima para las inversiones, con visión de crecimiento, para que los proyectos que se generen al interior del centro educativo tengan una proyección exterior que aporte al desarrollo económico del país.

La contribución del emprendedurismo en la formación integral del alumno es, formar en el alumno el espíritu investigador y emprendedor, mediante el desarrollo de habilidades cognitivas, metacognitivas, motivacionales, que contribuyen a fortalecer sus procesos personales de armonía interior y satisfacción personal mediante la práctica y la reflexión individual, que dé respuesta a sus necesidades personales y profesionales.

BIBLIOGRAFÍA

[1] *Secretaría de Educación Pública, Programa Sectorial de Educación 2013-2018.*

http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/4479/4/images/PROGRAMA_SECTORIAL_DE_EDUCACION_2013_2018_WEB.pdf obtenida el 13 de marzo de 2016.

[2] *Dutrénit, G. (2012). La Estrategia de innovación de la OCDE, empezar hoy el mañana. México: Centro para la OCDE para América Latina y Foro Consultivo Científico y Tecnológico.*

[3] *Perspectivas OCDE, México Políticas clave para un desarrollo sostenible* <http://www.oecd.org/mexico/45391108.pdf>. Obtenida el 2 de febrero de 2016.

[4] *Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. Del L. (2006). Metodología de la Investigación. Diseños de investigación cuantitativa (pp.697-700). México, D.F: McGraw-Hill Interamericana.*

[5] *Arrayanes, J. (2007). Tu potencial emprendedor. México: Pearson educación.*

[6] *Asociación Nacional de Energía Solar (2015), Energías Renovables.* http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CEQQFjAGahUKEwivw7HC_ZHGAhW-JDJKHf5kAKk&url=http%3A%2F%2Fwww.anes.org%2Fanes%2Fformularios%2FPublicaciones%2Fdownload.php%3Fid%3DRER_012015.pdf%26dw%3D3&ei=q-p-Ve_BMomZyAT-yYHICg&usq=AFQjC-NE3s_srlb41kPzIwjuT-usVB62jCw, obtenida el 9 de noviembre de 2015.

[7] *Asociación Nacional de Energía Solar (2015), Energías Renovables.* <http://www.anes.org/anes/in->

dex.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=8 Obtenida el 25 de noviembre de 2015.

[8] Cortes P. (2008). *Emprendimiento e Innovación en Chile. Una tarea pendiente. Chile: Universidad del Desarrollo.*

[9] Secretaría de Economía, ProMéxico, Inversión y Comercio. (2013).http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726_DS_Energias_Renovables_ES.pdf. Obtenida el 18 de diciembre de 2015.



Gestión Educativa

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Eficiencia y eficacia de la nueva gestión pública en el ámbito educativo. Estudio de caso en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (2015)

RESUMEN: Este artículo tiene como propósito dar a conocer la eficiencia y eficacia de la gestión pública en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán: Un análisis del servicio que el estudiante recibe. Se indagó la gestión pública desde el punto de vista de la Secretaría de educación Pública, de la Organización de Estados Americanos y del Tecnológico Nacional de México. Se investigó en control escolar el total de alumnos al 1º de septiembre de 2015, con estos datos se aplicó la ecuación de poblaciones finitas para obtener el tamaño de la muestra; así mismo se diseñó el instrumento para identificar la calidad del servicio y la disposición del servidor público. La encuesta fue realizada en la entrada de la Institución; los alumnos fueron seleccionados aleatoriamente. Se concluyó que hay mayores deficiencias en el servicio en el área de control escolar, seguido de la cafetería y de la papelería (copias), en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán. La metodología utilizada para esta investigación fue mixta.

Palabras clave: alumnos, eficacia, eficiencia, gestión pública, servicio, servidor público.



Colaboración

Ernestina Gutiérrez Valverde; Alejandro Santiago Miguel; María del Rocío Santamaría Cuellar; Georgina Contreras Santos, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán

ABSTRACT: This paper seeks to highlight the efficiency and effectiveness of public administration at Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán: An analysis of service a student receives. Governance was investigated from the point of view of the Ministry of Education, the Organization of American States and the National Technology of Mexico. The number of students on 1 September 2015, with these data the equation of finite populations was used to obtain the sample size was investigated in school control; likewise the instrument was designed to identify the quality of service and the public server. The survey was conducted at the entrance of the institution; students were selected randomly. It was stated that the worst service in the Technology of Advanced Studies is to Chimalhuacán school control, followed by coffee and stationery (copies). The methodology used for this research was mixed.

Keywords: students, effectiveness, efficiency, governance, service, public servant.

INTRODUCCIÓN

El concepto de la Administración pública a partir de la mitad del siglo XX ha tenido grandes cambios, modernizando nuevas categorías, nuevas denominaciones como la de políticas públicas, gestión pública y gerencia pública. El crecimiento de los Estados y el cumplimiento de las obligaciones administrativas es una problemática que ha enfrentado el gobierno en una nueva realidad de sus acciones.

El proceso típico que se ha dado en el sector Gobierno ha sido lento, de poco crecimiento, mal manejo de recursos y la percepción que tienen la ciudadanía acerca de la administración y el servicio son precarias. Ante esta situación es necesario una nueva gestión pública que impulse a "flexionar estructuras y procesos" como señala Cejudo (2011:12)¹

Bajo esta perspectiva se ha analizado la gestión pública: eficiencia y eficacia del servicio, un caso de estudio en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (TESCHI). Problemática que se observado desde hace tiempo, que ha sido generada por el aumento de la población estudiantil. Los jóvenes constantemente son víctimas del servicio, porque no ha sido considerada la visión de la nueva gestión pública. Al observar la constante fila en control escolar, así como en la cafetería, en la papelería, en el servicio médico, servicio social y vinculación, entre otros, surge este estudio con el fin de encontrar áreas de oportunidad.

La educación en el sector pública representa una parte fundamental en el desarrollo del país. Para OEA (Organización de Estados Americanos. 2016)² señala que “La educación es un componente vital necesario para fomentar el desarrollo económico, la equidad social y la seguridad en cualquier sociedad democrática”, la SEP (2011) (Secretaría de Educación Pública) hace énfasis en la educación por niveles, que para este estudio corresponde a la Educación Superior que la define como “propiciar, a través de políticas y programas de apoyo, las condiciones necesarias para que la sociedad mexicana reciba, por medio de las instituciones de educación superior, una educación de calidad”³.

El Modelo Educativo para el siglo XXI (SNIT) establecido en la normatividad del Tecnológico Nacional de México) hace énfasis a la gestión educativa para el alto desempeño definiéndolo como “la convicción, el compromiso y la responsabilidad de diseñar y ejecutar las estrategias y las acciones idóneas para cumplir la misión y lograr la visión, de conformidad con los valores y estándares predeterminados, buscando alcanzar los máximos beneficios para la persona y la sociedad”⁴.

Sin duda alguna los conceptos antes mencionados pretenden que, a través de procesos, responsabilidades y compromisos se cumpla con los servicios para lo cual fueron creadas: brindar el apoyo incondicional al usuario.

Bajo la nueva visión de la gestión pública se buscan estrategias procesales para dar mayor eficiencia y eficacia a la gestión gubernamental; entendiendo por eficiencia hacer bien las cosas y eficacia el grado en que se alcanzan los objetivos propuestos, según la revista de Administración pública (SEAP, pag. 11)⁵. Entonces el Estado se enfrenta

a un reto de adaptación a la realidad social, que demanda una racionalidad estatal distinta a la vigente y formalizada que el Estado sigue representando. Situación que acompaña al Estado a un continuo deterioro de prestigio especialmente en la formalización jurídica considerada como rígida, lenta e inadecuada nada que ver con la eficacia.

La eficacia interviene para la resolución de problemas sociales, caracterizada porque permite la agilidad, es flexible, capaz de responder y amoldarse inmediatamente a los cambios, bajo este orden se plantea la actuación de la Nueva Gestión Pública para la efectiva realización de los intereses de la comunidad.

La nueva gestión pública difiere de política pública. Asegura que las cosas se hagan de una manera más eficiente y comercial, además para tener empatía hacia principios políticos. Creando agencias semiautomáticas para la mejora de servicios, (agencias ejecutivas como fue el caso en Gran Bretaña, Australia, Canadá, Francia) que fungen como proveedores.

No ha sido aceptada en todos los países, por lo que algunos conservan el estilo de Max Weber, que se identifica por mala organización en la que incluye ineficiencia, exceso de papeleo, desgano, deshonestidad, además se identifica por el abuso de poder arbitrario del buen juicio y habilidad superior de la gerencia, no permite el crecimiento personal, existe el conformismo y pensamiento grupal, el sistema de control es obsoleto, incapaz de asimilar nuevas tecnologías, se cierra al cambio. Bajo esta perspectiva se da inicio a la nueva gestión pública a partir de los años ochenta y noventa; encargada de modificar la gobernanza para el cual fueron creados y en la que Maestro Guillermo M. Cejudo menciona en su obra denominada Nueva Gestión Pública en la que busca: aumentar el control político sobre el servicio civil, reducir el tamaño y el costo del aparato gubernamental, mejorar los procesos de gestión inspirados por doctrinas provenientes del sector privado como lo es: Asesoría por consultores prominentes miembros de la iniciativa.

- a) Asesoría por consultores prominentes miembros de la iniciativa.
- b) Fortalecimiento del gobierno por metas.
- c) Simbiosis entre políticos y altos funcionarios.
- d) Hacer más con menos (reducción de costos)

¹ Nueva gestión pública, tomo 10 de la colección de 14 tomos, compilador Guillermo M. Cejudo.

² Organización de los Estados Americanos. Más derechos para más gente: Educación: 2016.

³ Secretaría de Educación Pública. Educación por niveles. Educación superior. Última modificación 11 de enero de 2011. “La Subsecretaría de Educación Superior (SES) es el área de la Secretaría de Educación Pública encargada de impulsar una educación de calidad que permita la formación de profesionistas com-

petitivos y comprometidos con el desarrollo regional y nacional, y que contribuya a la edificación de una sociedad más justa”.

⁴ Gestión educativa para el alto desempeño establecido en la normatividad del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos (SNIT: 71).

⁵ El Maestro Eduardo Jorge Prats, en su obra “La eficacia en la actuación de la administración pública como garantía de los derechos de los ciudadanos”, conceptualiza cuadamente la eficiencia y eficacia.

Todo lo anterior con la finalidad de realizar una difusión global con tendencia a reformar el sector público con el objetivo de mayor competencia y estructuras menos jerárquicas y rígidas, en la que exista el cambio a través de manuales de operación y de procedimientos; perfiles de puestos, reglamentos precisos que definan los ámbitos de acción de cada funcionario y agencia pública. Aplicando los mecanismos de obtención de resultados, mérito, desempeño y estabilidad.

Para el buen funcionamiento de la nueva gestión pública debe usar indicadores que junto con la gestión estratégica coadyuve en el comportamiento de los servidores públicos como lo menciona Minzberg; al incluir la organización, recursos humanos, atención al cliente.

Definir jefes y subordinados es la clave para la comprensión del trabajo de gestión pública, semejante a lo que planteo Hegel y Platón.

Este artículo propone una alternativa de reinención de la eficacia y eficiencia en la gestión pública de los servicios proporcionados por el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, enfocada a la nueva gestión pública como una alternativa para el bienestar de la comunidad estudiantil, como sostiene Sánchez (2002: 108), "La idea principal no es cambiar los fines (el qué y para qué) de la gobernanza; la tarea urgente es cuestionar y cambiar la forma tradicional y burocrática de cómo funciona la Institución"⁶, sin duda alguna el fin primordial de la nueva gestión pública es la privatización y el alejamiento de las Instituciones centrales de gobierno, con un énfasis en la subsidiaridad en la prestación del servicio, esto es subrogar los servicios, un ejemplo claro son los servicios de intendencias y el de vigilancia, son empresas externas contratadas por el Tecnológico y brinde una mejor calidad en el servicio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se consideró a los alumnos del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán que para el primero de septiembre del año dos mil quince cuenta con una matrícula de 4,660 (cuatro mil seiscientos sesenta) alumnos; distribuidos en los diferentes programas de estudio: Ingeniería Industrial 451; Licenciatura en Administración 989, Ingeniería Química 447, Ingeniería Mecatrónica 447, Ingeniería en Sistemas Computacionales 794, Licenciatura en Gastronomía 1326; e Ingeniería en animación digital y efectos visuales 206;⁷ ver figura 1.

⁶ En 1993 el Presidente Clinton promovió la creación del programa National Performance Review, un grupo especializado del gobierno federal destinado a promover y apoyar la calidad como fundamento de servicio y excelencia en los Estados Unidos.



Figura 1. Integración de Matrícula del Teschi por carrera, fechado 1º de Septiembre de 2015

Se inició con la técnica de observación que sirvió de base para el diseño del cuestionario con el propósito de la eficiencia y eficacia de los servicios proporcionados por el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán; la encuesta fue dirigida a los alumnos. En este instrumento se puede apreciar el conocimiento de la gestión pública, los diferentes servicios que otorga la Institución, el funcionamiento del servicio para determinar el desempeño de los servidores públicos (la Dirección, área académica, ni divisiones participaron en la encuesta).

Para la muestra de la población se utilizó la ecuación 1, para cálculo de poblaciones finitas⁸, con un nivel de confianza del 95%.

$$n = \frac{NZ_a^2pq}{d^2(N-1) + Z_a^2pq} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

N = total de la población 4660
 Z_a = 1.96 (con un nivel de confianza del 95%)
 p = proporción esperada para este caso es del 5% (0.05)
 q = 1 - p (en este caso 1 - 0.05 = 0.95)
 d = precisión (se usó un 5%=0.05)

Sustituyendo estos valores en la fórmula anterior para obtener el tamaño de la muestra.

⁷ Datos proporcionados por control escolar del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (2015, octubre 27).

⁸ Ecuación utilizada por el Dr. Mario Herrera Castellanos.

$$n = \frac{4660(1.96)(0.05)(0.95)}{0.05^2(4660 - 1) + (1.96)(0.05)(0.95)}$$

El coeficiente de Z_a representa la confianza:

Cuando la seguridad de Z_a es de 90% el coeficiente será de 1.645

La seguridad de Z_a fuera de 95% el coeficiente será de 1.96

La seguridad de Z_a fuera de 97.5% el coeficiente será de 2.24

La seguridad de Z_a fuera de 99% el coeficiente será de 2.576

La aplicación del instrumento se realizó en la entrada del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán. Los alumnos seleccionados fueron de forma aleatoria.

Los estudiantes que contestaron el cuestionario estaban renuentes, uno de sus comentarios fue "nunca nos hacen caso".

Se utilizó la metodología cuantitativa y cualitativa. La investigación cuantitativa usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.⁹ Hernández (2010: 8)

Características:

Los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y deben analizarse a través de métodos estadísticos para ser cuantificables.

Se pretende generalizar los resultados encontrados en un grupo (muestra) a una colectividad mayor (universo o población).

La búsqueda cuantitativa ocurre en la realidad externa al individuo. Esto conduce a una explicación sobre cómo se concibe la realidad con esta aproximación a la investigación.

Al final, con los estudios cuantitativos se pretende explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos. Esto significa que la meta principal es la construcción y demostración de teorías (que explican y predicen).

⁹ El autor Roberto Hernández Sampieri, en su obra *Metodología de la investigación parte 1 los enfoques cuantitativos y cualitativos en la investigación*.

El enfoque cualitativo hace uso de la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación. (Hernández Sampieri).

Características

El investigador plantea un problema, pero no sigue un proceso claramente definido. Sus planteamientos no son tan específicos como el enfoque cuantitativo.

El enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados. No se efectúa una medición numérica. La recolección de los datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes (sus emociones, experiencias, significados y otros aspectos subjetivos). Es importante considerar las interacciones entre individuos, grupos o colectividad. El investigador recaba datos expresado a través del lenguaje escrito, verbal y no verbal, así como visual, los cuales describe y analiza y los convierte en temas.

El enfoque cualitativo puede definirse como un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo visible, transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos. Es naturalista (porque estudia a los objetos y seres vivos en sus contextos o ambientes naturales) e interpretativo (intenta encontrar sentido a los fenómenos en términos de los significados que las personas les otorgan).

Un patrón fundamental para esta investigación es la cultura.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez realizadas las encuestas y analizados los datos obtenidos se determinó la calidad de las áreas del servicio para con el alumno; de esta manera se pudo determinar que el departamento de control que se encuentra en el edificio "D" del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, brinda un servicio deficiente, el personal tie-



Figura 2. Deficiencia del servicio en el TESCHI

ne una actitud prepotente, está mal organizado debido a que no utilizan un software para realizar los trámites por internet, el tiempo de espera para atender al usuario oscilan entre 30 a 60 min; en segundo lugar se detectó la cafetería y en tercer lugar se encuentra el servicio de copias. Ver figura 2.

Recordando que la eficacia está orientada a la resolución de problemas sociales que permita la agilidad, la flexibilidad para amoldarse a los cambios con el fin de brindar el apoyo incondicional al usuario, resultado que permite precisar que no se está cumpliendo con los objetivos emanadas por la gestión pública del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán.

Concluyendo

Es conveniente que el personal del departamento de control escolar sea capacitado en relaciones humanas, para poder realizar adecuadamente sus funciones.

Así mismo, mantener una mejor organización con la ayuda de un software que cumpla con la capacidad requerida por la Institución.

Conocer la nueva gestión pública coadyuvaría a mejorar los servicios en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán.

La nueva gestión pública está enfocada al buen funcionamiento de los servicios y el buen uso de los recursos para atender al usuario y dar cumplimiento a los objetivos de la gobernanza. Uno de los aspectos que maneja la NGP es dar participación a los particulares para que desarrollen adecuadamente las funciones. Con esto se quiere decir que la cafetería y la papejería (copias) sean atendidos por personas ajenas a la institución que muestren la capacidad de mejorar el servicio y el costo. A pesar de que las personas que atienden estos servicios son ajenas al TESCH no se ha visto ninguna mejora.

Cabe hacer mención que no se analizó el servicio de Dirección, ni el académico, se considerará para un nuevo estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Libro

[1] *Biblioteca Básica de Administración Pública.* (2011). *Nueva gestión pública.* (1ª ed.). México: Guillermo M. Cejudo.

Fuentes electrónicas

[2] *Organización de los Estados Americanos. Más derechos para más gente.* (2015). *Educación.* Consultado el 29, de octubre de 2015, página web: <http://www.oas.org/es/temas/educacion.asp>

[3] *Secretaría de Educación Pública.* (2011). *Educación por niveles.* Consultado el 29, de octubre

de 2015, página web: https://www.sep.gob.mx/es/sep1/educacion_por_niveles

Publicaciones oficiales de algún gobierno

[4] *Secretaría de Educación Pública. Dirección General de Educación Superior Tecnológica.* . (2012). *Modelo Educativo para el siglo XXI- Formación y desarrollo de competencias profesionales.* México.

Artículos de Revistas Científicas

[5] *Prats, E.* (2008). *La eficacia en la actuación de la Administración Pública como garantía de los derechos de los ciudadanos.* *Revista de Administraciones Públicas, Modernización de la Gestión Pública (SEAP),* pp.12-13.

Libros

[6] *Sánchez, J.* (2002). *Gestión Pública y Gobernance.* México: Instituto de Administración Pública del Estado de México.

Informes (Reports)

[7] *Control escolar del Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán* (2015). *Reporte de matrícula al 1º de septiembre de 2015.*

Fuentes electrónicas

[8] *Fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas.* (2011). Consultado el 1 y 2 de Noviembre de 2015,

página web:

<https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>

Libro

[9] *Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P.* (2010). *Metodología de la Investigación.* (5ª ed.) Interamericanos editores, S.A, de C.V., México, D.F.



Gestión *Educativa*

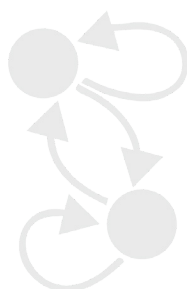
Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Pronóstico de cadenas Markov para la planeación de estrategias comerciales en la empresa Marinter, S. A. de C.V.

RESUMEN: En este artículo se presentan los resultados de la investigación llevada a cabo en la distribuidora Marinter, S.A. de C.V.; empresa dedicada a comercializar productos de abarrotes con la finalidad de aplicar métodos estocásticos y generar un pronóstico al producto, "Salsa de la Viuda", el cual se seleccionó por ser el de menor desplazamiento, con la finalidad de replantear estrategias comerciales, de producción, entre otras, para incrementar las ventas del mismo. Lo significativo de esta investigación es que el pronóstico obtenido sigue la metodología de Cadenas de Markov, que nos permite beneficiar cambios en la organización y comprobar la aplicación práctica de esta metodología al trabajar con datos reales.

Palabras clave: cadenas de Markov, métodos estocásticos, pronósticos, metodología de Markov, decisiones de compra.



Colaboración

Felipe de Jesús Dorantes Benavidez; Humberto Dorantes Benavidez; Marco Antonio Acosta Mendizábal, Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México

ABSTRACT: This article presents the results of research carried out in the present Marinter distributor, S.A. of C.V. .; dedicated to sell grocery products in order to apply stochastic methods and generate a forecast product, "Salsa Widow," which was selected as the smaller displacement, in order to rethink commercial, production strategies, among others, to increase sales of the same. The significance of this research is that the prognosis obtained follows the Markov chains methodology that allows us to benefit from changes in the organization and verify the practical application of this methodology to work with real data.

Keywords: Markov chains, stochastic models, forecasts, methodology Markov purchasing decisions.

INTRODUCCIÓN

El objetivo general de esta investigación es generar un Pronóstico de Cadenas de Markov que permita generar una planeación estratégica de tipo comercial con el propósito de posicionar al producto "Salsa de la Viuda".

Se decide analizar los datos históricos para obtener datos "futuros" y hacer uso de los mismos para desarrollar ciertas estrategias de múltiples aplicaciones. La metodología utilizada, la obtención de los datos, el procesamiento de los mismos, su interpretación y sugerencias posibles a la solución del problema están debidamente fundamentados con conceptos de autores en el tema.

Hemos definido el tamaño de la muestra con aplicación de ecuación matemática para poder emplear la metodología de Cadenas de Markov, partiendo del hecho que el método proviene de un método especial estocástico de probabilidad donde el evento futuro depende obligatoriamente del inmediato anterior.

La investigación se ha realizado bajo la autorización de la empresa, por lo que hace de esta un caso de estudio, pudimos experimentar la manera de ejercer la teoría en un caso real, dando énfasis a la aplicación matemática. El resultado se resume a que se deben formular nuevas estrategias comerciales para lograr ganar mayor impulso comercial al producto de estudio.

Se determinaron las variables aleatorias explorando todas las características del fenómeno de ventas del producto, cuidando que la variable tiempo permanezca constante, ya que de ello depende el resultado de la presente investigación, por las ya conocidas curvas de preferencia del consumidor en períodos estacionales. El tiempo entonces, al ser la variable aleatoria dependerá del fenómeno probabilístico, teniendo por consecuencia cualquier otra variable aleatoria como la densidad poblacional y está también será dependiente del tiempo.

La variable observada puede ser económica (I.P.C., demanda de un producto, existencias en un determinado almacén, etc.), física (temperatura de un proceso, velocidad del viento en una central eólica, concentración en la atmósfera de un contaminante, etc.) o social (número de nacimientos, votos de un determinado partido, etc.). Supondremos a lo largo del tema que los datos se obtienen en intervalos regulares de tiempo (horas, días, años) y el objetivo es utilizar la posible "inercia" en el comportamiento del consumo de la serie con el fin prever su evolución futura.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se inicia con la identificación y recolección de datos de las ventas del mes de mayo del 2014. De los tres competidores del producto "Salsa de la Viuda". Una vez obtenida la información se modela a través de un proceso con cadenas de Markov, el cual requiere de datos de entrada para poder calcular las probabilidades de transición. Es decir la transición a un estado siguiente solo depende del estado presente en que se encuentre el sistema y no importa el recorrido que ha hecho para llegar al estado presente en este tipo de procesos la variable aleatoria de estados y el parámetro t (tiempo) se consideran variables discretas. [1]. Las cadenas de Markov permitirán conocer la situación actual de los consumidores por desplazarse en un lapso de tiempo hacia un centro comercial, el número de clientes fieles y el número de clientes que adquirirían el producto dicho anteriormente en algún otro centro comercial en específico, es lo que se pretende investigar ya que dicha información servirá a la empresa Marinter S. A de C.V. sobre que decisiones tomar para el buen suministro de insumos así como tener una mejor estrategia comercial.

Posteriormente se procedió a verificar la metodología necesaria porque un estudio de Markov está enfocado a la teoría de muestreo. [2] Sin embargo, para este tra-

bajo se decide tomar la totalidad de los registros de las ventas por lo que se toma el censo de dicha población. Se define entonces el cálculo del tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población. Fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el tamaño de la población es la siguiente:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot x(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

En dónde:

- $N =$ Tamaño de la población,
- $Z =$ Nivel de confianza,
- $P =$ Probabilidad de éxito, o proporción esperada.
- $Q =$ Probabilidad de fracaso,
- $D =$ Precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

Para efecto del presente estudio, se tienen definido una población de 224067 personas potenciales para el análisis; a esta población se calcula el tamaño de la muestra para definir el estudio y con ello conocer la preferencia del mercado referido al producto Salsa de la Viuda Picante de 150ml., relacionado al formato de tienda. La población en el sector de interés es de 224067.

Seguridad = 95%;

Precisión = 3%;

Proporción esperada = asumamos que puede ser próxima al 5%; si no tuviese ninguna idea de dicha proporción utilizaríamos el valor $p = 0.5$ (50%) que Maximiza el tamaño muestral:

$$n = \frac{(224,067) \cdot (1.96)^2 \cdot (0.05) \cdot (0.95)}{(0.03)^2 \cdot (224,067 - 1) + (1.96)^2 \cdot (0.05) \cdot (0.95)} = 202.5687$$

∴ El cálculo del tamaño de muestra indica que se requiere encuestar 203 personas para tener la seguridad de 95%.

Conclusiones sobre el nivel de seguridad en el muestreo. Según diferentes seguridades, el coeficiente de $Z\alpha$ varía así:

- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

Si los recursos del investigador son limitados, debe recordar que a medida que se disminuya el nivel de seguridad, se permitirá un mayor error en el estudio de investigación, lo cual a su vez permitirá al investigador trabajar con un

número de muestra más reducido, sacrificando la confiabilidad de los resultados.

Posteriormente se decide aplicar un cuestionario basado en la escala de Likert. La escala de Likert es de nivel ordinal y se caracteriza por ubicar una serie de frases seleccionadas en una escala con grados de acuerdo/ desacuerdo. Estas frases, a las que es sometido el entrevistado, están organizadas en baterías y tienen un mismo esquema de reacción, permitiendo que el entrevistado aprenda rápidamente el sistema de respuestas. La principal ventaja que tiene es que todos los sujetos coinciden y comparten el orden de las expresiones. Esto se debe a que el mismo Likert (psicólogo creador de esta escala) procuró dotar a los grados de la escala con una relación de muy fácil comprensión para el entrevistado [3]. La finalidad de poder determinar cuál de las tres tiendas comerciales cuenta con mayor demanda de consumo del producto salsa de la viuda. Responde cada alternativa de respuesta con un número del 1 al 5. Donde 1 es nunca y 5 que es el otro extremo es = a siempre.

Para conocer la preferencia del producto “Salsa de la Viuda” y la lealtad de los consumidores se aplicó una encuesta electrónica con ciertos clientes y su sentir con las diferentes marcas; la información obtenida se presenta en la Tabla 1 nos ayudará a conocer preferencias y se correlacionarán con los datos de ventas para tratarlos en las matrices del método de Markov.

Tabla 1. Resultados de la encuesta para conocer la lealtad de los clientes.

Bodegas	Número de encuestados	Número de clientes fieles	Números de clientes que cambian	Cambio presentado por los clientes
A. Centro Comercial Horizonte	72	30	42	22 a B 20 a C
B. Centro Comercial Ixtapaluca	71	40	31	15 a A 16 a C
B. Centro Comercial Vicente Guerrero	60	25	35	20 a A 15 a B
Totales	203	95	108	

En la última columna se indican las marcas mediante sus iniciales; por ejemplo, en el primer renglón, A. Centro Comercial Horizonte ha perdido 42 clientes, de los cuales, según la última columna de ese renglón, 22 se cambiarán a B. Ixtapaluca, 20 a C. Vicente Guerrero. Con estos resultados se puede planear una estrategia comercial para recuperar a sus clientes y aumentar su abastecimiento de mercancía, con esta información también se pueden plantear diversas estrategias para incrementar las ventas.

Finalmente la generación del modelo a través de la recolección de los datos permite estudiar el comportamiento a futuro del sistema de pronóstico de cadenas de Markov. [4]. Este define un número finito de estados representados por cada preferencia de compra, además de existir dos estados más (número de clientes fieles, números de clientes que cambian). Los consumidores al inicio de cualquier compra presentan las condiciones de seguir comprando el producto en el mismo centro comercial o cambiar de producto y centro comercial. Dichas, bodegas se encuentran ubicadas en el estado de México ambas pertenecen a la misma empresa. Tomando como población ciertos municipios del Estado de México, mismos que fueron seleccionados por la cercanía que se tienen con el centro de distribución de la compañía. Hacemos referencia a la información presentada en la tabla 2, donde se expresan los tres competidores más significativos al producto “Salsa de la Viuda” y las ventas alcanzadas en el mes de mayo del presente año.

Tabla 2. Ventas en miles de pesos de los competidores del producto “Salsa de la Viuda” del mes de mayo del 2014.

Bodegas (de la región)	Ventas Mensuales (miles de pesos)	(%) de Mercado
A. Centro Comercial Horizonte	449	42.08
B. Centro Comercial Ixtapaluca	420	39.36
C. Centro Comercial Vicente Guerrero	198	18.55
Totales	1,067	100

Para resolver este problema utilizamos la información de las encuestas que se halla resumida en la tabla 1, denotando cada bodega por su letra inicial, así, para la bodega A. Centro Comercial Horizonte se encontraron 30 clientes fieles en la misma bodega los 42 clientes restantes cambiarán de bodega, de ellos 22 se irán a B. Ixtapaluca y 20 a C. Vicente Guerrero con esto se tienen las probabilidades de lealtad buscadas, esta razón matemática aplica para las demás bodegas siguientes, se muestra la información en la tabla 3:

Tabla 3. Ejemplo de obtención de razón de clientes leales para A, B Y C.

Bodega	Razón (clientes fieles/ Cambio presentado por los clientes)	Resultado
A	30/72	0.416
B	22/72	0.3055
C	20/72	0.2777

Posteriormente se deben de reunir las probabilidades de transición una vez obtenida la razón de clientes leales de A, B Y C, expresándose en una matriz de transición, mostrada en la en la Tabla 4. La cual nos permitirá realizar los cálculos para determinar la matriz de probabilidades que nos servirá para conocer de tres estados, es decir la decisión final de los clientes por elegir el mejor centro comercial también se podrá saber que clientes se mantienen fieles al producto y el número de consumidores que cambian de bodega.

Tabla 4. Matriz de probabilidades

		A	B	C
Matriz P=	A	0.416666667	0.305555556	0.277777778
	B	0.563380282	0.211267606	0.225352113
	C	0.416666667	0.333333333	0.25

Una vez que se tiene la matriz de transición. Que debe obtenerse mediante la información de la cadena Marcoviana, como no es posible derivarla matemáticamente, entonces será posible obtener la situación del sistema para uno o varios periodos posteriores. Para ello se utilizan las ecuaciones de Chapman-Kolmogorov (Hillier y Liberman, 1991), cuya Fórmula general es:

$$Q(m) = Q(0) p^m$$

dónde:

$Q(m)$ = Vector de codificaciones al sistema para el período m .

$Q(0)$ = Vector de codificaciones para el período inicial

m = Número de periodos Transcurridos

p = Matriz de transición

Se utiliza la multiplicación matricial, ya que tanto el vector $Q(m)$ como el $Q(0)$ son de $1 \times n$, es decir, un renglón y n columnas, donde n será el número de estados de la cadena, mientras que la matriz P será de $n \times n$, y se cumple con las reglas de la multiplicación matricial (Landeta, 2012), que señalan que el número de columnas de la primera matriz es igual al número de renglones de la segunda. Así, para obtener la matriz renglón mostrada en la tabla 5. Se realizan las siguientes operaciones:

Tabla 5. Matriz de Renglón

	(%) de Mercado A /100	(%) de Mercado B /100	(%) de Mercado C /100
Matriz B=	42.08/100= 0,4208	39.36/100= 0,3936	18.55/100= 0,1855

Por tanto se realizó el cálculo de los las participaciones de mercado de las diferentes bodegas del caso base las particiones de mercado constituyen el vector de condiciones de la cadena de Markov, siendo las iniciales (del Período 0) que se toma como:

$$Q(0) = (0.4201 \quad 0.3936 \quad 0.1855)$$

Se realizan los cálculos para obtener la matriz de partición de los clientes en los centros comerciales con la multiplicación del método de Gauss-Jordan entre la Matriz B x Matriz P los datos obtenidos se muestran en la Tabla 6, muestra las preferencias de los clientes en los diferentes centros comerciales. En las cuatro semanas del mes de mayo del 2014.

Tabla 6. Participación de los clientes en los centros comerciales

Periodo (semanas de Mayo)	A	B	C
0	0.4201	0.3936	0.1855
1	0.4740	0.2733	0.2517
2	0.4564	0.2865	0.2562
3	0.4583	0.2854	0.2554
4	0.4582	0.285	0.2554

Se puede observar que los clientes de los diferentes centros comerciales son cambiantes en los primeros periodos que en los subsecuentes pues las preferencias de mercado son cambiantes en la figura 1.

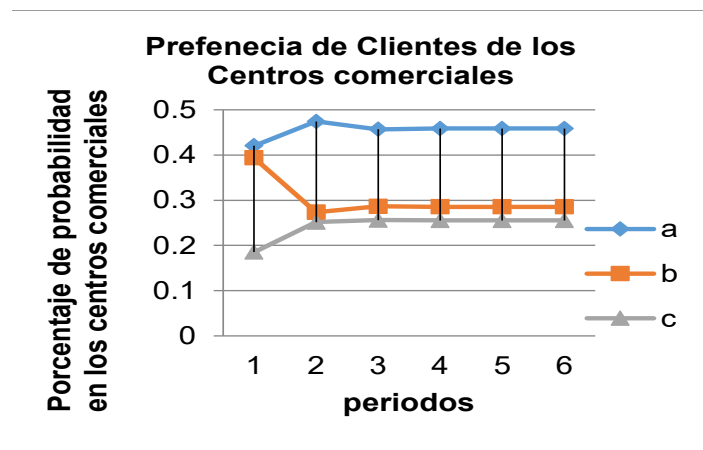


Figura 1. Matriz de probabilidades

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que en las primeras semanas del mes de mayo la tendencia de los clientes por la adquisición del producto salsa de la viuda es muy escasa, el porcentaje de probabilidad de venta no es el adecuado por lo que se sugiere que se realice un análisis de mercado de dicho producto y una restructuración en la estrategia comercial, sin embargo no considera el modelo factores ambientales debido a que no existe técnica exacta que permita conocer el comportamiento de los datos en

situaciones diversas. Es importante tener en cuenta, que esta técnica es considerada como una herramienta de tipo estocástica, es decir la probabilidad de ocurrencia de un evento depende del evento anterior inmediato. Sin embargo, al verificar el comportamiento de los datos de la investigación resulta confiable esta aplicación.

Se han aplicado las cadenas de Markov con el objetivo de obtener un nivel de probabilidad dado para determinar la Preferencia de los Clientes en los Centros comerciales. A través de las ecuaciones de Chapman – Kolmogorov que proporcionan un método para obtener las probabilidades de transición en n pasos, a partir de las relaciones recursivas entre probabilidades, obteniéndose que el porcentaje más alto de preferencia lo tiene el Centro Comercial del Horizonte y la menor preferencia el centro Comercial Vicente Guerrero de lo que podemos concluir que existe una estabilidad comercial en el Centro Comercial Horizonte, pero se necesita considerar una mejor estrategia comercial en el Centro comercial del Vicente guerrero para evitar tanta movilidad entre sus clientes.

Los resultados en cuanto al tiempo de observación es significativo no se necesita tener mayor datos estadísticos puesto que las ventas en los centros comerciales son por día y representan ganancias en miles de pesos por tanto la estadística de todo el mes de mayo del 2014, tienen una medida en términos monetarios, que representa cifras muy significativas por lo cual se tiene que hacer mejoras en el centro Comercial Vicente Guerrero para evitar el constante cambio de sus consumidores.

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación pueden usar esta herramienta con un análisis de mayor exactitud y con ello permitir conocer con anticipación la preferencia comercial de los clientes. No existe modelo matemático exacto la mayoría está limitado a que exista un método de tipo cuantitativo que permita conocer una predicción que detecta deficiencias en el sistema. Se debe considerar que la reincorporación de los clientes a cada uno de los centros comerciales no aplica para este caso pero se puede plantear otra vertiente, considerando el tiempo de transición de una condición a otra, es decir que los consumidores se incorporen una vez desertados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Deboya, J. C., & Barrera, M. (2006). *Convergencia de las Cadenas de Markov*. Redalyc, 73-78.
- [2] Jesús Rodríguez, A. I. (2010). *Estadística Aplicada II*. México: Patria.
- [3] Tampico, I. C. (2000). *Acervo Bibliotecologia Escalas de Likert*. Recuperado el 4 de enero de 2014, de <http://www.ict.edu.mx>
- [4] Ibarra, L. F. (2009). *Predicciones de Markov Aplicadas en el Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET)*. Venezuela. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*, 14.
- [5] Hillier, F., & Lieberman, G. (1991). *Introducción a la investigación de Operaciones*. México: McGraw Hill.
- [6] Landeta, J. M. (2012). *Investigacion de Operaciones*. México: Trillas.
- [7] Martínez, T. L. (Noviembre de 2011). *Aplicaciones no Convencionales de Cadena de Markov*. Lima, Perú: Tesis.
- [8] Norris, J. R. (2009). *Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics*. United States of America: Cambridge University Press.
- Rodríguez, A.I, J. (2010). *Estadística Aplicada II*. México: Patria.
- [9] Rogerson, P. A. (1979). *Prediction: A Modified Markov Chain Approach*. *Journal of Regional Science*, 469-478.
- [10] Ross, S. M. (2014). *Introduction to Probability Models*. Usa: Academic Press.



Calidad *y* Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Simulación de propuesta de mejora para línea de producción en la empresa RT Automotriz, mediante software FlexSim

RESUMEN: El rediseño de la distribución y manejo de materiales de una línea de producción basado en el análisis del proceso de manufactura mediante el software de Simulación de procesos FlexSim®, que fue validado mediante el uso del software para análisis estadístico Minitab®, permitió apreciar el desempeño de una propuesta de mejora que incrementa significativamente la productividad en la línea.

La estrategia de emplear la simulación de procesos para la mejora de los mismos, permite experimentar diversos escenarios sin irrumpir en el mundo real e implementar los cambios considerados mediante el análisis de modelos virtuales que sean representativos de la mejor situación o del efecto deseado en el sistema a simular. Considerando lo anterior, mediante el software de simulación se analizaron los resultados obtenidos en el incremento en la capacidad productiva general de la línea de un 8% ante las siguientes acciones: disminuir considerablemente recorridos y actividades de manejo de material, disminuir la cantidad de materia prima en proceso y dar énfasis en la operación eficiente de la restricción del sistema, determinada mediante el análisis del modelo. Parte de los resultados obtenidos es que el modelo ha servido de base a la empresa para redefinir sus estrategias para el incremento de la producción.

Palabras clave: mejora de procesos, simulación, transporte de materiales, FlexSim, estudio de tiempos y movimientos, Modelo.



Colaboración

Daniel Napoleón Gómez Balbuena, Rebeca Guadalupe Ortiz Mena, Armando Olvera Jiménez, Yaraset Reyes Sanchez, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

ABSTRACT: The distribution and materials handling for the redesign of a production line, based on the manufacturing process analysis by process simulation software FlexSim®, which was validated by statistical analysis Minitab software, allowed to appreciate a proposal performance which significantly increases the productivity line.

The strategy of using process simulation to improve them can experience various scenarios without breaking into the real world and implement the changes considered by analyzing virtual models that are representative of the best position or desired effect on the system to simulate.

Therefore, through the simulation software has been analyzed the outcome results in the increase of the general productive capacity of the 8% line by the following actions: considerably reduce paths and material handling activities, redefine the raw material process and to give emphasis on the efficient operation of the system's constraint determined by analyzing model. Some of the results are that the model has served as a company basis, to redefine their increasing production strategies.

Keywords: simulation, FlexSim, process improvement, material handling.

INTRODUCCIÓN

La simulación es una técnica para el análisis y modelado de sistemas, generalmente por medio de una computadora con software apropiado, es un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas dinámicos de todo tipo para poder analizarlos, evaluarlos y mejorarlos. Usada desde hace más de 50 años para aplicaciones comerciales, su importancia e influencia en la toma de decisiones ha ido en

constante aumento, a la par que su grado de complejidad disminuye. Son muchas las empresas de todos niveles y de varios países las que la utilizan. Y esto está en relación directa al mejor entendimiento que se tiene de dicha herramienta, la baja de los costos tanto en equipos de cómputo como software y los avances en la tecnología de la computación.

Nos permite tomar una situación ya sea real o hipotética que sea de interés, replicarla mediante algún software de simulación, y experimentar en un ambiente que no implica riesgos físicos o económicos, tantas veces como se desee y con tantos cambios como el programador sea capaz de implementar en la simulación.

Una vez realizados los experimentos deseados, podemos analizar los resultados obtenidos durante la simulación, y en base a éstos, tomar decisiones cuyo impacto sea entonces ya previsto.

Con el objetivo de atraer nuevos clientes e incrementar su margen de utilidad, la empresa RT Automotriz, S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Nopala de Villagrán, localidad de San Sebastián Tenochtitlán., Hgo., México, dedicada a la manufactura de productos troquelados para el sector Automotriz, emplea como estrategias para la mejora de la calidad y de la productividad, la renovación de su equipo de proceso, el aumento de la mano de obra y el incremento de horas de producción. Estrategias que implican la reducción del margen de utilidad y que no necesariamente representan la mejor alternativa. Ante un incremento sustancial en los requerimientos de su cliente principal, la empresa buscó apoyo en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU) para realizar un análisis de uno de sus procesos productivos y determinar la forma más adecuada para elevar el nivel de producción en la línea del Bead Plate, donde se realizan operaciones de troquelado, torneado, maquinado y planchado de dicha pieza, requerida como base en las bolsas de aire de tractocamiones.

Ante el reto, se decidió utilizar la herramienta de Simulación, como base de experimentación para la prueba de distintos escenarios entre los que se contemplaban las propias estrategias ya mencionadas de la empresa para el incremento de la productividad. Los datos obtenidos al analizar la línea de producción sirvieron de base para la elaboración de un primer modelo de simulación por software, que simula la situación actual, desde un primer proceso en la Prensa Troqueladora número 23, donde la materia prima base, recibida en rollos de metal, es cortada en forma circular; hasta la Troqueladora número 10, procesos durante los cuales se conforma el plato con dos barrenos, un bisel y un tratamiento para alinear la base. Mediante estudio de tiempos y movimientos, procedimiento que usa cronometro para establecer están-

dares [1], se determinaron los tiempos ciclo de cada operación, los cuáles se representan en el gráfico 1, donde se aprecia que el proceso de torneado representa la restricción del sistema, razón por la cual la directiva de la empresa contemplaba para el incremento de la capacidad productiva la compra de otro torno. Con base a lo anterior, el enfoque principal de este proyecto para cumplir los objetivos tendientes a incrementar la capacidad productiva, se centraron en la mejora substancial del proceso de torneado.

MATERIAL Y MÉTODOS

¿Por qué utilizar la simulación de procesos? "La complejidad en la operación de los sistemas de producción y servicios de la actualidad requieren de una modelación cada vez más apegada a la realidad, que permita un análisis profundo y detallado. Por ello, herramientas que permitan modelar esta complejidad se hacen relevantes y necesarias" [2]. "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema" [3].

Para el desarrollo del proyecto se utilizó simulación mediante software FlexSim®, "FlexSim® es una potente herramienta de análisis que ayuda a los ingenieros y programadores a tomar decisiones inteligentes en el diseño y operación de un sistema, a través de la elaboración de un modelo de computadora de tres dimensiones de un sistema de la vida real, y a continuación, estudiar ese sistema en un marco de tiempo más corto y con menor coste que con el sistema actual" [3].

El planteamiento del problema se centra en las siguientes dos preguntas de investigación: ¿La redistribución de la línea de producción basada en el modelo inicial, permitirá incrementar el nivel de producción de la empresa RT Automotriz?

¿Qué impacto tendrá en el nivel de producción de la empresa RT Automotriz mejorar el manejo de la materia prima en proceso? Como Soporte Teórico para la construcción de un modelo de simulación, que permitiera analizar la situación actual de la línea de producción del Bead Plate, se aplicó la metodología estructurada para la realización del modelo propuesta por [2] (ver figura 1).

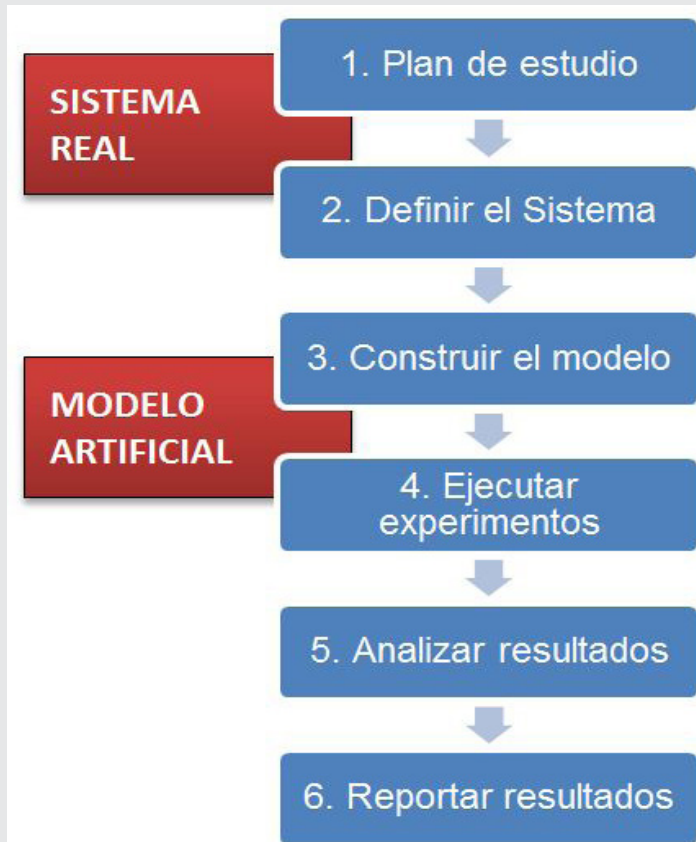


Figura 1. Metodología para construir un modelo de simulación. [2]

Desarrollo de la Investigación

A. Plan de estudio.

En esta etapa se definieron los objetivos generales y específicos del estudio, las configuraciones del sistema a ser modeladas, las medidas de desempeño que permitirán evaluar las diferentes configuraciones del sistema, el marco de tiempo, los recursos y el software a ser utilizado. Todos elementos indispensables para el desarrollo del modelo.

En cuanto al software, se eligió FlexSim® dada su característica de modelación en tres dimensiones para lograr una mejor visualización del área bajo estudio y poder presentar de manera más representativa los cambios propuestos al empresario.

1) Como primer paso de ésta etapa se definieron los objetivos del Modelo y del proyecto de investigación.

Objetivo General. Incrementar la capacidad productiva de la empresa RT Automotriz en un 15%, en la línea de producción del Bead Plate, basándose en análisis por software para simulación de procesos.

Objetivos Específicos. Desarrollar un modelo que simule las mejoras sugeridas mediante el análisis del modelo base.

Mejorar el flujo del manejo de material en la línea de producción del Bead Plate.

Disminuir el desperdicio en movimientos derivados por las actividades de carga y descarga de materia prima en proceso en los tornos.

2) Después de definir los objetivos, se identificaron las restricciones y el alcance para la elaboración del Modelo en torno a los recursos para la elaboración del mismo.

Tiempo disponible para la toma de tiempos (2 horas una vez a la semana durante 5 semanas de 9am a 11am)
 Tiempo disponible para la programación en Software FlexSim® del Modelo (2 hrs diarias de Lunes a Viernes)
 Tiempo asignado para la elaboración del modelo del sistema original y el modelo propuesto: 2 meses.

El modelo está delimitado a los procesos de la línea del Bead Plate, desde la Prensa Troqueladora número 23, donde la materia prima base es recibida en rollos de metal y es cortada en forma circular; hasta la Troqueladora número 10, procesos durante los cuales se conforma el plato con dos barrenos, un bisel y un tratamiento para alinear la base. No son consideradas actividades como la entrega de producto terminado al área de almacén ni los posteriores a éste, dado que no son significativas para el incremento de la producción.

3) Conocer especificaciones del modelo. Se mencionan algunas (las que permite publicar la empresa):

Horario de trabajo

lunes a viernes de 7:00 a 17:00 horas.

Abastecimiento de materia prima a la línea de producción

10,000 toneladas de Hoja de Acero ... (Se omite el tipo), 1 vez por mes.

Operadores

Descanso. 1 Hora. De 10 a 10:30 am

Velocidad desplazamiento de materia prima:

- 6.4 Km/h (Sin Carga)

- 5 Km/h (Con Carga)

Capacidad de carga de contenedores

Tornos y troqueladora número siete. Contenedores de 200 piezas (que deben ser llenados antes de pasar al siguiente proceso).

Troqueladoras Núm 10, 11 y 12. Contenedores de 30 piezas. Con una carga promedio de 10 piezas.

Cambio de herramental en Tornos. Cada 4 horas (4 veces por turno) con una duración de 20 a 30 min.

Tiempo Muerto en Tornos. 1 hora al día debido a causas asignables a los operadores.

4) Desarrollar Planeación.

La planeación y la definición de actividades se realizaron, apoyándose en el software MS Project. Se siguió la estructura de éste, al definir en base a la metodología

gía de 6 pasos, 6 fases principales y según cada paso, fueron las actividades a desarrollar, los recursos asignados a cada actividad fueron miembros del equipo conformado por personal de ingeniería de la empresa y personal docente y alumnos de la carrera de ingeniería industrial del ITESHU, también se definió para cada actividad las fechas programadas de inicio y fin y también las relaciones de comienzo y fin entre actividades.

B. Definir el sistema

Para la construcción del modelo de simulación se debe definir el sistema real bajo estudio mediante la obtención de datos, con el objeto de que el modelo de simulación represente lo más cercano posible la realidad del proceso.

1) Determinar Información Requerida. Se listan los datos necesarios para la elaboración del modelo:

Medidas

- Dimensiones del producto en cada paso del proceso
- Dimensiones del Área de la línea de Producción
- Dimensiones de cada uno de los equipos de la línea de producción
- Dimensiones de todos los contenedores
- Distancias y rutas recorridas por los operadores en cada operación

Tiempos

- De Proceso para cada estación
- De carga y descarga de materia prima en cada estación
- De cambio de modelo.
- De recorrido por los operadores en cada operación.
- De cambio de herramental en los tornos
- De carga de los contenedores.
- De acomodo de materia prima

Variables

Variable dependiente

- Número de piezas producidas en la línea durante un turno de trabajo

Variables independientes

- Tiempos de ciclo de cada una de las estaciones involucradas en el proceso
- Tiempo que utilizan los operarios en traslados de material en proceso

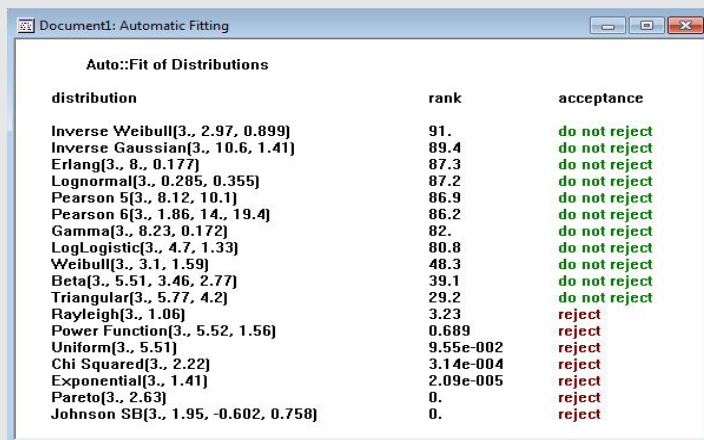
2) Recabar Datos de Fuentes apropiadas de información.

Como herramienta de apoyo para la recolección de datos y todo lo concerniente al proceso de fabricación del Bead Plate, se tomó un video de cada estación para identificar las principales operaciones realizadas en cada proceso y determinar las rutas de transporte. Siendo el proceso de manera general como sigue:

1. Recepción e inspección de lámina de acero
2. Transporte hacia Troqueladora Núm. 7.
3. Troquelado para conformar Plato

4. Transporte hacia Tornos 13 y 25 mediante una banda transportadora.
5. Torneado de plato para formar bisel en orillas
6. Transporte hacia Troqueladora Núm. 12 mediante la banda transportadora.
7. Engrasado
8. Troquelado para barreno 1
9. Troquelado para barreno 2
10. Aplanado
11. Inspección
12. Almacén

La recolección de los datos se realizó a lo largo de un período de 5 semanas. Realizada la recolección de los datos, se procedió a analizarlos estadísticamente utilizando el Software Minitab® y el de SatFit® para determinar los tipos de distribuciones estadísticas a emplear para simular el comportamiento de cada proceso y posteriormente incluirlos en el modelo de simulación.



distribution	rank	acceptance
Inverse Weibull[3., 2.97, 0.899]	91.	do not reject
Inverse Gaussian[3., 10.6, 1.41]	89.4	do not reject
Erlang[3., 8., 0.177]	87.3	do not reject
Lognormal[3., 0.285, 0.355]	87.2	do not reject
Pearson 5[3., 8.12, 10.1]	86.9	do not reject
Pearson 6[3., 1.86, 14., 19.4]	86.2	do not reject
Gamma[3., 8.23, 0.172]	82.	do not reject
LogLogistic[3., 4.7, 1.33]	80.8	do not reject
Weibull[3., 3.1, 1.59]	48.3	do not reject
Beta[3., 5.51, 3.46, 2.77]	39.1	do not reject
Triangular[3., 5.77, 4.2]	29.2	do not reject
Rayleigh[3., 1.06]	3.23	reject
Power Function[3., 5.52, 1.56]	0.689	reject
Uniform[3., 5.51]	9.55e-002	reject
Chi Squared[3., 2.22]	3.14e-004	reject
Exponential[3., 1.41]	2.09e-005	reject
Pareto[3., 2.63]	0.	reject
Johnson SB[3., 1.95, -0.602, 0.758]	0.	reject

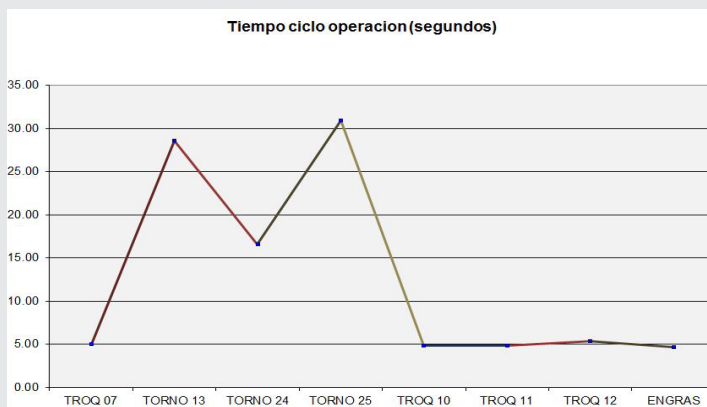
Figura 2 Determinación de las distribuciones estadísticas del modelo

C. Construcción del modelo

Partiendo del modelo base, representativo del sistema actual se procedió a realizar la construcción del modelo con la propuesta de mejora, incorporando cambios que cumplirán el objetivo de incrementar la capacidad productiva en un 15%.

El desarrollo del modelo de la situación propuesta está bajo las siguientes premisas:

1. Se identifica mediante estudio de tiempos y movimientos, procedimiento que usa cronometro para establecer estándares [1], la restricción principal del sistema que es el área de torneado. (Ver gráfica 1). Es notorio el desbalance productivo entre el área de torneado y el resto de la línea de producción. Mientras que los tres tornos de la empresa promedian una pieza cada 25 segundos aproximadamente, el resto de la línea demanda un tiempo de ciclo alrededor de 5 segundos, lo que genera un cuello de botella en el área de tornos.



Gráfica 1 Tiempos de ciclo

2. Al identificar la restricción del sistema, se determinó que la mejor estrategia para incrementar los niveles de productividad, debía enfocarse al rediseño de la distribución de la línea de producción y las actividades de manejo de material. Considerando que: "El diseño o distribución inadecuado de una planta puede aumentar de manera considerable el costo de la manufactura y alargar el tiempo de salida, los tiempos de montaje y los inventarios durante el proceso, así como contribuir a la ineficiencia en conjunto de las operaciones" [4].

"El diseño de las instalaciones de manufactura y manejo de materiales afecta casi siempre la productividad y a la rentabilidad de una compañía, más que otra decisión corporativa importante" [5].

3. En la construcción del modelo propuesto, se utilizaron como base los dibujos en 3D del layout de la planta de y de los equipos del proceso utilizados en el modelo base, que fueron desarrollados mediante el software de diseño SolidWorks® Ver. 15 y posteriormente exportados como FlexSim® objects para que el modelo fuera visualmente muy representativo de la propuesta de mejora.

Simulación del proceso de fabricación.

Locaciones: En la siguiente figura, se muestra el layout del modelo propuesto.

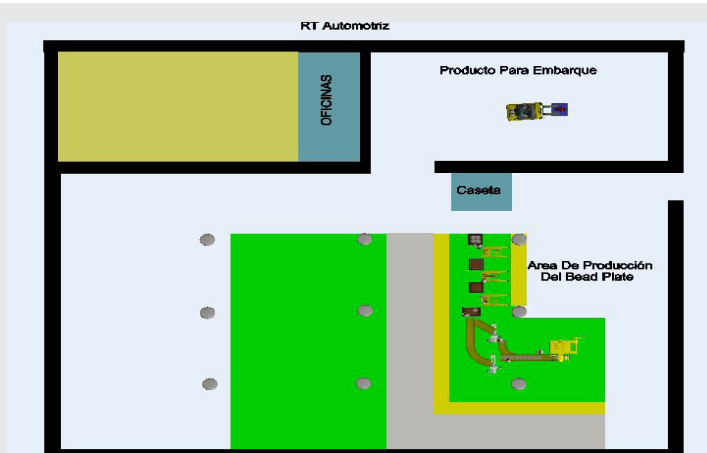


Figura 3 Modelo propuesto con mejoras

Entidades:

Plato o materia prima como única entidad

Rutas de Transporte.

1. Desde la Troqueladora 7 hacia la banda transportadora.
2. De la banda transportadora hacia los tornos.
3. De los tornos hacia la banda transportadora de salida
4. De la Banda transportadora de salida hacia el área de engrasado
5. Del área de engrasado a la Troqueladora 10.
6. De la Troqueladora 10 a la 11.
7. De la Troqueladora 11 a la 12.
8. De la Troqueladora 12 hacia el almacén.

Los recorridos que se eliminan con el modelo propuesto se muestran a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Recorridos eliminados

Recorrido	Distancia(m)
Troqueladora 07 – Torno 13	9.08
Troqueladora 07 – Torno 24	14.73
Troqueladora 07 – Torno 25	5.50
Torno 13 – Troqueladora 12	9.70
Torno 24 – Troqueladora 12	17.70
Torno 25 – Troqueladora 12	6.40
TOTAL	63.11

Recursos para interactuar con las entidades.

- Operadores de tornos
- Operadores de Troqueladoras
- Montacargas hacia almacén.

Llegadas de Material.

Se definió una sola llegada de material de la Troqueladora 07 a la banda transportadora correspondiente, no se simula la llegada de material como se hace en la línea, debido a que los dos primeros procesos de troquelado tienen una capacidad de producción mucho mayor que los demás procesos, abasteciendo de manera continua e ininterrumpida la línea, con lo que el enfoque sería nivelar la producción en base a la salida de estos procesos.

Programación de los movimientos de los recursos

Esta parte fue esencial para demostrar los cambios entre el modelo base y el modelo propuesto, los recorridos que se realizaban de la Troqueladora 07 hacia el WIP (materia prima en proceso) que alimentaba a los tornos y de estos hacia el área de engrasado, suman más de 60 m. Mediante la implementación de bandas transportadoras, se eliminan dichos recorridos por parte de los operadores, (ver figura 4). Los demás recorridos no son significativos y se realizan entre los equipos con Tiempo de ciclo más bajo (Troqueladoras 10, 11 y 12).

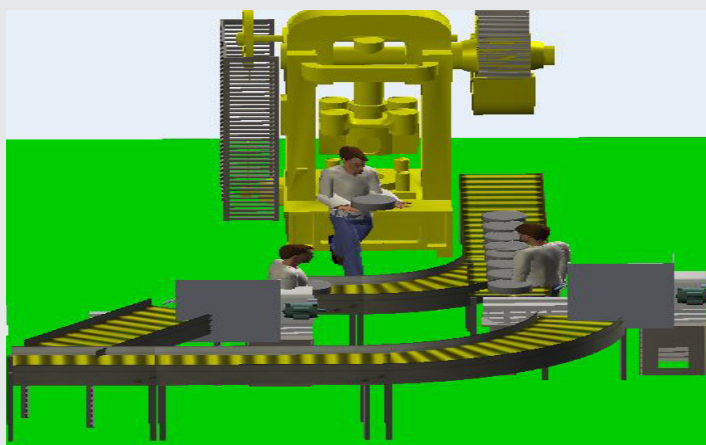


Figura 4 Mejoras en el manejo de material, área tornos

La operación de descarga de los Tornos hacia el área de engrase se efectúa en cuanto el operador termina el proceso de torneado en la pieza, toma la pieza y la deposita sobre el sistema de descarga por rodillos propuesto a la empresa, mismo que se localiza a la mitad de cada torno en la parte superior y con una caída de 15° (ver figura 4), a diferencia del sistema actual en el que se acumulan 200 piezas en el contenedor de salida y lo que conlleva en tiempo perdido de operación al sumarse una actividad más en la restricción del sistema: El llenado de contenedores.

Se emplea la regla de ruteo FIRST AVAILABLE, que significa que el movimiento se hace en cuanto el recurso (operador) esté en condiciones de hacerlo, (ver Figura 5).

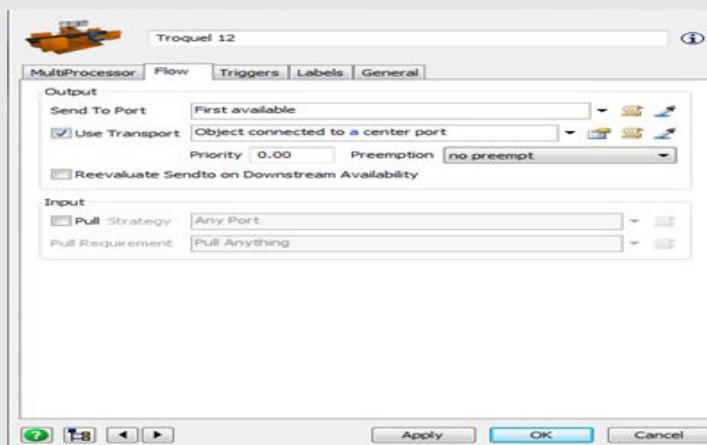


Figura 5 Reglas de ruteo empleadas en el modelo

Para los movimientos de entidades o recursos se utilizaron instrucciones como "Connect Center Ports" y los parámetros y la distribución que mejor simulan el comportamiento real de los elementos representados.

D. Ejecutar experimentos

Se realizaron 100 réplicas, cada una de 10 horas, representativas de 1 día de trabajo. El tamaño grande de réplica es una de las bondades de la simulación, el poder experimentar el tiempo que se desee a un costo mínimo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Tabla 1 mostró las distancias entre procesos, donde se aprecia que las operaciones de carga y descarga de los tornos ocupan más de 60 m. Al localizarlos junto al área de engrase e implementar el sistema de carga y descarga por rodillos, el modelo con las mejoras muestra un incremento en la capacidad productiva general de la línea del 8% utilizando dos tornos y considerando los tiempos de ciclo actuales (existe una diferencia de 5 minutos por diferencias entre las operaciones de los tornos), al estandarizar las operaciones en los tornos (considerando el tiempo de ciclo menor para ambos) se logra un incremento de la producción del 12%. Por último, la automatización de la operación de sujeción en los tornos, implica una reducción del 5% en su tiempo de ciclo, y un incremento del 17% en la capacidad productiva. La estimación del incremento de capacidad productiva, se realizó de manera conservadora y el reporte de resultados fue entregado al empresario junto con las cotizaciones de los cambios implicados. La figura 6, muestra la sesión de entrega de resultados frente a personal académico y administrativo del ITESHU por parte del equipo de trabajo conformado por docentes y alumnos, al personal de la empresa con quienes se sigue trabajando en la automatización de los tornos para incrementar aun más la capacidad productiva.

Esto último como consecuencia del uso de la simulación de procesos, analizando una situación real, identificando los puntos clave de mejora y diseñando un modelo que permitiera experimentar diversos escenarios hasta encontrar el mejor y proponerlo de manera objetiva.



Figura 6 Entrega de resultados a empresario

Las siguientes acciones forman parte de la estrategia para el incremento de la capacidad productiva.

1. Eliminar las maniobras innecesarias por los operadores del área de torno para la RECEPCIÓN de material, proveniente de la Troqueladora 07 mediante la implementación de un sistema de descarga.
2. Reducir las maniobras necesarias por los operadores del área de torno para la entrega de material hacia la Troqueladora 10 mediante un sistema de descarga.

3. Reubicar los tornos 13 y 25 a un lado del área de engrasado.
4. Automatizar la operación de sujeción del plato en los tornos.
5. En las operaciones finales (troqueles 10, 11 y 12) asignarles a los operadores actividades que descarguen a las operaciones en los tornos.
 - a. Afilado de herramientas
 - b. Preparación del herramental necesario para los cambios de modelo
 - c. Limpieza a los equipos de la línea

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Freivalds y B. W. Niebel, *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*, 13a ed., McGraw-Hill Education, 2013.
- [2] E. García, H. García y L. Cárdenas, *Simulación y análisis de sistemas con Promodel*, 1a ed., México: Pearson, 2006.
- [3] Flexsim, (2014). Consultado el 15 de abril de 2015. Página web del sitio de FlexSim: <http://www.flexsim.com>,
- [4] D. Sule, *Instalaciones de Manufactura*, 2a ed., Thomson Learning, 2011.
- [5] F. E. Meyers y M. P. Stephens, *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*, 3a ed., Pearson, 2005.



Calidad *y* Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Reducción de scrap en el área de cigüeñal diésel en planta Ford, aplicando la metodología Seis Sigma



Colaboración

René Manuel Breach Ochoa; María de Lourdes Salas Woocay; Leticia del Pilar de la Torre González, Instituto Tecnológico de Chihuahua

RESUMEN: La necesidad de aplicar técnicas y métodos estadísticos para el mejor desempeño de las organizaciones ha ido en aumento debido a la alta competitividad que existe entre las empresas para ampliar sus mercados. Los costos que se generan debido a los desperdicios es uno de los principales problemas que se tienen en las líneas de producción y deben ser eliminados para alcanzar los objetivos organizacionales. En forma integral la metodología Seis Sigma genera una visión estratégica para las compañías que están comprometidas en ofrecer al cliente productos y servicios libres de defectos disminuyendo la variación que existe en sus procesos, es un sistema que ayuda a tomar decisiones basadas en datos y ofrece una metodología estructurada para alcanzar mejoras mediante el uso de herramientas estadísticas que identifican las causas raíz de los problemas. En esta investigación se utilizó dicha metodología para la reducción del desperdicio en el área de maquinado de cigüeñal diésel, desglosando la clasificación del desperdicio por proceso, aplicando diagramas de Pareto, de Ishikawa y estudios de capacidad de proceso entre otras. Los resultados al aplicar la metodología DMAIC, fue la reducción del desperdicio a cero prtes por millón defectuosas en el área de maquinado diésel a través de ajustes en la operación de la máquina.

Palabras clave: capacidad del proceso, diagrama de pareto, diagrama de Ishikawa, desperdicio, DMAIC, herramientas estadísticas, Seis Sigma.

Abstract: The need to apply statistical techniques and methods to improve the performance of organizations has increased due to the high competitiveness between companies to expand their markets. The cost generated due to waste are one of the main problems that exist in production lines and must be eliminated to achieve organizational objectives. Comprehensively, Six Sigma creates a strategic vision for companies that are committed to offer customers products and services free of defects by decreasing the variation that exists in their processes, it is a system that helps make decisions based on data and offers a structured methodology to achieve improvements by using statistical tools that identify the root cause of problems. In this investigation this methodology was used for the reduction of waste in the area of machining of diesel crankshaft, detailing the classification of waste per process by applying Pareto Chart, Ishikawa Diagram and process capability studies, among others. The result of using the DMAIC methodology, was the reduction of waste in the area of machining of diesel crankshafts through adjustments in the machine operation.

Keywords: process capability, pareto charts, ishikawa diagram, scrap, statistical tools, DMAIC.

INTRODUCCIÓN

En el área de diésel de la Planta de Motores Ford se maquina el cigüeñal para dos tipos de motores el 4.4L y el 6.7L. Ambos tienen diversas operaciones de maquinado, fresado, rectificado y pulido en partes específicas del cigüeñal. El principal problema en esta área es el desperdicio debido a reprocesos, ajustes de máquina, cambio de modelos, etc. En la operación # 140 se realiza el rectificado de las caras de empuje en el principal #5 por medio de una máquina rectificadora que cuenta con una herramienta abrasiva en forma de rueda que es utilizada para remover cantidades pequeñas de material en las caras de empuje, dos gages palpadores informan a la máquina la cantidad de material que se tiene que remover, primero de la cara izquierda y después sobre la cara derecha. El problema que se detecta en esta operación es que el gage de la máquina en algunas piezas no está detectando material para remover y realizar el rectificado de las caras de empuje, dichas piezas no pueden

avanzar a la siguiente operación y se consideran SCRAP ya que no se pueden retrabajar.

A nivel empresa, Seis Sigma es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad y en la satisfacción de los clientes. La meta de Seis Sigma es lograr procesos en los cuales se generen como máximo 3.4 defectos por millón de oportunidades de error [1].

En 1987, Seis Sigma fue introducido por primera vez en Motorola por un equipo de directivos encabezados por Bob Galvin, presidente de la compañía con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos, desde entonces Seis Sigma ha sido adoptada, enriquecida y generalizada por un gran número de compañías [2],[4].

Seis sigma es la aplicación del método científico para el diseño y operación del sistema de administración que permite a los empleados ofrecer productos de gran valor. Las herramientas de seis sigma se aplican dentro de un modelo de mejora conocido como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y es utilizado cuando los objetivos de los proyectos pueden ser llevados a cabo mejorando los productos y procesos existentes [7]. En la fase de Definir se delimita y se sientan las bases para el éxito del proyecto, por ello al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en el equipo. Todo lo anterior se resumirá en la carta del proyecto. En la etapa de Medir se valida el sistema de medición para garantizar que la respuesta pueda medirse en forma consistente. La fase de Analizar identifica las maneras para eliminar la brecha entre el comportamiento actual del sistema o proceso y el objetivo deseado. Utiliza el análisis descriptivo de los datos y herramientas estadísticas para guiar dicho análisis. Mejorar el sistema, encontrar nuevas maneras para hacer las actividades mejores, más baratas y rápidas. Utiliza métodos estadísticos para validar la mejora. La última etapa que es Controlar puede utilizar la estandarización tal como el ISO 9000 para asegurar que la documentación es correcta. Monitorea la estabilidad del nuevo sistema a través de herramientas estadísticas tales como los gráficos de control [2].

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave de Seis Sigma, por lo tanto es necesario conocer las causas de variación. El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6M's (Maquinaria, Mano de Obra, Método, Medición, Materiales y Medio ambiente), por lo que si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, la razón se encuentra en una o más de las 6M's [1], [3], [7].

El objetivo de este trabajo es disminuir la variación del proceso en la operación #50 identificando la causa raíz de los rechazos para reducir el scrap o desperdicio en un 50% e incrementar el índice del desempeño real del proceso (Ppk) de la Operación #50.

MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo de esta investigación se efectuó en la planta Ford Motor Company S.A. de C.V. de Chihuahua, y la selección del proyecto está en base a los datos que se obtienen por área de la empresa, en donde se observó un alto desperdicio en el proceso de cigüeñal diésel específicamente en dos modelos de motor, 4.4 L (Lion) y 6.7 L (Scorpion). Dentro de esa área se realiza un diagrama de Pareto para poder observar los principales contribuyentes del desperdicio o scrap. La Figura 1 muestra que los tres principales contribuyentes del desperdicio son proceso, herramientas y retrabajos.

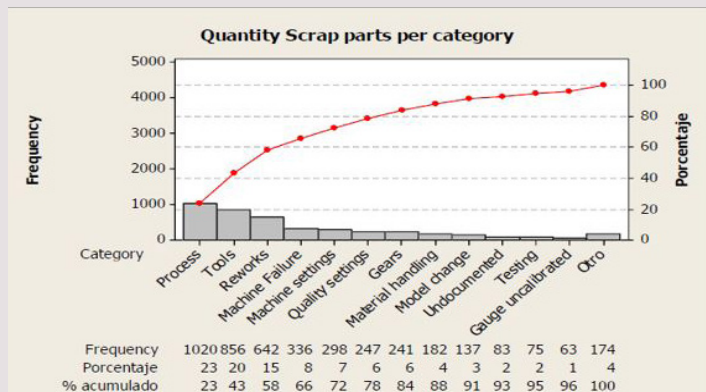


Figura 1. Diagrama de Pareto del área de cigüeñal

Se realiza otro diagrama de Pareto de la categoría de procesos. Ver Figura 2.

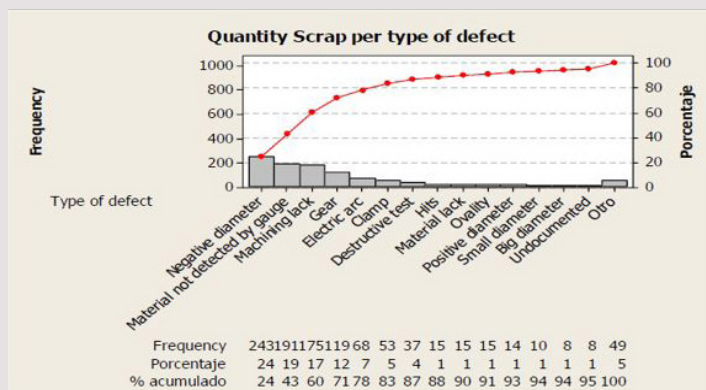


Figura 2. Diagrama de Pareto del proceso.

Con este diagrama se concluye que los diámetros negativos, material a remover no detectado por gage y falta de maquinado son los principales contribuyentes al scrap dentro de los procesos. En el caso de los diámetros negativos la empresa ha emprendido proyectos de mejora, por esta razón se decide tomar al segundo contribuyente el cual se localiza en la operación #140 en donde se realiza el rectificado de las caras de empuje en el principal #5. En base a esta información se puede realizar la Carta del proyecto (Tabla 1) que es la etapa final de la fase de definir, dicha carta contiene el nombre del proyecto,

fecha de inicio y terminación, enunciado del problema, alcance del proyecto, el objetivo SMART (específico, medible, alcanzable, relevante para la empresa y con un tiempo definido), el métrico, la voz del cliente y los miembros del equipo.

Tabla 1. Carta del proyecto

PROJECT CHARTER	
Nombre del proyecto:	Reducción de Scrap por falta de maquinado en rectificación de caras de empuje de cigüeñal
Fecha de Inicio: 06 de octubre de 2014	Fecha de terminación: 15 de enero de 2015
Selección del proyecto:	
En el área de maquinado de cigüeñal diésel se están presentando altos índices de Scrap provocado por el proceso, retrabajos, herramientas, fallos y ajustes en máquinas, entre otros. Se requiere emprender acciones para disminuir la cantidad de Scrap empezando a atacar a los mayores contribuyentes ya que esto está impactando tanto el aspecto financiero como en la capacidad de producción para satisfacer la demanda del área de ensamble.	
Enunciado del problema:	
En la operación #140 "Rectificado de las caras de empuje", se ha estado presentando que el gage de la máquina no está detectando material para remover y rectificar las caras de empuje del principal #5. El número de partes afectadas en el periodo de enero – agosto de 2014 ha sido de 191 unidades, lo cual tiene un gran impacto en pérdidas monetarias y en volumen de producción.	
Alcance del proyecto:	
El proyecto cubrirá las operaciones #50 "Torneado de principales y creación de undercuts" y la operación #140 "Rectificado de caras de empuje del principal #5", esta última es la operación donde se está presentando el problema.	
Declaración del objetivo:	
Reducir en un 50% el porcentaje de piezas que son rechazadas de la Operación #140 por falta de material para remover, disminuyendo la variación del proceso en la Operación #50 "Torneado de los principales y creación de los undercuts" aumentando el índice Ppk para producir piezas dentro de especificación.	
Métrico primario:	
PPMs (Partes por millón de oportunidades)	
Caso del negocio:	
Ford busca producir motores de la más alta calidad que satisfagan las necesidades del cliente al más bajo costo posible, buscando la mejora continua en sus procesos.	
Voz del cliente:	
El cliente es el área de ensamble de cigüeñal 4.4 y 6.7 litros. El área de ensamble requiere un producto que cumpla con las especificaciones establecidas en los planes de control, con características dentro de especificación de acuerdo a valores nominales y tolerancias mencionados en el plan de control. En el caso de la característica ancho entre caras de empuje, ensamble requiere que esta distancia este dentro de especificación ya que posteriormente se adhieren componentes en el principal #5.	

MEDIR

En la carta del proyecto (Tabla 1) se puede observar que el objetivo es reducir en un 50% el porcentaje de piezas que son rechazadas en la operación #140 por la falta de material para remover, disminuyendo la variación del proceso en la operación #50, aumentando el índice Ppk para producir piezas dentro de especificación, teniendo como métrico las partes por millón defectuosas (PPMs). Después de tener la carta del proyecto se comienza con la fase de medir realizando un análisis del sistema de medición con un estudio corto de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) sobre la característica ancho del principal #5 de Cigüeñal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Estudio R&R Método corto Gage OP #50

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO (MÉTODO CORTO)									
Rene Breach					Fecha: 10/20/2014				
Persona responsable					Estudio: # 1				
					Departamento: Cigüeñal				
					Tipo de gage: Snap				
Nombre del equipo de medición: Snap									
Función: Medición de ancho del principal # 5 de Cigüeñal									
Especificaciones del producto		Límite inferior			Límite superior de especificación				
Nominal: 30.943		(Ei): 30.843			(ES): 31.043			(ES - Ei) 0.2	
Número de partes	Técnico #1	Técnico #2	Técnico #3	Vmax	Vmin	Rango	Valores de la constante K		
							Número de partes	# de operadores	
							2	3	4
1	30.984	30.989	30.989	30.989	30.984	0.005	1	3.65	2.70
2	30.988	30.986	30.987	30.988	30.986	0.002	2	4.02	2.85
3	30.993	30.993	30.991	30.993	30.991	0.002	3	4.19	2.91
4	30.986	30.987	30.985	30.987	30.985	0.002	4	4.26	2.94
5	30.983	30.982	30.984	30.984	30.982	0.002	5	4.33	2.96
6	30.985	30.987	30.984	30.987	30.984	0.003	6	4.36	2.98
7	30.989	30.991	30.985	30.991	30.985	0.006	7	4.40	2.98
8	30.982	30.983	30.983	30.983	30.982	0.001	8	4.40	2.99
9	30.995	30.993	30.993	30.995	30.993	0.002	9	4.44	2.99
10	30.981	30.979	30.981	30.981	30.979	0.002	10	4.44	2.99
Total de rangos:						0.027			
Promedio de rangos:						0.0027			
Error de medición =		$k_2 \cdot R$							
EM =		0.008073							
σ R&R =		0.0016							
EM como % de tolerancia:									
P/T =		(EM*100/(ES - Ei))							
P/T =		4.04%							

Se pretende evaluar de manera rápida la variabilidad del sistema de medición por lo que se seleccionaron 10 partes y tres técnicos, los cuales midieron una vez el ancho del principal #5 en los diez cigüeñales con el tipo de gage llamado Snap. Se observó una precisión respecto a la tolerancia (P/T) de 4.04% que acorde a los criterios de aceptación la clasifica como un sistema de medición excelente. Es importante mencionar que el índice P/T expresa en porcentaje la comparación entre el error de medición y la variabilidad permitida que es la tolerancia, para la característica que se está midiendo. Este estudio determina que el instrumento de medición está proporcionando lecturas confiables. Se procede a recopilar las mediciones de la operación #50 para el ancho principal #5 para los dos tipos de modelo en estudio en sus diferentes líneas. Las Figuras 3, 4 y 5 son los histogramas dichas mediciones.

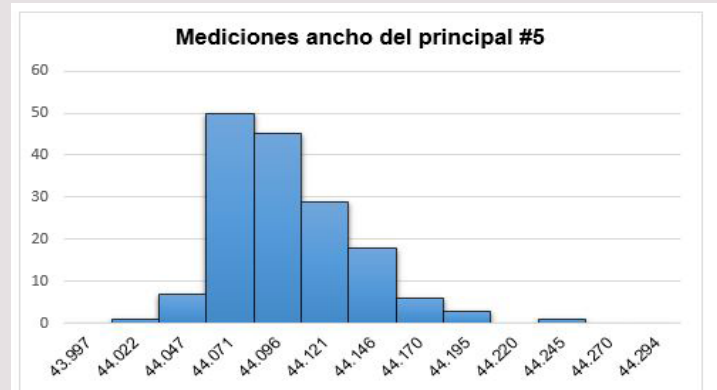


Figura 3. Histograma OP 50 A 4.4 L.

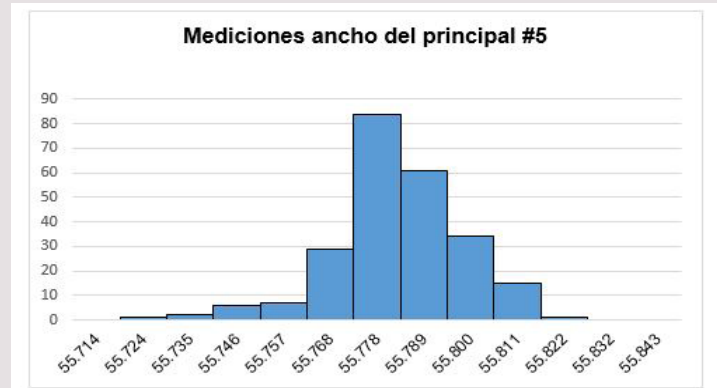


Figura 4. Histograma OP 50 B 6.7 L.

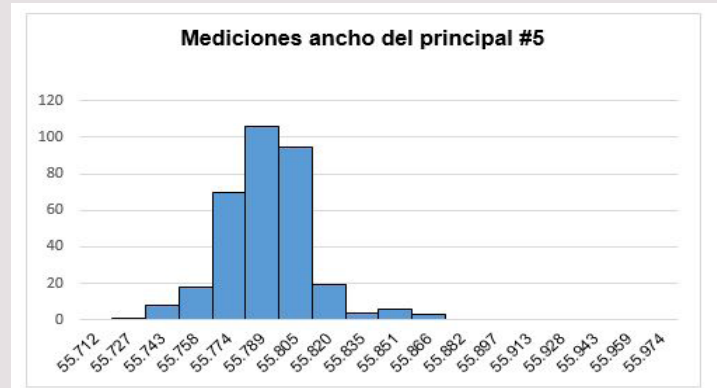


Figura 5. Histograma OP 50 C 6.7 L.

El número de lecturas para el primer proceso es de 160, para la operación 50 B 6.7 L es de 240 y para la operación 50 C 6.7 L es de 330. Estos tamaños de muestra son adecuados para observar la distribución de las frecuencias de la característica que se midió y aparentan no tener una distribución normal debido al sesgo que se presenta en cada una de ellas. Por este motivo se procede a realizar pruebas de normalidad para cada uno de los procesos por medio de la prueba de Kolmogorov Smirnov como se muestra en las figuras 6, 7 y 8.

Para este estudio se utilizó el software estadístico Minitab en donde muestra en los tres casos un valor de P menor a 0.010 por lo que se concluye que la característica que se esta midiendo no sigue una distribución normal [6].

Se decidió elaborar gráficas de serie de tiempo para observar el comportamiento de las mediciones teniendo como referencia el valor nominal y los límites de especificación para la característica de calidad de importancia. En las figuras 9, 10 y 11 se muestran dichas gráficas.

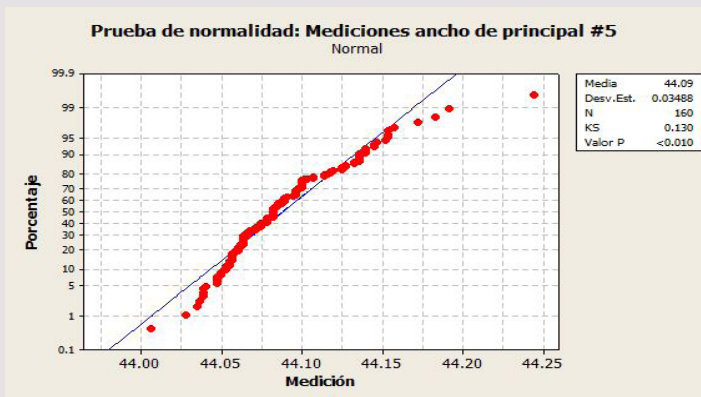


Figura 6. Prueba de Normalidad OP 50 A 4.4 L.

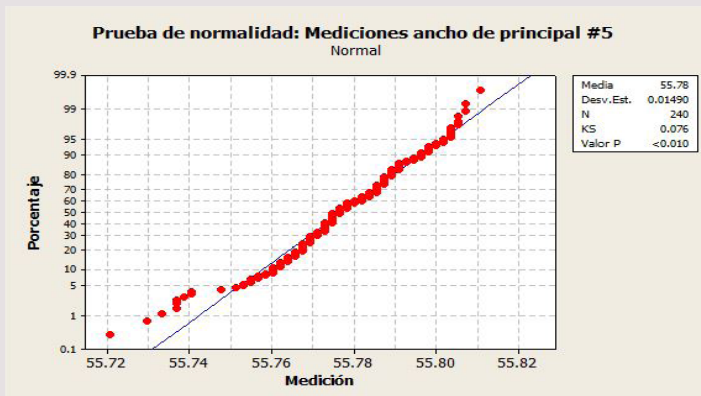


Figura 7. Prueba de Normalidad OP 50 B 6.7 L.

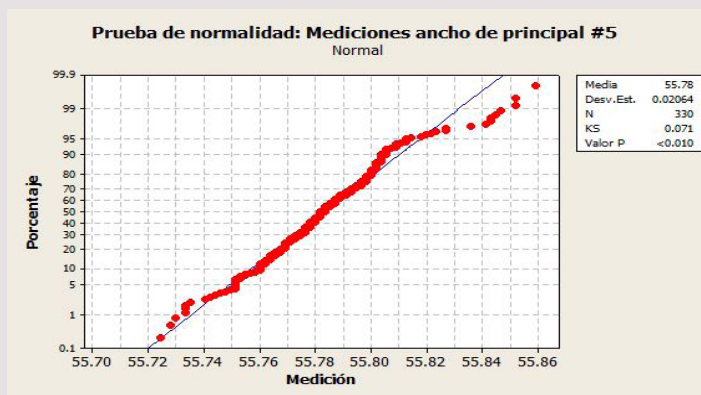


Figura 8. Prueba de Normalidad OP 50 C 6.7 L.

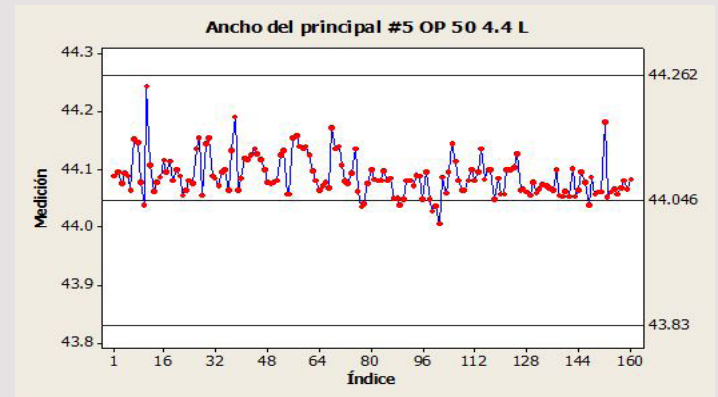


Figura 9. Gráfica Series de tiempo OP 50 A 4.4 L.

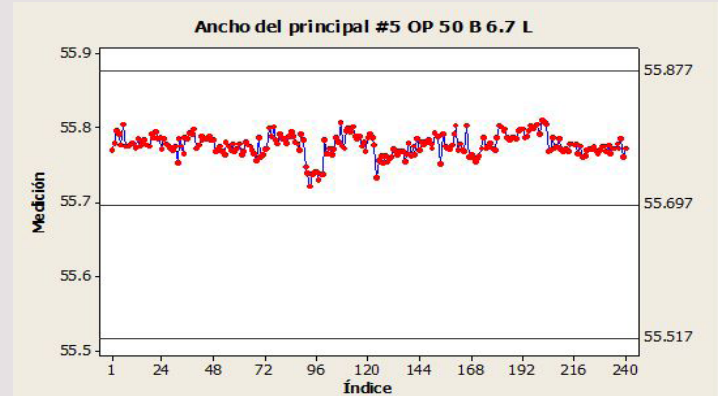


Figura 10. Gráfica Series de tiempo OP 50 B 6.6L.

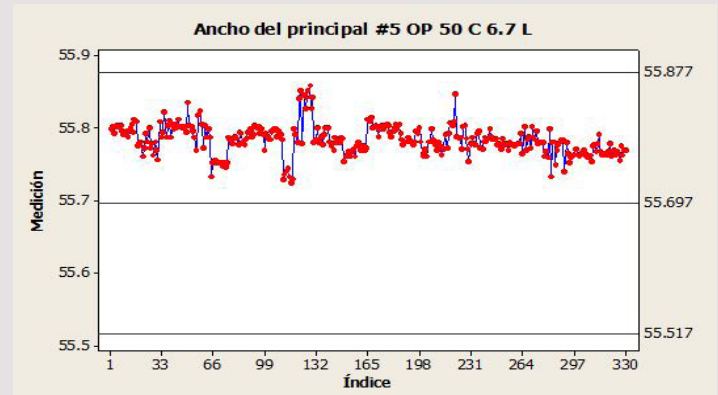


Figura 11. Gráfica Series de tiempo OP 50 C 6.6L

El ancho principal #5 en la operación #50 en los diferentes modelos se encuentran por arriba del valor nominal, lo que significa que se está removiendo más material en esta operación. Es necesario conocer la capacidad que tienen estos procesos y debido a que no siguen una distribución normal se tienen dos opciones para el estudio: normalizar los datos o identificar el tipo de distribución de los mismos para utilizar esa distribución en el cálculo de capacidad. Al tratar de normalizar los datos no se encontró un algoritmo que permita realizar esta acción por lo que se procede a utilizar el programa "Stat Fit" que está contenido en el software ProModel para identificar el tipo de distribución a la cual se ajustan los datos. En la Figura 12 se muestra el ajuste de una de las operaciones #50.

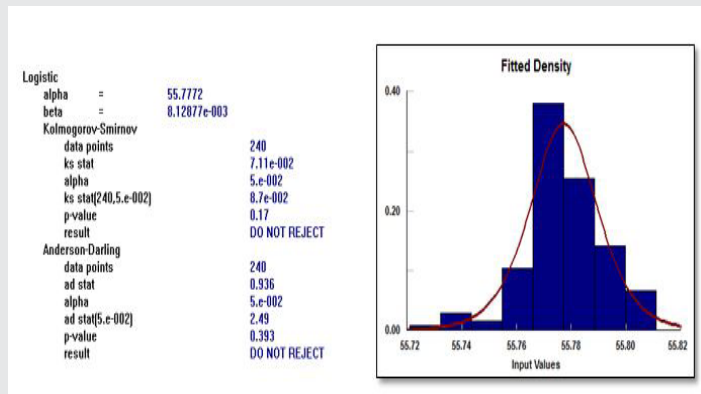


Figura 12. Tipo de distribución OP 50 C 6.7 L.

La distribución de los datos de la operación # 50 A 4.4 L se ajustan a una distribución Log Logística y las mediciones de las operaciones # 50 B y C se ajustan a una distribución logística. De acuerdo a este estudio se pueden utilizar dichas distribuciones para calcular la capacidad del proceso de cada tipo de operación A, B y C. De nuevo se utiliza el software estadístico Minitab para el cálculo del índice del desempeño del proceso. La Ec(1) se utiliza para obtener el índice del desempeño, su numerador expresa la tolerancia permitida y el denominador es la variación natural del proceso a $\pm 3\sigma$.

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad Ec (1)$$

Este índice del desempeño del proceso es llamado también índice de capacidad a largo plazo por la forma en la que se estima su variación. La Ec(2) se utiliza para el cálculo de la desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad Ec (2)$$

El Pp ó índice de desempeño solo indica si el proceso es o no potencialmente capaz para cumplir con las especificaciones de la característica que se está midiendo, sin embargo no muestra si el proceso cumple realmente con los requerimientos del cliente. Por esta situación se calcula el índice de capacidad real (Ppk) que es el mínimo valor entre el Ppl y Ppu [3], [7].

$$Ppu = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad Ec (3)$$

$$Ppl = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \quad Ec (4)$$

Si el valor de Ppk es mayor a 1.33 se considerará que el proceso es realmente capaz.

Para la característica del ancho principal #5 en cada una de sus operaciones #50, A, B y C se realizó el estudio de capacidad utilizando el software estadístico de MINITAB indicándole en cada caso el tipo de distribución de los datos para realizar el estudio [6]. La Figura 13 muestra uno de los estudios de capacidad del ancho principal.

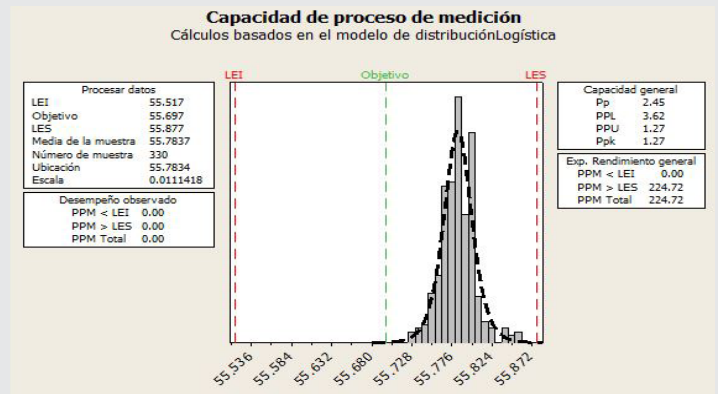


Figura 13. Estudio de capacidad OP 50 C 6.7 L.

El estudio de capacidad de la operación #50 C 6.7L muestra un Pp = 2.45, un Ppl= 3.62, un Ppu= 1,27 y por lo tanto un Ppk = 1.27. Esto indica que la variabilidad de este proceso es pequeña y es la causa de tener un índice de desempeño potencial alto, sin embargo se puede observar que el proceso está desfasado a la derecha del valor nominal y esto se ve reflejado en el valor del Ppu. Esta observación también se puede ver en las gráficas de las Figuras 9, 10 y 11, además se debe considerar que eventualmente todo proceso en el largo plazo se puede desfasar hasta 1.5 veces la desviación estándar, aumentando las partes por millón defectuosas [4]. El estudio de capacidad de las demás operaciones muestra aproximadamente el mismo comportamiento y valores de Pp y de Ppk.

ANALIZAR

Para determinar la causa raíz se realizó un diagrama de Ishikawa considerando Método, Materiales, Mano de Obra y Máquinas:

Análisis del Método.

El procedimiento y frecuencia de medición está definido en el DCP (Dynamic Control Plan), el cual es un plan de control que contiene la siguiente información:

Nombre de la característica de calidad que se mide, valores de especificación (nominal y tolerancias), frecuencia de medición, número de gage en base a plano, tipo de característica que se mide: si es significativa o de alto

impacto para el cliente, número de plan de reacción a seguir en caso de anomalía como: piezas fuera de especificación y fallas en máquina, entre otros, así como el número de formato para registrar las lecturas.

Para asegurar el apego al estándar y evaluar que tanto conoce el técnico su operación, los líderes de equipo y los Process Coach realizan trabajo estandarizado a los técnicos, el cual consta de 3 fases:

1.-PJO (Periodic Job Observation), esta fase la desarrolla el líder y consiste en observar como el técnico realiza su operación y verifica que lo realice de acuerdo al estándar.

2.-Deep Knowledge, la segunda fase la desarrolla el Process Coach y consiste en una serie de preguntas estandarizadas para evaluar el conocimiento profundo del técnico hacia su operación.

3.-Detección de anomalías, la tercera fase también la desarrolla el Process Coach y es para reforzar con el técnico el que hacer en caso de alguna anomalía y explicarle los planes de reacción.

Dicho lo anterior se concluye que las responsabilidades y procedimientos se encuentran definidos y no depende del criterio de una persona. Por lo que se descarta esta M como causa raíz principal.

Análisis de material

Se refiere al material para la forja del cigüeñal que llega del proveedor hacia la línea para ser maquinado. El proveedor del cigüeñal cuenta con equipos avanzados en el proceso de fabricación del cigüeñal, tecnologías de preformado, corte, prensas de formado en caliente, tratamiento térmico y metalúrgico. Las líneas en las que fabrica la forja son automatizadas, con sistemas de control numérico y el manejo de material es robotizado. Es el proveedor quien realiza la inspección en su proceso asegurando que el material llegue dentro de especificación a la línea de maquinado.

Debido a que se trata de un solo proveedor, es decir que no hay influencia de múltiples proveedores y que no ha habido cambios recientes en el material, se descarta esta M como causa raíz del problema en estudio.

Análisis de Mano de obra

Se considera al personal que interactúa con el material y equipo en el proceso de maquinado del cigüeñal. Al ser un proceso que requiere conocimiento técnico, todo el personal de producción tiene nivel técnico, están entrenados y tienen conocimiento de su operación.

Esta rama de mano de obra en el Ishikawa tiene interacción con la rama del método, en donde se mencionó acerca del trabajo estandarizado que realiza el Process Coach con el personal. Sin embargo es importante mencionar que mucho influye la habilidad, capacidad, motivación y compromiso que tenga la persona para seguir y apegarse a los

procedimientos establecidos.

Dentro de los roles y responsabilidades del técnico se encuentra:

- Constante monitoreo de la máquina.
- Orden y limpieza (5s) a la máquina.
- Mantenimiento autónomo a la máquina.
- Mantenimiento preventivo a la máquina.
- Asegurar correr dentro de especificación las características de calidad que machine su operación.

Realizar ajustes a la máquina cuando haya: cambio de modelo, cambio de insertos de herramienta dañados y cambio de herramienta por cumplimiento de vida.

Es importante mencionar que cuando la herramienta ha llegado al límite de ciclos de vida o algún inserto ha sufrido daño, el desempeño de la máquina se verá afectado al realizar la operación y como consecuencia repercute en la calidad. Cuando sucede esto, el técnico se encarga de hacer ajustes en la máquina y llevar piezas a CMM que es un departamento con equipo de medición más especializado para asegurar que la máquina continúa funcionando con parámetros que aseguren la calidad. Además las partes que se clasifican como “no conformes” son segregadas del proceso y se realiza un procedimiento para realizar una “evaluación de riesgo” sobre el uso de la pieza.

De ahí la importancia de que el técnico siga el procedimiento de su plan de control y detección de anomalías.

No se descarta la mano de obra como potencial causa raíz debido a que el monitoreo adecuado de la máquina y la vida y desgaste de la herramienta es fundamental. Omitir algún ajuste o hacer algo incorrecto puede repercutir en la calidad del producto.

Análisis de Máquina

El problema de falta de material para rectificar las caras de empuje del cigüeñal es detectado en la operación #140, donde la máquina arroja el rechazo en pantalla como “Material no detectado para remover”, en algunos casos no rectifica ninguna de las dos caras y en otros casos solo rectifica una de las caras. Es importante mencionar que el trabajo de la máquina consiste en remover pequeñas cantidades de material de las caras del principal #5, esto lo hace por medio de una herramienta abrasiva en forma de rueda en donde dos gages palpadores informan a la máquina de cuanto material se dispone para remover y hacer el rectificado.

La distancia entre caras de empuje una vez rectificadas es una característica de calidad, la cual tiene su respectiva especificación, de ahí la importancia del cálculo que hace el gage para saber cuánto remover y estar dentro de especificación. La OP # 140 está **mu**y **relacionada** con la OP # 50 “Torneado y creación de

undercuts en los principales" ya que esta operación es la que maquina y define el ancho que tendrán los principales, incluido el principal # 5.

Si lo vemos desde el concepto de cliente interno, podemos decir que la OP # 140 es cliente interno de la OP # 50, donde la primera le demanda que el ancho específicamente del principal # 5 le llegue dentro de especificación para poder hacer exitosamente su función de rectificar las caras de empuje. Si el ancho del principal # 5 sale de la OP # 50 fuera de especificación significa que ha sido removido una cantidad mayor de material y es material que está faltando al momento de que la pieza pasa por la OP # 140. Acorde al análisis de capacidad para la OP # 50 se determinó que en efecto existe un desplazamiento hacia la especificación superior y hay área de oportunidad en PPMs.

De las 4Ms analizadas en el diagrama de causa – efecto, se determina como potencial causa raíz piezas fuera de especificación para la característica de calidad "ancho del principal # 5" provenientes de la OP # 50.

MEJORAR

En la etapa de analizar se determina que la causa raíz del problema que se presenta en la operación #140 en el que se tienen piezas fuera de especificación en el ancho principal #5 al salir de la operación #50, es debido a que ya se había observado en la etapa de medición que la máquina es capaz de producir piezas dentro de especificación, sin embargo el ajuste con el que se está maquinando está desfasado hacia la especificación superior y está operando en promedio a 0.044 μm por arriba del valor nominal. Se propone ajustar la máquina buscando centrar el proceso y en consecuencia mejorar el índice Ppk. La Figura 14 muestra el comportamiento de dicho ajuste.

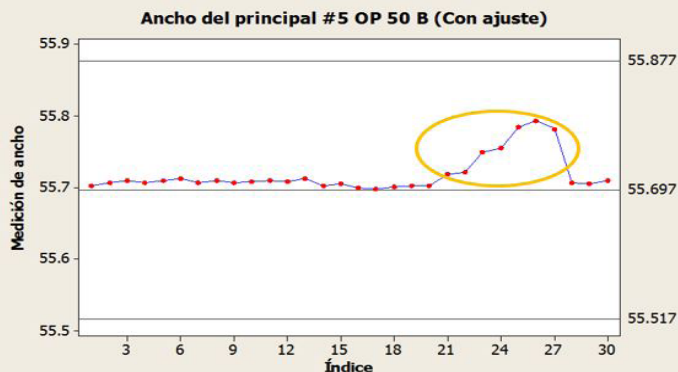


Figura 14. Ancho del principal #5 con Ajuste

Como se puede observar a partir de la pieza 21 existe un incremento en la desviación con respecto al objetivo o valor nominal, se investiga la causa con los técnicos de la máquina detectando que el inserto está despostillado como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Inserto despostillado.

Después de cambiar este inserto se toman de nuevo 30 mediciones como se muestran en la figura 16.

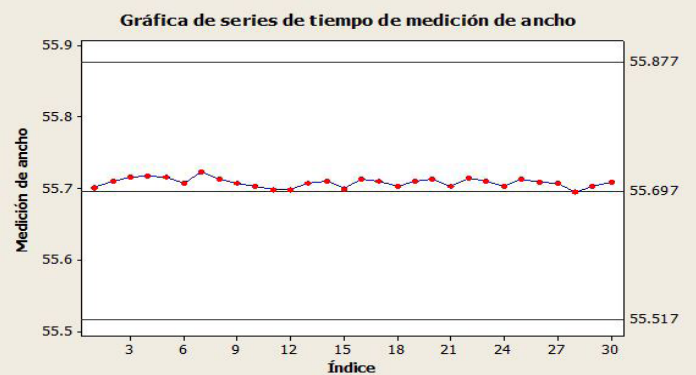


Figura 16. Seguimiento del Ancho del principal #15

CONTROLAR

Actualmente cada operación cuenta con un DCP (Dynamic Control Plan), este estipula el método de medición, descripción de la característica de calidad, valor nominal, tolerancias, frecuencias de inspección, métodos de detección, método de prevención y el plan de reacción a seguir en caso de presentarse una anomalía. Para llevar el plan de control se recomienda lo siguiente:

Concientizar al técnico en la importancia de apearse al plan de control y respetar la frecuencia de inspección de la característica de calidad "ancho principal #5", al inicio de turno y una vez cada 10 piezas que provengan de dicha operación, para evitar que dichas piezas pasen a la siguiente operación fuera de especificación.

Hacer una evaluación a los técnicos sobre el conocimiento del plan de reacción para características fuera de especificación.

Revisar periódicamente la vida útil de la herramienta (información en la pantalla de la máquina) para detectar a tiempo los insertos rotos.

Llenar de manera correcta la hoja de trabajo y guardar los registros dentro de las carpetas.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se tomaron datos de nuevo para evaluar a la característica de calidad "Ancho principal #5" en los días posteriores al ajuste con el objeto de calcular de nuevo la capacidad del proceso. La Figura 17 muestra el comportamiento de la característica después del ajuste.

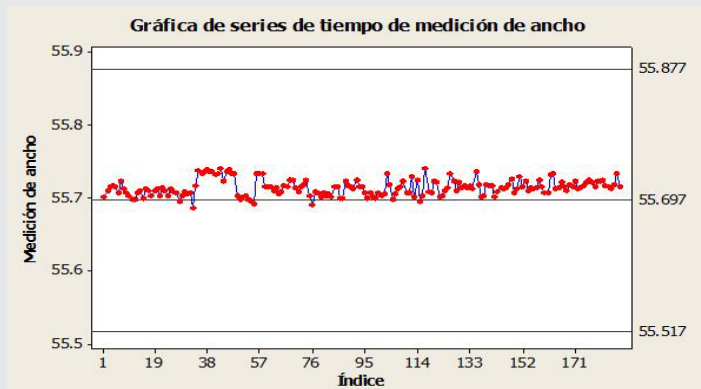


Figura 17. Ancho principal #15 después del ajuste.

Con Stat Fit de ProModel para ver comportamiento de los datos de la Figura 17 y acorde al estudio se muestra que esta distribución es lognormal en la Figura 18.

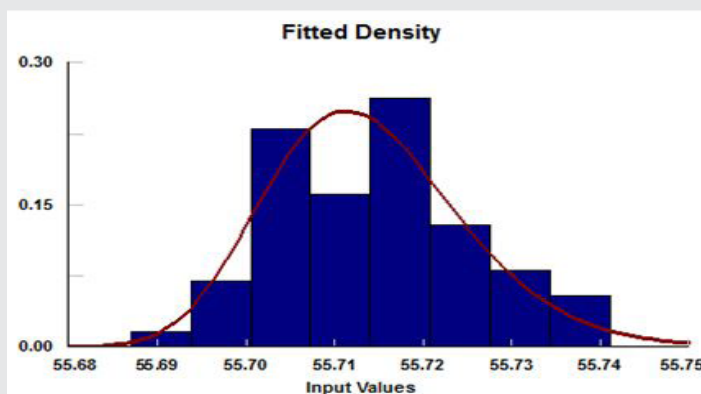


Figura 18 Ancho principal #15 después del ajuste.

El análisis de capacidad (Figura 19) del proceso muestra que ahora se tiene un Ppk de 4.88, se ve una distribución de proceso más centrada al valor objetivo/nominal. No se tiene PPMs para la especificación superior e inferior.

Este proyecto demandó gran trabajo de campo durante la etapa de medición para la recopilación de los datos, también se le dedicó bastante tiempo al análisis y observación en la identificación de las causas potenciales que estaban provocando el problema que se quería resolver.

La implementación de mejora se llevó a cabo sólo en la máquina de la Operación #50 de la línea de 6.7 litros, en la cual se realizó un ajuste para centrar el proceso, logrando los siguientes resultados:

- Mejora de los índices de capacidad a largo plazo.
- Eliminación del desplazamiento y variabilidad.
- Mejora considerablemente del métrico de partes por millón de oportunidades fuera de especificación.
- Cero desperdicio.

Capacidad de proceso de medición de ancho

Cálculos basados en el modelo de distribución Lognormal

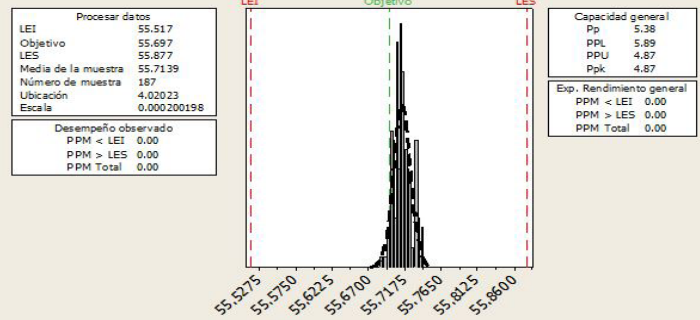


Figura 19 Análisis de capacidad del proceso después del ajuste OP # 50 B 6.7L

Se podría también hacer el ajuste a la máquina de la línea flexible, con la evidencia de que las mejoras que se logran en el proceso son considerables en la implementación en la línea de 6.7 litros. El análisis para realizar el ajuste en la línea flexible ya se llevó a cabo en la etapa de medición, solo queda dar seguimiento y pedir la autorización a las personas responsables de la línea como son: Team Manager, Senior Process Coach e Ing. Manufactura para realizar también los ajustes correspondientes en la máquina de la línea flexible. Cabe mencionar que los datos que se muestran en esta investigación fueron codificados para la confidencialidad de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Breyfogle, Forrest W. *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods/ Forrest W. Breyfogle, III. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003*

[2] Harry, Mikel Ph.D. Schroeder Richard: *Six Sigma the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. Doubleday, 2000*

[3] Kubiak, T.M: *The certified six sigma black belt handbook/ T.M. Kubiak, Donald W. Benbow. Milwaukee, Wis. ASQ Quality Press, 2009.*

[4] Pande, Peter S. Neuman Robert P. Cavanagh Roland R. *Las claves prácticas de Seis Sigma/traducción Juan Manuel Caro. Madrid: Mc Graw Hill, 2004.*

[5] Pande, Peter S. *¿Qué es Seis Sigma? / Peter Pande, Larry Holpp/ traducción Enrique Barba. Madrid: Mc Graw Hill, 2007*

[6] Pochampally, Kishore K. Gupta, Surendram. *Six Sigma case studies with Minitab. CRC Press Taylor & Francis Group 2014*

[7] Pyzdek, Thomas. *The Six Sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels / Thomas Pyzdek, Paul A. Keller. New York: Mc Graw-Hill, 2010*

SiBU: Sistema de búsqueda de usuarios en redes WLAN con niveles de acceso



Colaboración

González Silva M.A; Franco Moreno J.J.; Olvera Mejía Y.F., Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

RESUMEN En los últimos años han surgido diversos sistemas de localización de usuarios en redes inalámbricas, los cuales han permitido crear aplicaciones como localización de autos y celulares, entre otras. Sin embargo, estas aplicaciones basan su funcionamiento en el uso de sistemas de posicionamiento global y cobertura celular haciendo difícil su uso en áreas en interiores. En este artículo se presenta un sistema llamado SiBU que hace uso de la infraestructura de red inalámbrica que exista en un lugar y busca la ubicación de usuarios presentes, ya sea en interiores o exteriores. Por medio de una aplicación móvil desarrollada en Android, SiBU se conecta a una base de datos local implementada en la red donde se almacenan las posiciones de usuarios que fueron localizados a través de un sistema de radiomap. A diferencia de otras aplicaciones de búsqueda, SiBU realiza una clasificación de usuarios a través de niveles de acceso que permite decidir si un usuario puede ser localizado o no, según su nivel de acceso registrado. Pruebas realizadas en teléfonos móviles muestran que SiBU además de obtener información de ubicación y presencia de usuarios en redes inalámbricas, puede desarrollar nuevas funcionalidades que resultan útiles para numerosas aplicaciones.

Palabras clave: acceso, aplicación, búsqueda, móvil, usuarios, WLAN.

Abstract Many user tracking systems in wireless networks have been developed in recent years, this kind of applications allows to locate cars and mobile phones by using the global position system or cellular networks; however these complicates indoors area use. This article describes a system called SiBU which makes use of the wireless network infrastructure that already exists in one place and try to locate a user presence, either indoors or outdoors. Through a mobile application developed in Android, SiBU gets connected to a local database deployed on the network where user's positions are located through a radiomap technology and stored. Unlike other user searching applications, SiBU creates a classification of users through access levels so they can decide if they want to be reached or not, depending on their level of security provided. Tests on mobile phones show that SiBU in addition to location information and presence of users in wireless networks, can develop new features that may be useful in several applications.

Keywords: access, application, mobile, searching, users, wlan.

INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas en conjunto con las redes cableadas de datos han permitido desarrollar un gran número de aplicaciones y soluciones, principalmente enfocadas a las telecomunicaciones y manejo de información. Stojmenovic [11] menciona que una red inalámbrica puede usar una red fija como su plataforma de enlaces troncales (backbone), tal y como lo hacen las redes celulares al conectar un teléfono móvil a la estación base más cercana, este tipo de redes suele conocerse como híbridas. Según Aquino y Rangel [1] las redes híbridas deben ser aprovechadas para desarrollar soluciones que vayan más allá de la transferencia de datos. Una de estas soluciones ha sido los sistemas de localización.

Dentro de las principales técnicas de localización usadas en redes inalámbricas se encuentran; ángulo de llegada [8], tiempo de llegada [4]; mediciones de intensidad de la señal recibida [5]. Esta última técnica, conocida como RSSI por sus siglas en inglés (Receive Signal Strenght Indicator), puede ser usada para crear lo que se conoce como radiomap. En general, un radiomap consiste en

que de un conjunto de puntos de acceso inalámbricos (access point) desplegados estratégicamente en un lugar se obtengan los mapas de propagación de RSSI de todos ellos, y después modelar éstos en el plano del lugar. De esta manera una medición de RSSI hecha en una determinada área deberá hacer referencia a un único punto de localización dentro del lugar [11]. Para complementar la técnica de radiomap se pueden utilizar técnicas de triangulación donde con solo tres puntos de referencia (por ejemplo antenas transmisoras) se puede ubicar la posición de un objeto si se mide la señal de estos puntos [9].

Las técnicas antes mencionadas han sido la base para la creación de varios sistemas y aplicaciones móviles, como el sistema de localización de vehículos propuesto por Moster [7]. En este sistema se utiliza la señal WiFi de un vehículo que quiere ser localizado, y junto con el mapa de un lugar y un filtro de partículas se alcanza el objetivo que es obtener la trayectoria que siga el vehículo. Otros sistemas que vale la pena mencionar son los de localización de teléfonos móviles como la aplicación ofrecida por la empresa Aspicore [13]. Esta aplicación utiliza el sistema de posicionamiento global (GPS), con el que suelen ser equipados celulares y tabletas, además de una base de datos que en conjunto permiten rastrear a usuarios registrados. Entre las principales desventajas de este tipo de sistemas es el consumo de datos o pago por el uso de las aplicaciones, requerir recepción de señales satelitales que en espacios interiores no suele ocurrir, no permitir localizar segundos usuarios y no presentar políticas de privacidad de localización.

En general, algunos de los principales problemas de las aplicaciones que hacen uso de sistemas de localización y que buscan usuarios dentro de una red inalámbrica, es que basan su operatividad en exteriores, limitando su funcionamiento a conexiones que requieran el uso de datos. Además, los procesos de búsqueda utilizados no implementan políticas de control de acceso donde exista confidencialidad de información, lo cual no permite aplicar características nuevas como decidir si un usuario tiene o no acceso a información de otros usuarios.

En este artículo se propone un sistema de búsqueda de usuarios de redes inalámbricas llamado SiBU (por sus siglas en español Sistema de Búsqueda de Usuarios), que pueda operar en espacios interiores o exteriores según la cobertura de la red donde se implemente y con el solo hecho de estar conectado a ella, y que a diferencia de otros sistemas de localización pueda ofrecer servicios adicionales como los siguientes:

Control de acceso. Asigna a los usuarios un nivel de acceso al sistema, permitiendo que la información de localización sea permitida o no a los solicitantes.

Obtención de información de segundos usuarios. Un usuario puede solicitar al sistema información de su propia localización o de otros usuarios dentro de la red.

Información de historial de localización. La base de datos de SiBU permite guardar información de localización de usuarios en la red de ciertos días y horarios.

Para la operación de SiBU se utiliza una base de datos que posee información de localización de usuarios dentro de la red y que se crea a partir de un sistema de radiomap y triangulación implementado, requiriendo para ello el despliegue de una infraestructura de red creada por puntos de acceso inalámbricos en el lugar deseado.

Las características antes mencionadas extienden el uso de SiBU más allá de la simple búsqueda de usuarios. Se puede pensar en el desarrollo de nuevas aplicaciones como control de tráfico de vehículos, control de alumnos o personal, búsqueda de personas extraviadas dentro un perímetro como centros comerciales o parques de diversiones, envío local de mensajes entre usuarios de una misma zona, etc.

En este artículo se propone utilizar las ventajas de los sistemas de localización de las redes locales inalámbricas y combinarlas con la implementación de sistemas de información con bases de datos para lograr nuevas soluciones en el proceso de búsqueda y ubicación de usuarios.

El objetivo de este artículo es introducir a SiBU como un sistema de búsqueda de usuarios de redes WLAN con características que permitan desarrollar aplicaciones como las antes mencionadas, detallar los materiales y métodos de su implementación en una red de prueba creada dentro de la Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo (UPMH) y mostrar los detalles de su uso y operación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la implementación y operación de SiBU se requieren de 3 subsistemas; localización vía radiomap; base de datos; interfaz gráfica en dispositivos móviles. A continuación se describe cada uno de estos subsistemas.

A. Subsistema de localización vía radiomap

El propósito de este subsistema es que SiBU cuente con una infraestructura de red inalámbrica (bajo el estándar 802.11) y generar un radiomap para que a partir de éste se realice la localización de usuarios. Para ello se implementó una red de prueba en la planta alta del edificio UD1 de la UPMH donde se desplegaron 7 puntos de acceso de la marca Ubiquity Networks modelo UniFi AP-PRO con las siguientes características:

- a) frecuencia de transmisión de 2.4 GHz
- b) potencia de transmisión de 30 dBm
- c) versión WiFi 802.11 a/b/g/n

El mapa de la planta alta del edificio UD1 así como el despliegue de los 7 puntos de acceso se puede apreciar en la Figura 1, donde cada punto de acceso está marcado con la etiqueta AP1, AP2,...,AP7, respectivamente.

Metodología de muestreo estratificado

Con la distribución anterior se realizó un muestreo estratificado de mediciones de RSSI de cada AP a lo largo y ancho del escenario en distintos puntos de muestreo, todo esto con el fin de obtener de manera empírica el mapa de propagación correspondiente. Los estratos que se definieron para la toma de muestras son: alta afluencia de personas (13-15 hrs.), mediana afluencia (7-10 hrs.) y baja afluencia (20-21 hrs.). Se considera que la afluencia de personas puede ser un criterio que afecta la propagación de la señal y como consecuencia su valor de RSSI medido en un cierto punto.

El resultado de los muestreos se puede observar en la figura 1 donde los tonos de color que van desde el rojo hasta el amarillo representan los valores de RSSI de las señales inalámbricas de los APs formando un radiomap completo. Se puede apreciar como la tonalidad de rojo intenso se presenta cuando se hace una medición muy cerca de un AP (0-3 m) y se degrada hacia amarillo cuando la medición se hace a mayor distancia. De manera similar, cuando la señal cruza estructuras firmes como paredes y ventanas ésta se atenúa lo que ocasiona una propagación no uniforme.

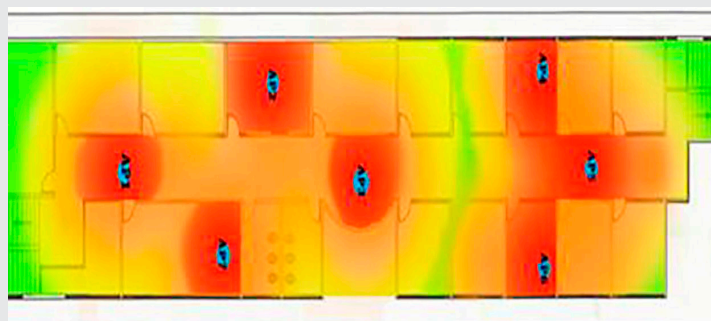


Figura 1. Plano de la planta alta del edificio UD1 de la UPMH y radiomap creado a partir de 7 APs desplegados.

Las mediciones de RSSI para crear el radiomap fueron realizadas con una computadora portátil marca Dell modelo 5537 con chipset Atheros Communications AR9565 Wireless Network Adapter (b g n). En esta computadora se utilizó el software WirelessMon 4.0 [10] que permite obtener valores de RSSI en decibelio-milivatio (dBm). También se utilizó un celular marca Sony modelo Xperia M2 con Interfaz Wireless Estándar IEEE 802.11 a/b/g/n. En este celular se utilizó la aplicación WiFi Analyzer versión 3.9.8-L [3] que permite ver el valor de RSSI en dBm de todos los APs que

estén dentro de su rango de cobertura, una captura de pantalla de esta aplicación tomando lectura de los APs cercanos es mostrada en la figura 2.



Figura 2. Aplicación WiFi Analyzer reporta el valor de RSSI en dBm de los APs cercanos.

Una consideración del sistema de radiomap y de SiBU es que en esta etapa de prueba las lecturas de RSSI de los usuarios a localizar respecto a los APs más cercanos se obtienen vía colaboración de los propios destinos. Esto es, un mensaje de solicitud se envía al usuario a localizar y éste contesta con las mediciones de RSSI que mida en ese momento. En una segunda etapa de SiBU se podría pensar en utilizar sistemas existentes más robustos como AeroScout [6] donde los dispositivos a localizar emiten periódicamente señales con el fin de que la infraestructura de red las reciba y pueda aplicar el algoritmo de localización correspondiente.

B. Subsistema de base de datos

Este subsistema tiene el objetivo de almacenar en una base de datos (BD) la proximidad de los usuarios en dBm a los APs desplegados. Para ayudar al proceso de localización la BD contendrá la ubicación de cada

AP dentro del plano UD1 además del radiomap pregrabado. De esta manera, las mediciones de un mínimo de tres APs (como las mostradas en la figura 2), el radiomap pregrabado y la técnica de triangulación deberán ubicar a un usuario dentro del UD1.

Otras funciones importantes de la BD es administrar y controlar las relaciones y búsquedas entre los diferentes usuarios mediante asignación de roles y, en este ambiente de prueba dentro de la UPMH, asignar restricciones de búsqueda según el tipo de usuario (alumno, docente, directivo, etc.) otorgando un mayor control y seguridad de los datos.

Para cumplir los objetivos anteriores, se creó una BD de prueba con una tabla principal que contiene los datos personales de los usuarios y que se consideran propios del mismo, estos datos son: Id_Usuario, Nombre, Apellidos, Clave, Correo (el correo servirá para recuperar la clave en caso de que la olvide), Id_Grupo, Id_Rol (la tabla Rol contiene los datos de los roles que se asignaron a cada usuario) y Descripción, este último campo es el que determina quién puede buscar a quién.

Los roles asignables son:

Alumno: Se le otorgaron permisos para localizar únicamente a Jefe de Grupo.

Jefe de Grupo: Se le asignaron permisos para localizar a Docente y Alumno.

Docente: Se asignaron permisos para localizar a Alumno, Jefe de Grupo y a Directivo.

Directivo: Se asignaron permisos para localizar a Alumno, Jefe de Grupo y Docente.

Estos permisos pueden variar de acuerdo a las necesidades de la organización. Para el caso de la UPMH se implementó una tabla Carrera que evita que alumnos o docentes de otros programas de estudio puedan buscar docentes o directivos que no les atañen de manera directa. El modelo entidad-relación mostrado en la Figura 3 se utilizó para las pruebas de la aplicación y el diseño de la BD de la UPMH.

En el modelo de la figura 3 podemos observar una tabla llamada dispositivo. La función de esta tabla es determinar el tipo de dispositivo con el que un usuario inicia sesión en SiBU con el fin de que solo exista una sesión activa por usuario y eliminar redundancia de información, evitando el problema de que SiBU informe si un usuario está en dos o más lugares a la vez.

Adicionalmente se contempla una tabla historial donde se guarda la información de localización de los usuarios según información del día y hora del sistema, con el fin de tener un historial de localización de los usuarios. Inicialmente se contempla que en dicha tabla se registren 2 localizaciones diarias por usuario durante 7 días y después ir eliminando los registros más antiguos con nuevos datos. Según el número de usuarios y la

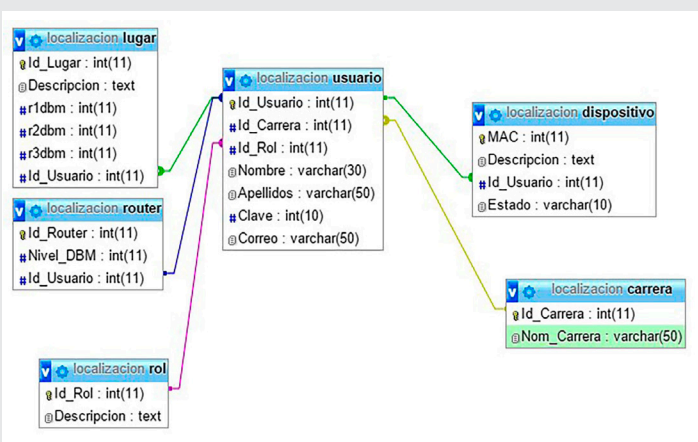


Figura 3. Modelo Entidad-Relación de la BD de prueba para la implementación de SiBU en la UPMH.

capacidad de almacenamiento que se destine para el uso SiBU el número de registros podría cambiar.

C. Subsistema de interfaz gráfica

Para la operación de SiBU se diseñó una aplicación gráfica para dispositivos móviles bajo la plataforma Android. Para ello se utilizó un lenguaje de programación orientado a objetos que se incluye en el kit de desarrollo Java Development Kit versión 8u60. Como complemento se utilizó el compilador Android Studio con el uso del kit de desarrollo de software (SDK) versión 24.3.4. Para la creación de la BD de prueba se utilizó Xampp server por sus herramientas PhpMyadmin y MySQL que permiten la administración de la BD, la cual contiene datos de los usuarios conectados a cada AP. Para conectar la BD se usaron las librerías generales de Apache.

Para la aplicación móvil se utilizó una metodología de desarrollo en cascada de la siguiente manera. En primera instancia se determinaron los requisitos de cada uno de los elementos involucrados en el sistema, así como la identificación de dichos elementos o módulos. De manera inicial se considera una pantalla de inicio, la cual contendría un método de autenticación (login) el cual dará acceso para realizar la búsqueda de acuerdo al rol que se ha asignado a cada usuario en la BD, donde están definidos los permisos y restricciones de búsqueda. Una vez que el usuario inicie sesión en un dispositivo, si la cuenta se encontraba activa en otro dispositivo ésta será desconectada dejando activa únicamente la más reciente. El siguiente elemento es la pantalla de menú la cual contendría las opciones de búsqueda que será realizada mediante los permisos que se asignaron al rol que se determinó a cada usuario. Las pantallas de Inicio y Menú son mostradas en las Figuras 4a y 4b, respectivamente, en dichos módulos se analizó y determinó el procesamiento de los datos así como las interfaces requeridas para proceder a la etapa del diseño donde se construye la estructura de los datos, dando forma a la arquitectura del software,

se realiza el detalle procedimental y se desarrolla la interfaz grafica que facilita el uso.

De esta manera una vez que el usuario envía su solicitud de búsqueda el sistema, éste determina los tres APs más cercanos al objetivo buscado y devuelve la potencia de recepción en dBm entre el objetivo y los APs.

Con los valores de RSSI entre los APs y el objetivo es posible aplicar un algoritmo de localización, de acuerdo al rango de valores que se tengan almacenados en el radiomap la aplicación será capaz de decir en que sección dentro del UD1 se encuentra el usuario.

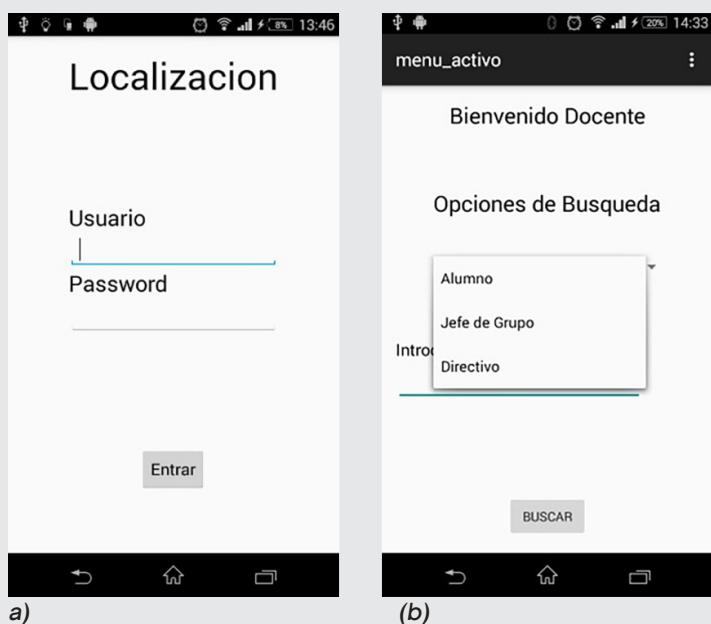


Figura 4. (a) Pantalla de Inicio de sesión de SiBU.
(b) Pantalla de Menú de SiBU.

En algunos sistemas actuales “el punto de acceso inalámbrico alimenta la base de datos mediante dispositivos móviles correlacionados vía el sistema de posicionamiento global (GPS), el AP al que está conectado y la dirección MAC, en casos de precisión baja se proponen técnicas donde puedan fundirse los APS” [2]. La tabla 1 es un ejemplo del resultado de una búsqueda hecha en el UD1 donde solo se utilizan los APs desplegados:

Tabla 1. Búsqueda de usuarios mediante el uso de APs

	AP1	AP2	AP7
Usuario Buscado	-50 dBm	-70 dBm	-35 dBm

Pantalla de Búsqueda

La pantalla de búsqueda contiene los resultados de localización donde se muestra el nombre del usuario buscado y su localización dentro del UD1. Como se puede apreciar en la Figura 5, la interfaz de resultados muestra el mapa del UD1.

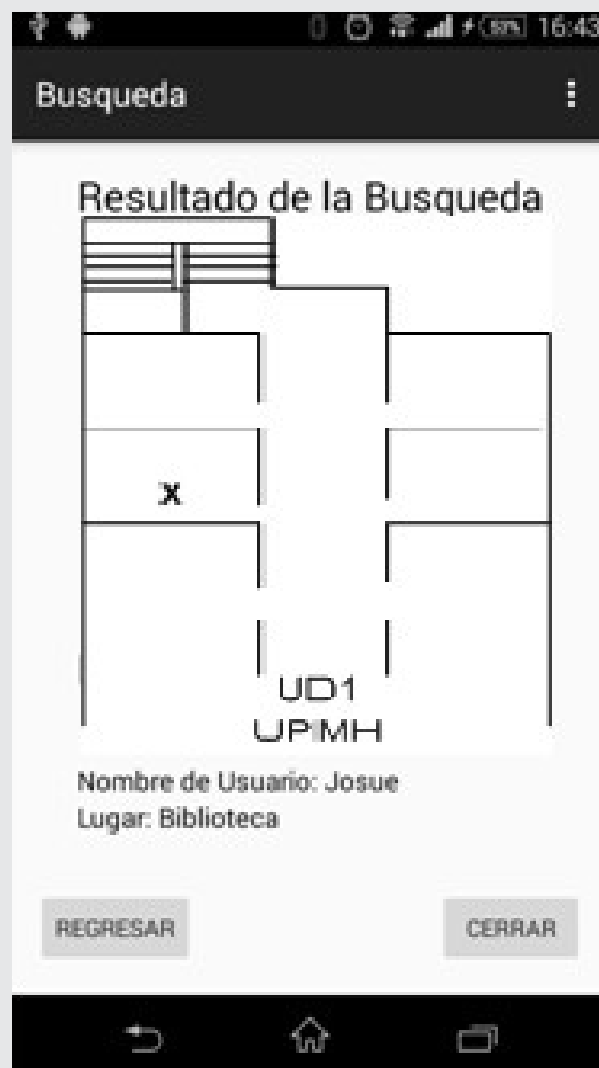


Figura 5. Pantalla de Resultados de SiBU

RESULTADOS

Para probar el funcionamiento de SiBU se implementó éste en un smartphone marca Huawei modelo Y635-L03 con sistema operativo Android 4.4.4 y versión de kernel 3.10.28-g39323c1.

Por otra parte en la base de datos, descrita en la sección anterior, se almacenaron los datos de ubicación dentro del UD1 de 13 usuarios con diferentes roles (5 alumnos, 2 jefes de grupo, 3 docentes y 3 directivos).

El escenario de prueba del UD1 se dividió en 4 zonas: área administrativa (zona 1), área de salones de clases (zona 2), área de cubículos de profesores (zona 3) y área de laboratorio multimedia (área 4). Se realizó la siguiente prueba.

En 4 diferentes horas (9:00-9:59 hrs, 10:00-10:59 hrs, 11:00-11:59 hrs y 12:00-12:59) un usuario con el rol de directivo, utilizando SiBU, intentó localizar a los 13 usuarios registrados en la base de datos (incluyendo su propia localización), los resultados se muestran en la figura 6.

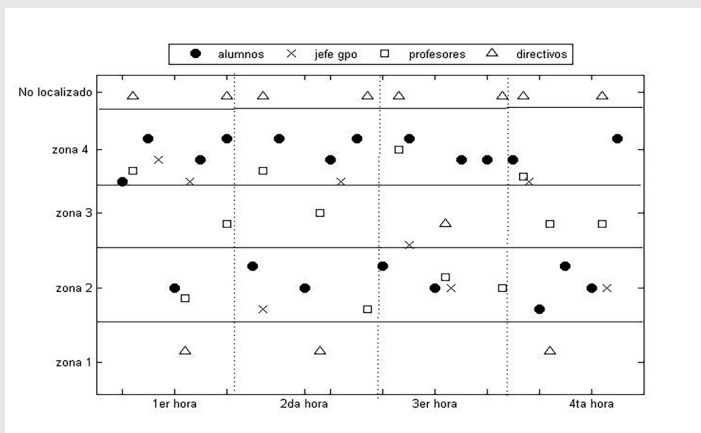


Figura 6. Usuarios localizados por SiBu dentro de la UPMH en 4 diferentes horarios utilizando el rol de "Directivo".

En esta figura 6 se aprecia que solo a dos usuarios, con rol de directivo, no fue posible acceder a sus datos de ubicación, mientras el resto fue detectado en alguna zona. Este resultado no solo indica la jerarquía implementada en la UPMH para obtener datos de segundos usuarios al mantener un nivel de confidencialidad, además, permite ver como algunos usuarios fueron moviéndose de zona. Por ejemplo, es posible observar como los alumnos se mueven entre zonas que únicamente tienen que ver con actividades de docencia (salones y laboratorios), lo cual permitiría el desarrollo de actividades de monitoreo de usuarios ubicando quién está en una zona permitida y quién no.

Una posible aplicación de control que podría implementarse en la UPMH es la siguiente. En cualquier laboratorio existe la regla de que siempre que estén alumnos presentes debe haber un docente con ellos. La figura 6, por ejemplo, indica que esa regla nunca ha sido violada en la zona 4, al existir siempre un docente presente. Esta posible aplicación podría funcionar en otras organizaciones al requerir que siempre exista una persona en un determinado lugar, por ejemplo un vigilante en una puerta principal, según sea el caso.

Por otro lado, cierta información podría utilizarse para implementar monitoreo y control de usuarios y zonas. Por ejemplo, en la misma figura 6 se observan las zonas que se visitan más frecuentemente, además del tipo de usuarios en ellas. Con base en estos datos se podría pensar en aumentar o disminuir el ancho de banda de acceso a Internet en algunas zonas con mayor y menor afluencia, respectivamente.

CONCLUSIONES

En el presente artículo se presentó un sistema de búsqueda de usuarios en redes WLAN que permite encontrar segundos usuarios en espacios interiores, pero que puede aplicarse a exteriores si existiera cobertura en la red.

Según el radiomap de prueba de la UPMH presentado en la Figura 1, se pueden implementar sistemas de localización, bajo técnicas conocidas, donde se haga uso de redes híbridas que permitan incrementar la funcionalidad y aplicabilidad de éstos.

Bajo una implementación estratégica de una base de datos, como la mostrada en la Figura 3, un sistema de localización puede implementar características innovadoras a sus usuarios, como niveles de acceso. Estos niveles pueden incorporar políticas de seguridad como permitir o no que un usuario sea localizado.

Pruebas realizadas en la UPMH muestran que un sistema de localización en redes WLAN de segundos usuarios y políticas de acceso permiten proponer nuevas aplicaciones como control de alumnos o personal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aquino R., Rangel V. Y Edwards A. (2011). *Emerging Technologies in Wireless Ad-hoc Networks: Applications and Future Development*. New York: IGI Global.
- [2] Danalet, A., Farooq, B. Y Bierlaire, M. A. (2014). *Bayesian approach to detect pedestrian destination-sequences from WiFi signatures*. *Journal of Transportation Research Part C. Emerging Technologies*. Vol. 44 pp.146-170.
- [3] Farproc. (2015). *WiFi Analyzer*. Consultado el 9 de abril de 2015, Página de la empresa desarrolladora de software Farproc. <http://a.farproc.com/wifi-analyzer>.
- [4] Golden, S. Y Bateman, S. (2007). *Sensor Measurements for WiFi Location with Emphasis on Time-of Arrival Ranging*. *Journal of IEEE Transactions on Mobile Computing*. Vol. 6, no. 10, pp. 1185-1198.
- [5] Kitasuka, T., Hisazumi, K., Nakanishi, T. Y Fukuda, A. (2005). *Positioning Techniques of Wireless LAN Terminals Using RSSI between Terminals*. *Procedente de la International Conference on Pervasive Systems and Computing*. Las Vegas, NV, USA, pp. 47-53.
- [6] Miesenberger, K., Klaus, J., Zagler, W. Y Karshmer, A. (2008). *Computers Helping People with Special Needs*. *Procedente de la 11th International Conference (ICCHP)*. Linz, Austria, p. 25.
- [7] Moster, F. Y Tews, A. (2006). *Practical WiFi Localization for Autonomous Industrial Vehicles*. *Procedente de la Australasian Conference on Robotics and Automation*, Auckland, New Zealand.
- [8] Niculescu, D., Y Nath, B. (2003). *Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA*. *Procedente de la*

22nd Annual Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM). San Francisco, CA, USA, vol. 3, pp. 1734-1743.

[9] Osa, V, Matamales, J., Monserrat, J., Y Lopez, J. (2012). Localization in Wireless Networks: The Potential of Triangulation Techniques. *International Journal Wireless Personal Communications*. Vol. 68. pp 1525-1538.

[10] Passmark. (2011). *WirelessMon*. Consultado el 9 de abril de 2015, Página de descarga de software Softonic. <http://wirelessmon.softonic.com/>

[11] Scholl, P. (2012). Fast Indoor Radio-map building for RSSI-based Localization System. *Procedente de 9th International Conference on Networked Sensing System*. Antwerp, Belgium. Pp. 1-2.

[12] Stojmenovic, I. (2001). *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing*. New York: Wiley

[13] Tanner J. (2013). *Aspicore GSM Tracker*. Consultado el 8 de mayo de 2015, Página de la empresa Aspicore en Finlandia. <http://aspicore.com/category/tracker/>

Este proyecto fue realizado gracias al apoyo PRO-DEP 2014 (F-PROMEP-38/Rev-03), con número de carta de liberación DSA/103.5/15/3082



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Control de posición del robot LEGO® MINDSTORMS® EV3 usando una red neuronal adaptativa con sistema de inferencia difuso

RESUMEN: En este artículo, se presenta el control de posición de un robot móvil LEGO MINDSTORMS EV3. Para ello, se utilizan técnicas de control inteligente como son las redes ANFIS. La programación del robot se hace a través del software de MATLAB llamado SIMULINK. Se explica a groso modo en que consiste el algoritmo de las redes ANFIS. Se genera y se hace el entrenamiento de la red ANFIS por medio de una caja de herramientas de lógica difusa incluida en MATLAB. Una vez creada la red ANFIS, se empuja en un bloque que puede ser usado en SIMULINK. Por medio de la técnica de control por aprendizaje inverso se crea en SIMULINK el sistema que vía Wi-Fi controla el robot EV3. Para el análisis de resultados, por medio de SIMULINK se crea un controlador PID, mismo que se autoajusta optimizando sus parámetros. Se comparan los resultados dados por el controlador PID, contra los resultados obtenidos por el controlador ANFIS propuesto en esta aportación. En lo referente a mayor rapidez en la respuesta y mayor precisión y exactitud para llegar a un punto de referencia dado, resultó mejor el controlador ANFIS propuesto que el controlador PID.

Palabras clave: red ANFIS, sistemas de inferencia difusos, robot LEGO, aprendizaje inverso, SIMULINK, controlador.



Colaboración

Julio Ramírez; Daniel Tellechea; Gildardo Jiménez, Instituto Tecnológico de Nogales

ABSTRACT: This paper presents a robot LEGO MINDSTORMS EV3 position control. To achieve this, intelligent control techniques are used such as the ANFIS networks. The robot programming is done through software called SIMULINK from MATLAB. It is explained in roughly how ANFIS algorithm works. It builds and carries out the ANFIS network training using a fuzzy logic toolbox that belongs to MATLAB. Once created the ANFIS network, it is embedded in a block that can be used in SIMULINK. The system is created in Simulink for robot control via Wi-Fi. In order to achieve this a inverse learning technique is used. For results analysis a PID controller is created in SIMULINK. This controller auto-adjusts itself to optimize its parameters. The results given by the PID controller, with the results obtained by the proposed ANFIS controller are compared. With regard to faster response and greater precision and accuracy to reach a given reference point, the proposed ANFIS controller performed better than PID controller.

Keywords: ANFIS network, fuzzy inference systems, LEGO robot, inverse learning, SIMULINK, controller.

INTRODUCCIÓN

Uno de los enfoques más nuevos en la teoría de control en lazo cerrado es el control Neurodifuso. En el área de la Inteligencia Computacional [14] las redes Neurodifusas ANFIS son un paradigma híbrido que resulta de la combinación de redes neuronales con lógica difusa.

Lo que se desea controlar con las redes ANFIS (Adaptive Network-based in Fuzzy Inference Systems) es la posición del robot LEGO® MINDSTORMS® EV3. Este es un robot de relativamente bajo costo que está teniendo muy buena aceptación en la enseñanza de la robótica [4,16,3]. Otra herramienta que se usa en este trabajo es el software de programación gráfica llamado SIMULINK®. Este es un software de la compañía MATLAB®, muy usado en la comunidad académica de las Ingenierías. SIMULINK en su versión 2014 incluye librerías que facilitan el uso del robot EV3.

Uno de los problemas que se tiene para incentivar la ciencia y la ingeniería a nivel bachillerato y licenciatura, es lo abstracto que resulta la enseñanza de estas disciplinas a nivel teórico [13]. En ese sentido, el objetivo de este trabajo es presentar de una manera muy atrayente para el alumno, el uso de técnicas innovadoras del control inteligente. La ventaja de este enfoque es que no representa una gran dificultad para el alumno que puede hacer uso de los comandos de MATLAB, que cuenta con una caja de herramientas de lógica difusa que incluye las ANFIS.

Existen trabajos relacionados del uso de las ANFIS pero son con robots de laboratorio más costosos [12]. También existen muchas contribuciones que incluyen robots LEGO en sus aportaciones [13,6], pero no usan SIMULINK. Existen contribuciones que incluyen el uso de robots LEGO manipulados a través de SIMULINK [1], pero no hacen uso del controlador tipo ANFIS. En ese sentido, el actual trabajo es de los primeros en controlar la posición de un robot LEGO MINDSTORMS EV3 usando herramientas de control inteligente como las ANFIS que se pueden incluir en SIMULINK.

El control de posición en los robots móviles de este tipo es importante. El caso de un robot usado para desactivar explosivos [11] o para la exploración de volcanes [2] debe tener una exactitud de avance y retroceso milimétrica. Además de las aplicaciones anteriores en el control de posición de robots móviles, existen muchas más que se mencionan en la literatura [15].

MATERIAL Y MÉTODOS

La robotización, es decir, los sistemas automatizados, se encuentran en casi todos los sectores de la sociedad. Los podemos encontrar en la industria, en la medicina y en el sector militar. Por tal motivo, la robótica móvil y los sistemas autónomos son tópicos de creciente interés en los programas educativos de Ingeniería y Ciencias Computacionales.

LEGO MINDSTORMS EV3

Bloque de LEGO MINDSTORMS EV3, es el robot de tercera generación en la línea robótica LEGO MINDSTORMS. Es el robot sucesor de segunda generación LEGO MINDSTORMS NXT 2.0. La designación "EV" se refiere a la "evolución" de la serie NXT. "3" se refiere al hecho de que es la tercera generación de bloques de LEGO - primero fue RCX y el segundo es NXT.

En Estados Unidos LEGO ha liderado en lo referente al programa gubernamental STEM [8], inspirando a los usuarios a participar en la diversión y el aprendizaje práctico. El corazón de LEGO MINDSTORMS es el bloque EV3. Es el bloque inteligente programable que controla los motores y sensores. También proporciona comunicación inalámbrica. Existe un software propiedad de LEGO de naturaleza gráfica para programar a los robots. Los autores prefirieron usar SIMULINK por ser más común entre los estudiantes de ingeniería. En la figura 1, se muestra el robot EV3 con algunas de sus herramientas.

El actuador principal del EV3 es el llamado motor grande [9]. Es un motor inteligente que tiene incorporado un sensor con resolución de un grado para un control preciso en la marcha. La salida principal del sistema es un sensor ultrasónico. El sensor ultrasónico es un sensor digital que puede medir la distancia a un objeto delante de él. Lo hace mediante el envío de ondas sonoras de alta frecuencia que miden el tiempo que tarda el sonido que se refleja de regreso al sensor.

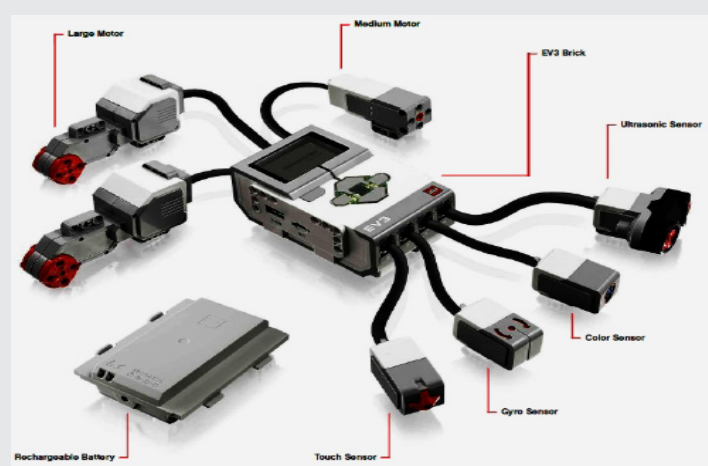


Figura 1. Herramientas del LEGO MINDSTORMS EV3.

El rango de detección de este sensor está entre 3 y 250 centímetros (con una precisión de ± 1 cm).

SIMULINK Y LEGO MINDSTORMS EV3

SIMULINK es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación MATLAB. Es posible utilizar SIMULINK para programar y ejecutar algoritmos sobre el robot LEGO MINDSTORMS EV3. El EV3 incluye un microcontrolador basado en ARM9, varios sensores, además de los descritos anteriormente (por ejemplo, de rayos infrarrojos, color, tacto, y otros), y tres servomotores. Con SIMULINK se puede programar el robot para que realice tareas: como seguir una línea o detectar y evadir objetos.

Con SIMULINK también se puede desarrollar algoritmos para sistemas de control y aplicaciones de robótica [5], y luego simular para verificar que los algoritmos funcionan según lo previsto. Con el clic de un botón, es posible descargar y ejecutar los algoritmos directamente sobre LEGO MINDSTORMS EV3 (vía Wi-Fi o una conexión Ethernet). El soporte integrado de SIMULINK para la plataforma LEGO MINDSTORMS EV3 incluye:

- 1.- Instalación y configuración automatizada.
- 2.- Biblioteca de bloques de SIMULINK que conectan con las entradas y salidas de LEGO MINDSTORMS EV3, como botones y altavoces; numerosos sensores de entrada incluyendo el color, el tacto, giroscopio, ultrasonidos, infrarrojos, y el codificador; y sensores de salida tales como servo motor, luz de estado, y la pantalla.

3.- Parámetro de ajuste interactivo de los productos y la monitorización de señales de entradas de sensor para las aplicaciones que se ejecutan en el robot EV3.

SISTEMAS DE INFERENCIA DIFUSOS

Los sistemas de inferencia difusos se basan en la lógica difusa. Uno de los objetivos de la lógica difusa es proporcionar las bases del razonamiento aproximado que utiliza premisas imprecisas como instrumento para formular el conocimiento. Los sistemas de inferencia difusos, también son llamados por su acrónimo en inglés FIS (*Fuzzy Inference Systems*). Los FIS se basan en la configuración de tres componentes conceptuales: una base de reglas, la cual contiene una selección de las reglas difusas; una base de datos, la cual define las funciones de pertenencia usadas en las reglas difusas y un mecanismo de razonamiento o motor de inferencia, el cual ejecuta el procedimiento de inferencia.

Existen principalmente tres tipos fundamentales de sistemas de inferencia difuso. El tipo 1 o modelo de *Mamdani*; el tipo 2 o modelo de *Tsukamoto* y el tipo 3 o modelo de *Takagi-Sugeno*. En la figura 2 se esquematiza los tres tipos de mecanismos de inferencia difusos. Una regla de inferencia difusa tiene la forma siguiente:

Si x es A_1 Y y es B_1 Entonces $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Donde a la premisa del SI condicional, se le llama "antecedente" y a la premisa del resultado Entonces, se le llama "consecuente".

ANFIS

El modelo ANFIS fue desarrollado por J.R. Jang en 1993 [10]. Se basa en las redes neuronales adaptativas y en los sistemas de inferencia difusos. Las capacidades adaptativas de las redes ANFIS las hacen directamente aplicables a una gran cantidad de áreas como control adaptativo, procesamiento y filtrado de señales y series de tiempo, clasificación de datos y extracción de características a partir de ejemplo.

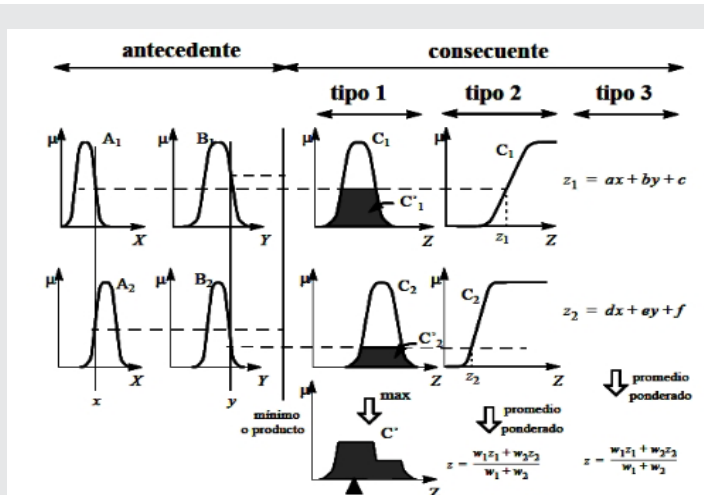


Figura 2. Mecanismo de razonamiento difuso.

La red ANFIS, como se muestra en la figura 3, es una estructura de varias capas con nodos y enlaces direccionales a través de los cuales dichos nodos son conectados. Esta red adaptativa está fundamentada en principios de aprendizaje híbrido, es decir, que usa diferentes métodos de aprendizaje básico para el entrenamiento de la red.

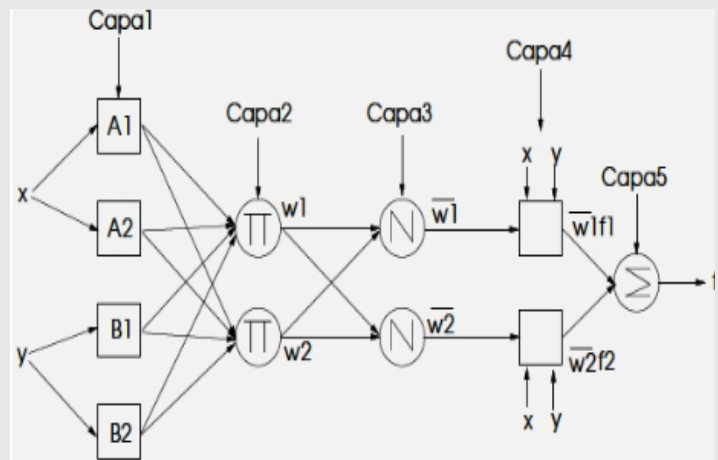


Figura 3. Arquitectura típica para ANFIS con reglas tipo Takagi-Sugeno.

Se propone un sistema de inferencia difuso con dos entradas "x" y "y" junto con una salida "z", además, se establecen dos reglas difusas de tipo TS (*Takagi-Sugeno*) como se muestra a continuación.

Regla 1: Si x es A_1 Y y es B_1
Entonces $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Regla 2: Si x es A_2 Y y es B_2
Entonces $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Entonces conforme a la estructura de la red la información se propaga capa por capa.

Capa 1: En ésta capa se difusifica cada entrada (x, y), donde usualmente es utilizada la función de membresía campana generalizada Ec. (1).

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Capa 2: Para esta segunda capa, cada nodo calcula la fuerza de ponderación de cada regla Ec. (2).

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad \text{Ec. (2)}$$

Capa 3: Los nodos en esta capa indican la normalización N de los niveles de ponderación de cada regla Ec. (3).

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad \text{Ec. (3)}$$

Capa 4: Para la cuarta capa se calcula la salida Takagi-Sugeno de cada regla Ec. (4).

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad \text{Ec. (4)}$$

Capa 5: Con éste último nodo se calcula la salida total del sistema Ec. (5).

$$O_i^5 = f(x) = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad \text{Ec. (5)}$$

Las redes ANFIS son usadas para el aprendizaje de funciones no lineales de control en modo supervisado. Esta propiedad de aprender este tipo de funciones, es lo que las hace atractivas para su uso en el control de sistemas.

MÉTODO POR APRENDIZAJE INVERSO

El método por aprendizaje inverso se basa en ecuaciones en diferencias, por lo que la técnica de control usada aquí es la del control digital. El desarrollo del aprendizaje inverso, envuelve dos fases en el diseño de controladores Neurodifusos [7]. Una es la fase de aprendizaje y la otra la fase de aplicación. En el enfoque actual, el aprendizaje de la dinámica inversa del modelo de planta se hace fuera de línea.

Asumiendo que el orden de la planta (i.e., el número de variables de estado) se conoce y todas las variables de estado se pueden medir, se tiene la Ec. (6).

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)) \quad \text{Ec. (6)}$$

A partir de la Ec. (6) podemos generalizar y llegar a la Ec. (7).

$$x(k+n) = F(x(k), U(k)) \quad \text{Ec. (7)}$$

En la Ec. (7), n es el orden de la planta, F es una función compuesta múltiple de f , y U es la acción de control desde k hasta $k+n-1$, lo cual es igual a $[u(k), u(k+1), \dots, u(k+n-1)]^T$. La ecuación anterior apunta al hecho de que dada una entrada de control u desde el paso de tiempo k hasta $k+n-1$, el estado de la planta se moverá desde $x(k)$ hasta $x(k+n)$ exactamente en n pasos de tiempo.

La red ANFIS debe de aprender el comportamiento de la planta, o sea, el comportamiento del robot EV3. Para esto, se entrena la red con una función que pueda mapear el espacio de movimiento del robot. Por ejemplo, si se desea que el robot a partir de una posición cero obedezca comandos de avanzar y luego retroceder para de nuevo avanzar, entonces para el entrenamiento se debe usar una función senoidal.

Dado que el aprendizaje es fuera de línea es necesario contar con el modelo matemático de la planta, para poder hacer el entrenamiento en un simulador. Asumiendo que se cuenta con el modelo matemático del robot, entonces en SIMULINK (simulador a usar) se aplica una señal de entrada. En el caso particular de estudio, esta señal puede ser una función senoidal. Esta señal será la entrada de control $u(k)$, que produce las salidas $x(k)$ y $x(k+1)$ según se muestra en la figura 4.

Figura 4. Diagrama a bloques para el método de aprendizaje inverso: (a) bloque de planta; (b) fase de entrenamiento; (c) fase de aplicación.

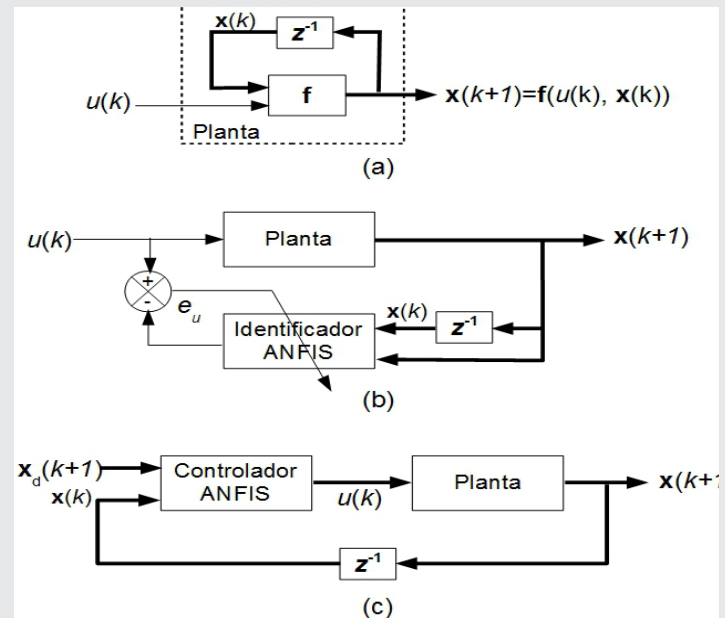


Figura 4. Diagrama a bloques para el método de aprendizaje inverso: (a) bloque de planta; (b) fase de entrenamiento; (c) fase de aplicación.

A partir de las señales se forman los vectores de entrenamiento que se organizan en la matriz mostrada en la Ec. (8).

$$[x(k)^T, x(k+1)^T; U^T] \quad \text{Ec. (8)}$$

En la fase de entrenamiento (ver figura 4(b)) se aplica a la entrada el vector columna U^T (función senoidal discreta). Después de pasar por la planta (modelo matemático del robot) se producen las señales discretas que conforman los vectores columna $x(k)$ y $x(k+1)$ de la Ec. (8). El bloque z^{-1} es usado para representar el operador correspondiente al retardo de una unidad de tiempo. A partir de la señal de salida $x(k+1)$ y del bloque z^{-1} se obtiene la señal $x(k)$. Estas dos señales al pasar por el identificador ANFIS regeneran la señal de entrada $u(k)$. Cuando el error e_u tiende a cero, entonces el identificador ANFIS aprendió el comportamiento dinámico de la planta; a esto se le llama aprendizaje inverso.

Al decir que el identificador ANFIS aprendió el comportamiento dinámico de la planta, se quiere dar a entender que la red ANFIS se debe comportar en la misma forma que se comportaría la planta ante cualquier señal de entrada. En la fase de aplicación Figura 4 (c), a la señal de control se la define como $x_d(k+1)$. A esta señal se la llama señal deseada. Al hecho de llamarle de esta forma, da a entender el comportamiento predictivo del sistema de control.

Si nos fijamos, $x_d(k+1)$ se refiere a una señal con una unidad de tiempo en adelante o señal futura (virtual). El identificador ANFIS que en esta fase funge como controlador ANFIS, que fue diseñado para recibir una señal en adelante $x_d(k+1)$ y una señal actual $x(k)$, ajustará su salida $u(k)$ tal que $x(k+1)$ siga a $x_d(k+1)$. De esta manera es que se logra el diseño del controlador ANFIS.

MODELO MATEMÁTICO DE LA PLANTA

Con el fin de poder simular el entrenamiento de la red ANFIS es necesario contar con el modelo matemático del comportamiento dinámico del robot EV3. Para ello se usó un método empírico de ingeniería inversa. El procedimiento para obtener el modelo matemático primero implica: armar el robot EV3 con los motores y el sensor ultrasónico de proximidad; como se muestra en la figura 5.

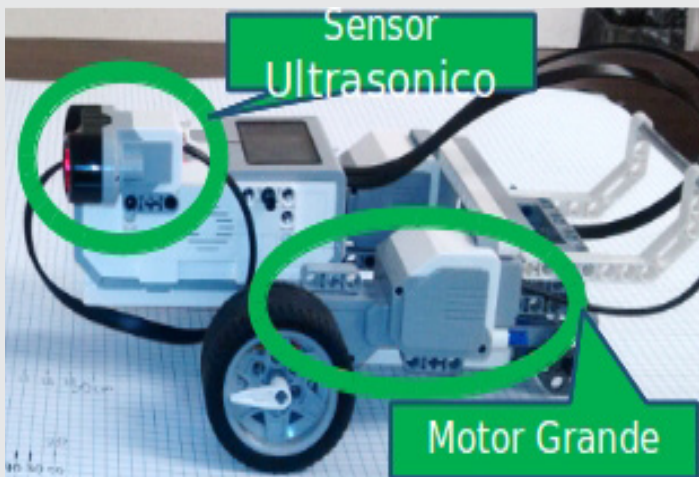


Figura 5. Robot EV3 con motores y sensor.

Después de ello, es aplicada una señal oscilante tipo senoidal con una amplitud de 88 cm a diferentes frecuencias. Las lecturas son registradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Lecturas del comportamiento dinámico del robot EV3.

Recorrido	Distancia(m)
Troqueladora 07 – Torno 13	9.08
Troqueladora 07 – Torno 24	14.73
Troqueladora 07 – Torno 25	5.50
Torno 13 – Troqueladora 12	9.70
Torno 24 – Troqueladora 12	17.70
Torno 25 – Troqueladora 12	6.40
TOTAL	63.11

En la Tabla 1, la velocidad es una estimación de velocidad en la escala de 0 a 100 % que por defecto incluye el software de programación del EV3. La frecuencia angular ω es la medición de esa velocidad en rad/seg. La ganancia $|G(j\omega)|$ es la razón entre la distancia medida y la distancia programada, expresada en decibels (dB). Esto es, la distancia máxima recorrida D_m que se midió con el sensor, entre la distancia máxima a recorrer programada D_p . La ganancia $|G(j\omega)|$ se obtiene con la Ec. (9).

$$|G(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{D_m}{D_p} \right| \quad \text{Ec. (9)}$$

De la Tabla 1 podemos observar que las atenuaciones en la ganancia se dieron en $\omega = 0.1587$ rad/seg y en $\omega = 0.1960$ rad/seg. En el dominio de la frecuencia donde $s = j\omega$, estas frecuencias se pueden expresar como las raíces o polos dominantes del sistema. Por esta razón es que un modelo matemático muy aproximado para el robot EV3 se puede representar con la Ec. (10).

$$G_p(s) = \frac{1}{(s + 0.1587)(s + 0.1960)} \quad \text{Ec. (10)}$$

En la Ec. (10) $G_p(s)$ es el modelo matemático de planta en función de la transformada de Laplace (s).

ENTRENAMIENTO DE LA RED ANFIS

Una vez conseguido el modelo de planta se procede a entrenar la ANFIS a través de SIMULINK. Se diseña en SIMULINK el sistema con el modelo de planta $G_p(s)$ que en la figura 6, se expresa en forma polinómica (Transfer Fcn).

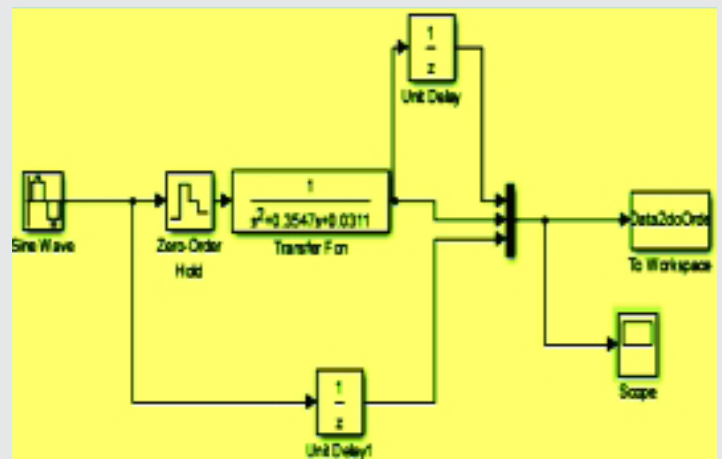


Figura 6. Sistema de simulación que genera los patrones de entrenamiento de la Ec. (8).

La señal a usar como se puede ver en el bloque de entrada de la figura 6, es una función senoidal. La barra oscura vertical que envía las señales colectadas al espacio de trabajo (Workspace) es llamado multiplexor y colecta de arriba abajo los vectores $[x(k)^T, x(k+1)^T; U^T]$. Estos patrones de entrenamiento se almacenan en una variable (Data2doOrden) en el espacio de trabajo. Después de esto, usando la caja de herramientas de MATLAB se diseña la red ANFIS de dos entradas, una para $x(k)$, y otra para $x(k+1)$ como se ve en la figura 7.

La figura 7 muestra la etapa inicial en el diseño de la ANFIS donde se define el número de entradas y se elige el sistema de inferencia difuso Takagi-Sugeno. A continuación se abre otra ventana (Figura 8) donde se estructura la red ANFIS y se lleva a cabo el entrenamiento. Con el fin de hacer breve la explicación del diseño de la red ANFIS, no se mencionan las etiquetas lingüísticas de cada una de las entradas de control. Estas etiquetas son generadas automáticamente con

un número por defecto en la cantidad de las mismas, pero que el usuario puede ajustar tanto en cantidad como en tipo, en la búsqueda de la optimización del controlador.

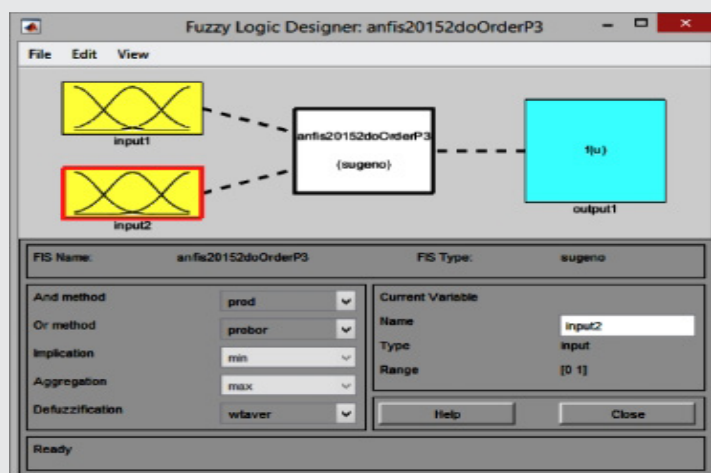


Figura 7. Diseño de la red ANFIS con la caja de herramientas de lógica difusa.

En el recuadro inferior derecho de la Figura 8, se cargan los datos de la variable que contiene los patrones de entrenamiento (Data2doOrden) provenientes del espacio de trabajo. En los recuadros subsiguientes se genera la FIS, se entrena la red y por último se prueba. En el recuadro superior se muestra como la salida de la red ANFIS sigue casi sin error a una función senoidal que se usa para probar la red una vez que esta ha sido entrenada. Cuando se logra que la salida de la ANFIS siga a la perfección a la señal de prueba, entonces decimos que la red ANFIS ha logrado aprender el comportamiento dinámico de nuestro robot.

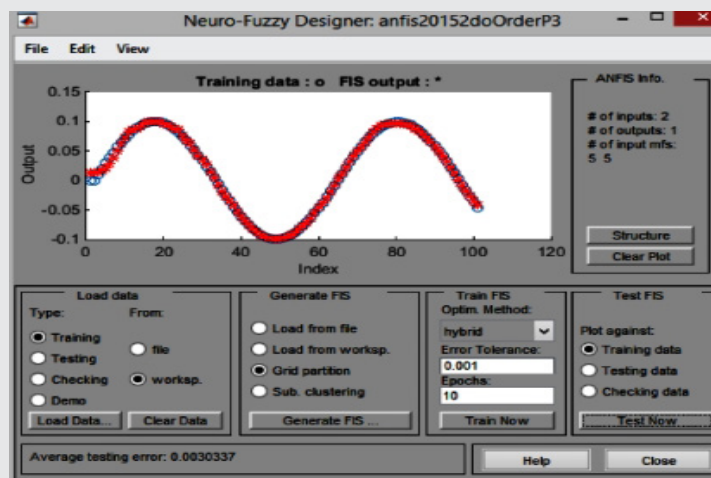


Figura 8. Diseñador de la red ANFIS.

En el recuadro inferior derecho de la figura 8, se encuentra la opción para prueba de la FIS. Si se quiere pueden usarse datos de prueba y de revisión. En este caso particular solo se usaron datos de entrenamiento que resultaron suficientes para la prueba de la red. Una vez diseñado el controlador inverso ANFIS pasamos a la implementación del sistema de control en SIMULINK.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ANFIS

El sistema consta de varias etapas (ver Figura 9) que se explican a continuación.

Lectura de posición. Esta parte consiste del encoder del robot EV3, el cual ayuda a monitorizar la posición de los motores grandes del robot EV3 y además lee el valor del sensor ultrasónico en el Display, que es salida del sistema.

Comparación. Este detector de error ayuda a tener una comparación entre el valor leído en el encoder y el valor de la posición a la que se quiere llegar.

Controlador ANFIS. Esta parte se encarga del control del sistema. Controla la posición de los motores y durante el análisis de resultados, fue aquí donde se hicieron los cambios pertinentes de controladores.

Sistema de movimiento de los motores. Esta parte es un sistema de control hacia adelante y hacia atrás el cual hace que el motor camine hacia adelante y hacia atrás con la función Sign (detector de cambio de dirección) el cual da un valor de salida de 1 cuando la entrada es mayor de 0 y un valor de -1 cuando el valor de entrada es menor a 0. Después esta la función Sign1 la cual ayuda a tener la misma polaridad de los motores (necesaria para que el EV3 se desplace en línea recta). Luego se encuentran 2 ganancias para mantener el valor de entrada de velocidad de los motores en 30 (esto evita la zona muerta de los motores). Por último están los bloques de librerías (dlls) de los motores, en los puertos B y C.

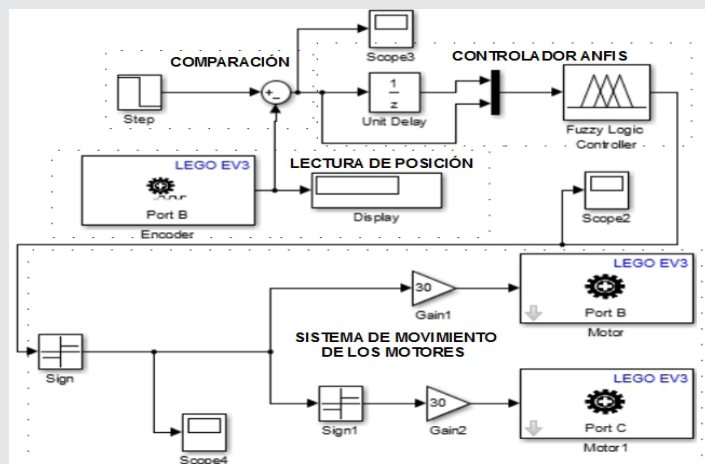


Figura 9. Diseño del sistema de controlador inverso ANFIS del robot EV3 en SIMULINK.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Es usual en ingeniería de control automático comparar los resultados de una nueva metodología con los paradigmas tradicionales del control automático. En ese sentido, es común usar el controlador Proporcional, Integral, Derivativo (PID). Este paradigma de con-

trol a pesar de su veteranía, es uno de los más usados actualmente en la industria. Esto se debe a su atributo principal, que es su gran robustez. No obstante su robustez, también es capaz de otorgar gran exactitud en su salida de control, minimizando el error de control con mucha eficiencia. La salida del controlador PID genera una señal de control $m(t)$. En la Ec. (11) se describe los términos matemáticos que componen esta acción de control.

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec. (11)}$$

Los términos K_p , K_i y K_d , son los parámetros de los modos de control Proporcional, Integral y Derivativo, que se corresponden respectivamente. La señal $e(t)$ es la señal de error que corresponde a la salida del restador de la etapa de comparación en la Figura 9. Diseñar un controlador PID en el SIMULINK es tarea fácil. Solamente se agrega un bloque llamado PID que se sustituye por el controlador ANFIS. El ajuste de parámetros K_p , K_i y K_d en el bloque PID se puede desarrollar de manera automática, ya que tiene una función de auto ajuste. Para el sistema de control estudiado el auto ajuste brindó los siguientes valores: $K_p = 0.001$, $K_i = 0.0001$ y $K_d = 0$.

En la figura 10 se muestra el scope3 que es la señal que sale del restador donde se compara el valor deseado con el valor medido por el encoder. Esta señal es el error de posición final. El encoder va montado en las llantas del EV3 y muestra la posición final del robot. Las lecturas de este sensor son iguales a las del sensor ultrasónico usado para entrenar el controlador ANFIS.

Lo que podemos apreciar en la figura 10, es que una vez que el robot EV3 llegó a una posición de 50 cm, se le ordenó volver al origen. En esta ocasión el robot tardó 11 segundos a una velocidad constante observando un error de aproximadamente +1 cm más allá del origen. También se puede observar una oscilación como de 0.5 cm alrededor del punto de paro.

Después de observar el comportamiento del robot EV3 con un controlador PID, se cambia el controlador de nuevo por el controlador ANFIS. Ahora con el sistema configurado como el de la figura 9 se ejecutan los mismos comandos sobre el robot y esta vez se obtiene un comportamiento como el que se muestra en la figura 11.

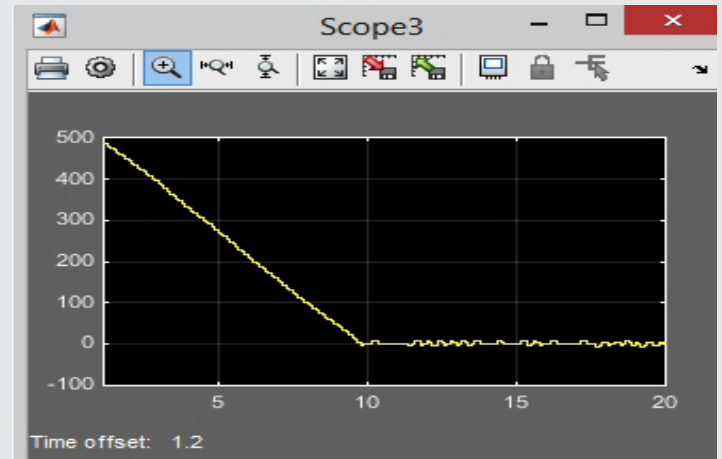


Figura 11. Señal de error del controlador ANFIS usado en el control de posición del EV3.

Lo que se observa en la figura 11, es que para volver al origen con una velocidad constante, igual a la usada para el controlador PID, solo tardó 9 segundos. Dos segundos menos que con el controlador PID. También podemos observar que el error en estado estable es cero, pues no tuvo sobrepaso y permanece en cero. Además podemos observar que las oscilaciones en estado estacionario son de menor frecuencia.

CONCLUSIONES

Según los resultados observados en el apartado anterior, el controlador ANFIS tiene mejores características que el controlador PID. El controlador ANFIS tardó 2 segundos menos en llegar a la posición ordenada, el error fue mucho menor (cero) y las oscilaciones aunque de amplitud aproximada mucho menos frecuentes. Por lo anterior, es ampliamente recomendable el uso de un controlador inverso tipo ANFIS, que en el enfoque actual, resultó mucho mejor que el controlador PID. Además, el controlador ANFIS por sus características adaptativas, puede ser usado en controladores o aplicaciones que busquen la propiedad de poder predecir el comportamiento futuro del sistema, como sucedió en este caso.

Otro de los logros de esta contribución, es el poder ofrecer un reporte sobre el comportamiento de un robot LEGO MINDSTORMS EV3, controlado por la implementación de un control inverso a través de una red ANFIS desarrollada totalmente en SIMULINK. De esta forma, aportamos un enfoque didáctico más atractivo para los estudiantes de pregrado y posgrado.

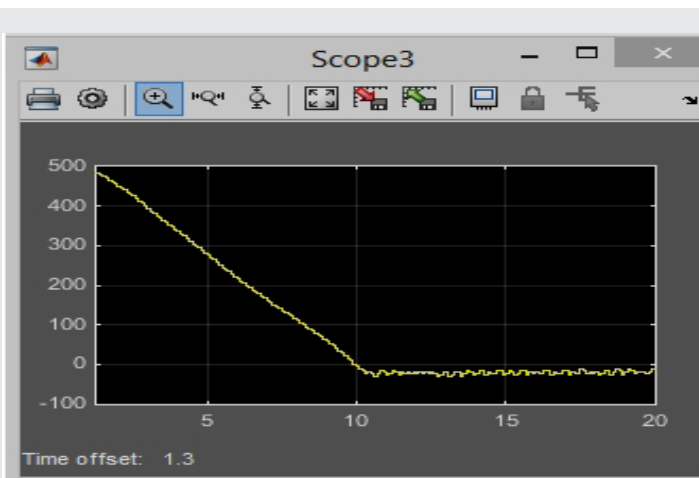


Figura 10. Señal de error del controlador PID usado en el control de posición del EV3.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bonilla, M. I., Novelo, F. Q., Enríquez, I. G., & Cortés, J. R. (2009). Desplazamiento de un robot con localización y evasión de obstáculos por visión y ultrasonido. CONAGOLFO 2009, Instituto Tecnológico de Orizaba.
- [2] Caltabiano, D., Ciancitto, D., & Muscato, G. (2004, April). Experimental results on a traction control algorithm for mobile robots in volcano environment. In *Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on* (Vol. 5, pp. 4375-4380). IEEE.
- [3] Danahy, E., Eric, W., Brockman, J., Carberry, A., Shapiro, B., & Rogers, C. B. (2014). Lego-based robotics in higher education: 15 years of student creativity. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11.
- [4] Gallegos Gallegos, E. G., & Gallegos Mayorga, E. M. (2015). Evaluación de la plataforma didáctica Lego Mindstorms EV3 para el concurso ecuatoriano de robótica en la categoría creatividad lego (Doctoral dissertation).
- [5] Hardware Support. LEGO MINDSTORMS EV3 Support from Simulink. Consultado el 7 de noviembre de 2015. www.mathworks.com/hardware-support/lego-mindstorms-ev3-simulink.html.
- [6] Huan Dinh and Tamer Inanc (2009). Low Cost Mobile Robotics Experiment with Camera and Sonar Sensors. American Control Conference, Hyatt Regency Riverfront.
- [7] Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 23(3), 665-685.
- [8] Kuenzi, J. J. (2008). Science, technology, engineering, and mathematics (stem) education: Background, federal policy, and legislative action, USA.
- [9] LEGO MINDSTORMS EV3 (2013). User Guide. Consultado el 7 de noviembre de 2015. www.nr.edu/csc200/labs-ev3/ev3-user-guide-EN.pdf
- [10] Mendoza Y., Mazo A. (2009). Análisis del modelo ANFIS en el pronóstico de un título de renta variable. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- [11] Murphy, R. R., Kravitz, J., Stover, S. L., & Shoureshi, R. (2009). Mobile robots in mine rescue and recovery. *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 16(2), 91-103.
- [12] Paolini, C., Huber, G., Collier, Q., & Lee, G. K. (2011). A Web-Based Mobile Robotic System for Control and Sensor Fusion Studies. In *Proc. of the ISCA Int'l Conference on Computers in Industry and Engineering*, Honolulu.
- [13] Pereira, G., Ierache, J. S., & Mazza, N. (2014). Robótica en el contexto de las tecnologías de la educación. En *IX Congreso sobre Tecnología en Educación & Educación en Tecnología* (La Rioja, 2014).
- [14] Samanta, B. (2011). *Computational intelligence: a Tool for Multidisciplinary Education and Research. Proceedings of the 2011 ASEE Northeast Section Annual Conference*, University of Hartford.
- [15] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Caramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press.
- [16] Tello-Leal, E., Guerrero-Melendez, T. Y., & Saldívar-Alonso, V. P. (2013). Revisión de la plataforma robótica LEGO Mindstorms para aplicaciones educativas y de investigación. *Sistemas & Telemática*, 11(26).



Ciencias de la Computación

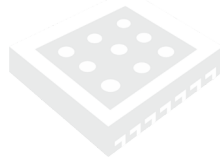
Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Prototipo de luminaria LED con regulación de temperatura por PWM

RESUMEN: Este proyecto consiste en el desarrollo del prototipo de una luminaria con un sistema de regulación de temperatura. Cuando se presenta un calor acumulado excesivo por un diseño deficiente en la instalación de las luminarias, condiciones atmosféricas adversas y el propio calor generado por los diodos emisores de luz se puede afectar la fiabilidad y el tiempo de vida del dispositivo, sin embargo, una señal de corriente modulada por ancho de pulso puede ralentizar el incremento de temperatura, como lo demuestran los resultados experimentales adquiridos por el método de termografía infrarroja.

Palabras clave: luminaria, diodo emisor de luz, temperatura, termografía infrarroja, sistema embebido.



Colaboración

Teth Azrael Cortes Aguilar; Aristeo Gutiérrez López; Jorge Arturo Ruvalcaba Villa, Instituto Tecnológico Superior de Zapopan

ABSTRACT: This project involves the development of a prototype lamp with temperature control system. When excessive cumulative heat occurs by poor design in the installation of the lamp, adverse weather conditions and heat itself generated by light emitting diodes can affect the reliability and lifetime of the device, however, a current signal by pulse width modulation can slow down the temperature increase, as shown by the experimental results obtained by the method of infrared thermography.

KEYWORDS: lamp, light emitting diode, temperature, infrared thermography, embedded system.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de luminaria LED con regulación de temperatura por PWM (Pulse Width Modulation) se propone como un prototipo electrónico en fase exploratoria, para proteger los diodos emisores de luz en luminarias para uso indistinto en interior y exterior cuando operan en condiciones de calor excesivo respecto a las especificaciones técnicas del dispositivo. Un diseño con poca disipación de calor, una instalación deficiente de la luminaria o condiciones atmosféricas de temperatura elevada así como una alta radiación solar incidente y una baja velocidad del viento son algunas de las causas que afectan la fiabilidad de los dispositivos LED en la luminaria cuando operan a temperaturas por arriba de su rango máximo recomendado. El prototipo de luminaria LED propone un diseño que incluye el uso de un sistema embebido para regular la temperatura mediante una señal PWM y un ensamble mecánico y electrónico que facilite la disipación de calor. Los resultados experimentales de la evaluación del prototipo se obtuvieron mediante el método de termografía infrarroja y muestran una reducción de la temperatura en respuesta a la señal de corriente modulada por ancho de pulso.

Se propone la implementación de la regulación de temperatura por PWM como una alternativa de diseño viable respecto a otros sistemas de enfriamiento como ventiladores o refrigerantes. El objetivo de la propuesta es permitir que la luminaria reduzca el calor generado por sus propios diodos emisores de luz o en su defecto se apaga cuando la temperatura excede un valor crítico. Esta acción de regulación facilita la disipación de calor. Una vez restituida la temperatura dentro de un rango aceptable la luminaria se enciende nuevamente.

Fiabilidad y tiempo de vida de los LED respecto a la temperatura

Los diodos emisores de luz LED de estado sólido tienen el potencial de reducir el consumo de energía por iluminación hasta en un 50% revolucionando la manera en cómo se iluminan los lugares de trabajo, espacios públicos y hogares [8]. Sin embargo, a pesar de que los diodos emisores de luz tienen un tiempo de vida largo, de 3 a 5 años, un diseño deficiente en el sistema puede reducir su tiempo de vida.

El calor generado en la unión p-n es uno de los factores principales que afectan la duración del LED. Narendran et. al., reportan en su investigación, como varios LED blancos del mismo fabricante fueron sujetos a experimentos del tiempo de vida en diferentes temperaturas ambientales, concluyendo que el tiempo de vida de los LED se reduce de manera exponencial con un incremento de la temperatura. [6]

Por otro lado, los diodos emisores de luz con una reducción del 20% en la temperatura de la unión comparada con estructuras térmicas tradicionales muestran un incremento en la potencia de salida y la intensidad de luz radiada [2]. Una técnica comúnmente usada en ensamblajes electrónicos para mejorar la transferencia de calor es el uso de pasta silicona térmica entre el LED y el disipador. Sin embargo esta técnica depende de la capacidad del disipador para radiar el calor hacia el entorno, así como de las condiciones atmosféricas alrededor de la luminaria.

En México los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Tabasco y la península de Yucatán presentaron en el 2015 una temperatura máxima promedio mensual, entre 35°C y 40°C [13] que junto con otros factores atmosféricos como la velocidad del viento y la radiación solar, pueden incidir en un entorno desfavorable para la operación de luminarias LED.

Aplicación del método de termografía infrarroja

Las características fotométricas del dispositivo, especialmente el flujo luminoso contra la potencia eléctrica y la temperatura de la lámpara se pueden medir para un panel LED con defecto y otro sin defecto mediante imágenes infrarrojas [4]. También H. K. Fu et. al.,

utilizan una cámara de termografía para verificar los resultados de una simulación sobre la distribución de calor en un módulo de diodos emisores de luz, mediante la medición de voltajes directos y transitorios térmicos [1].

La Termografía infrarroja, ver figura. 1 es un método sensible a las propiedades ópticas de las capas de la estructura del LED, sin embargo se acerca al método de medición de voltaje directo para pocas capas, como concluyó S. Natarajan et. al., en un estudio comparativo para medir la temperatura en LED UV por: 1) Espectroscopia Raman, 2) Termografía Infrarroja y 3) Método de medición de voltaje directo. [7]

En el trabajo titulado “Aplicación de la Termografía para la comparación de la eficiencia en LED de potencia” [10] así como del análisis de las conclusiones de las diferentes investigaciones reportadas. T. A. Cortes Aguilar y J. Valadez Aguilar presentan un experimento para la medición de la temperatura en condiciones de estrés térmico para diodos emisores de luz, en la figura. 1 la región de la imagen de color blanco muestra una temperatura por arriba de los 80°C para el LED de prueba.

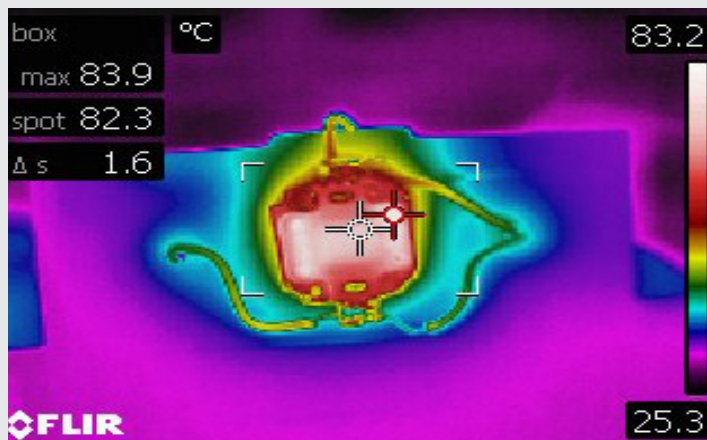


Figura 1. Imagen térmica de LED de 10 W de potencia bajo condiciones de estrés térmico y medición de radiación con emisividad cercana a $\epsilon=0.95$ sobre el disipador.

En condiciones de operación térmica normal los diodos emisores de luz convierten del 70% al 80% de la energía en calor. Los LED implementados en el prototipo de la luminaria tienen una temperatura máxima de operación de 60°C.

Relación de Intensidad luminosa contra Temperatura

Para las mediciones experimentales del presente trabajo se utilizó una cámara de termografía marca FLIR modelo E50 considerando, el punto de máxima radiación en estructuras adyacentes con un factor de emisividad cercana a 0.95.

Mediante los datos experimentales adquiridos por termografía infrarroja se graficó en la figura 2, la intensi

dad luminosa normalizada contra la temperatura y se concluye que a partir de la temperatura crítica de 80°C la intensidad luminosa empieza a disminuir, sin embargo el consumo de energía se conserva.

Un enfriamiento efectivo es una de las características más importante de los módulos LED, porque su fiabilidad se reduce significativamente conforme se incrementa la temperatura en la unión.

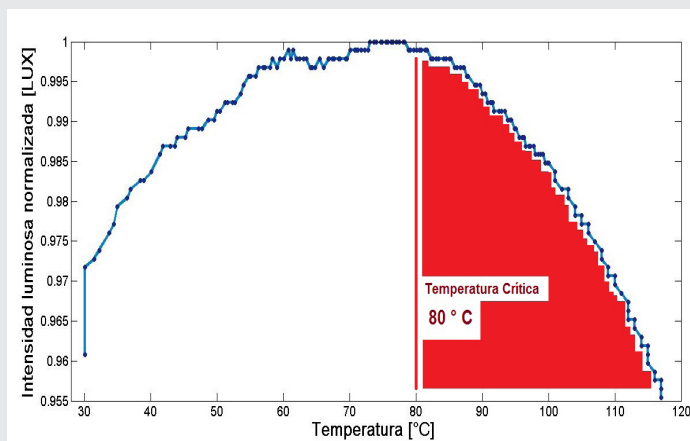


Figura 2. Gráfica de Intensidad luminosa normalizada contra Temperatura.

Si el calor producido por el LED no es disipado efectivamente, la eficiencia en luminosidad y el tiempo de vida se reducen. Park et. al., señalan que bajo estrés térmico el flujo luminoso para electrodos de Au se reduce en un 2.77% contra un 0.09% con electro-plataado [3]. En la presente propuesta de diseño de la luminaria LED se implementó un circuito, que mediante modulación por ancho de pulso reduce la energía suministrada a la matriz de LED cuando la temperatura se acerca al valor crítico de 80°C en el cual se compromete la fiabilidad de la luminaria. En la gráfica de la figura 9, de resultados experimentales la temperatura de reduce en respuesta a una señal PWM.

Por otro lado la eficiencia luminosa se incrementa en un 23.7% cuando la resistencia térmica total se reduce en un 30.5%, según el modelo de disipador propuesto por los autores M. W. Jeong, et. al., [5]. En consecuencia, un aspecto importante en el diseño del prototipo de luminaria LED es el concepto de usar la caja de aluminio del ensamble como elemento de disipación de calor, poniendo en contacto directo la superficie interna de la caja con el LED para transferir rápidamente el calor hacia el exterior.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la construcción de la luminaria se utilizaron 12 LED de 5W de potencia [9] con las características técnicas de la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas del LED.

Modelo	Color de emisión	Corriente (mA)	Potencia (W)
SDP03W 64405240	Blanco	800	5.45
Temperatura de color (K)	Voltaje (v)	Flujo Luminoso (lm)	
6000	6.5	180	Mín.
6500	6.8-7.2	240	Avg.
7000	7.5	300	Máx.

Circuito electrónico

El circuito electrónico es un prototipo en fase exploratoria, conformado por un sensor de temperatura en grados Celsius LM35, con un rango operación de -55°C a 150°C con una precisión de 0.5°C [11] que envía la señal hacia la entrada analógica A0 del sistema embebido Arduino UNO, ver figura 3.

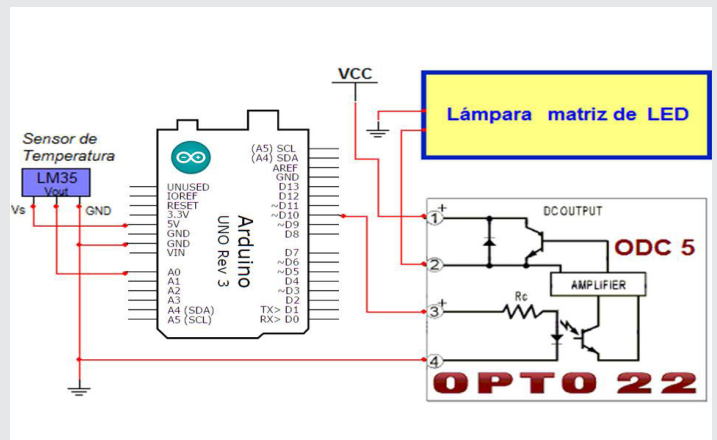


Figura 3. Esquema del circuito electrónico para el control de la luminaria.

A través de la salida del pin 10 del Arduino se envía una señal ON/OFF o modulada por ancho de pulso PWM hacia un relevador de estado sólido modelo ODC5, el cual tiene una entrada lógica 5 VDC y una salida de 5-60 VDC, con un tiempo de encendido de 100µs y de apagado de 750µs [12]. El relevador de estado sólido ODC5 controla la corriente suministrada a la tarjeta electrónica que tiene una matriz de LED

Programación del sistema embebido

Para la generación y control de la corriente suministrada hacia los LED de potencia se programó el código de la figura 4, en el sistema embebido Arduino. La función analogWrite genera una señal PWM de 500Hz de frecuencia; suficiente para evitar los problemas de centelleo de la luz LED por persistencia retiniana y dentro de los lapsos de tiempo de encendido y apagado del relevador de estado sólido ODC5.


```

1  int val;
2  int tempPin = A0;  // SENSOR INPUT
3  int LED = 10;      // LED OUTPUT
4
5  void setup()
6  {
7    pinMode(LED, OUTPUT);
8  }
9
10 void loop()
11 {
12   val = analogRead(tempPin);
13   float mv = ( val/1024.0)*5000;
14   float cel = mv/10;  // Celsius Degrees
15   if (cel >= 55 && cel < 60) {
16     analogWrite(LED, 191); } // PWM 75%
17   else if (cel >= 60 && cel < 65) {
18     analogWrite(LED, 127); } // PWM 50%
19   else if (cel >= 65 && cel < 70) {
20     analogWrite(LED, 64); } // PWM 25%
21   else if (cel >= 70 && cel < 80) {
22     analogWrite(LED, 32); } // PWM 12.5%
23   else if (cel >= 80) {
24     digitalWrite(LED, LOW); } // OFF
25   else {
26     digitalWrite(LED, HIGH); } // ON
27 }

```

Figura 4. Código cargado en la tarjeta Arduino UNO durante las pruebas.

Si la temperatura es menor a 55°C la luminaria LED permanece encendida con una corriente continua nominal total de 3.2 A. Pero cuando excede los 80°C la luminaria se apaga, como medida de protección. La señal de modulación por ancho de pulso se configuró de acuerdo a los rangos de temperatura de la Tabla 2.

Los criterios de selección de estos rangos fueron: 1) la temperatura de operación máxima de 60°C recomendada por el fabricante, 2) La temperatura crítica de 80°C que se deduce del análisis de la gráfica de la figura 2, de intensidad luminosa contra temperatura.

Tabla 2. Señal PWM y rangos de temperatura.

Señal PWM [%]	Rango de Temperatura [°C]	
	Mínima	Máxima
75	55	60
50	60	65
25	65	70
12.5	70	80

Cuando la señal PWM disminuye hasta el 12.5% se reduce la corriente y en consecuencia el calor generado por los LED, en estos casos el flujo luminoso también disminuye, sin embargo esta acción de regulación permite que la temperatura en la luminaria se restablezca en un rango óptimo de operación después de un lapso de tiempo.

Ensamble de la luminaria

En la Fig. 5 se muestra la vista en explosión del ensamble del prototipo de luminaria LED, la cual está constituida por una base de aluminio que sirve de disipador de calor y como caja para la tarjeta de circuito impreso que tiene soldados los LED de potencia. Encima de la tarjeta de la matriz de LED y atornillada a la caja de aluminio se coloca una pantalla de vidrio para protección de la luminaria.

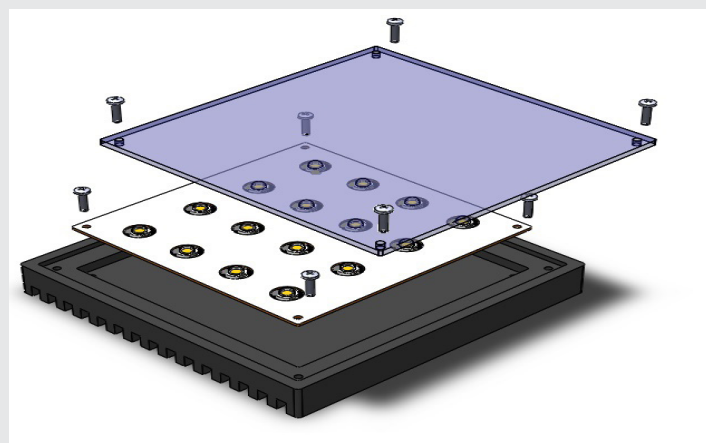


Figura 5. Vista en explosión del ensamble del prototipo de luminaria LED

En la figura 6a se muestra la vista de frente de la luminaria con una matriz de 12 LED de 5W de potencia cada uno. El calor generado por los diodos emisores de luz se transfiere por conducción hacia la cara interior de la caja de aluminio que contiene la tarjeta de circuito impreso y que a su vez sirve como disipador de calor por el lado opuesto; como se puede observar en la fotografía de reverso de la luminaria en la figura 6b.

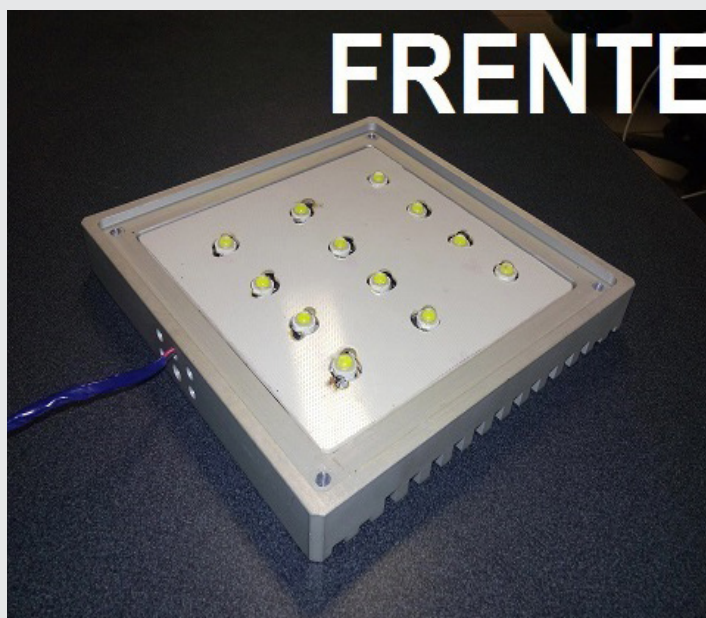


Figura 6a. Fotografías de frente y reverso para la luminaria LED

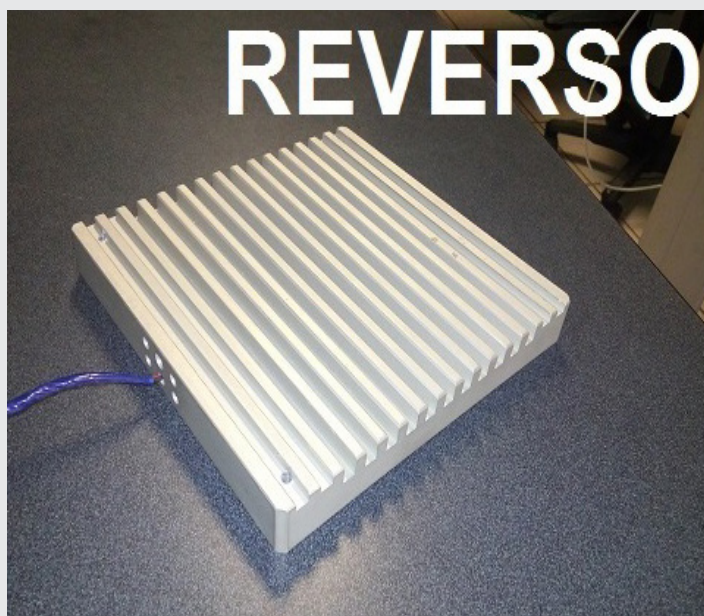


Figura 6b. Fotografías de frente y reverso para la luminaria LED

RESULTADOS

Las características técnicas del prototipo de luminaria LED, se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Características técnicas de la luminaria.

Corriente nominal [A] DC	Voltaje matriz de LED [V _{DC}]	Potencia [W]
3.2	24	76.8
Flujo luminoso [lm]	Peso [kg]	Color de emisión
2,880	0.45	Blanco
Dimensiones [mm]		
Largo	Ancho	Altura
150	150	20

En los experimentos sobre el rendimiento de la luminaria se utilizó el método de termografía infrarroja para observar la capacidad de disipación de calor de la luminaria bajo condiciones experimentales de 27°C en temperatura ambiente y 3600 lm en iluminación ambiental externa incidente. Simulando un escenario de operación menor al valor máximo del rango recomendado de temperatura, sin viento y con radiación lumínica incidente.

Para un suministro de corriente continua nominal en la gráfica de la figura 7 se muestra un incremento en la Temperatura, de aproximadamente 0.453 °C/min.

Con una señal de corriente modulada por ancho de pulso con un ciclo de trabajo del 75%, Fig. 8, se observa que la temperatura no disminuye, por el contrario se incrementa a una tasa de 0.131 °C/min, aunque menor al caso de corriente continua.

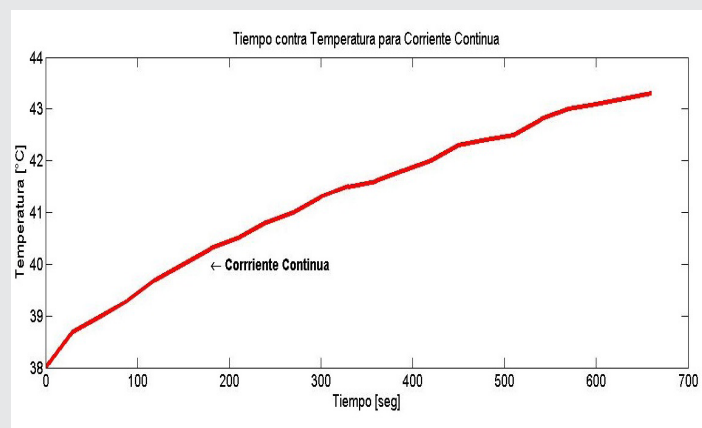


Figura 7. Gráficas de Tiempo contra Temperatura para señal de corriente continua.

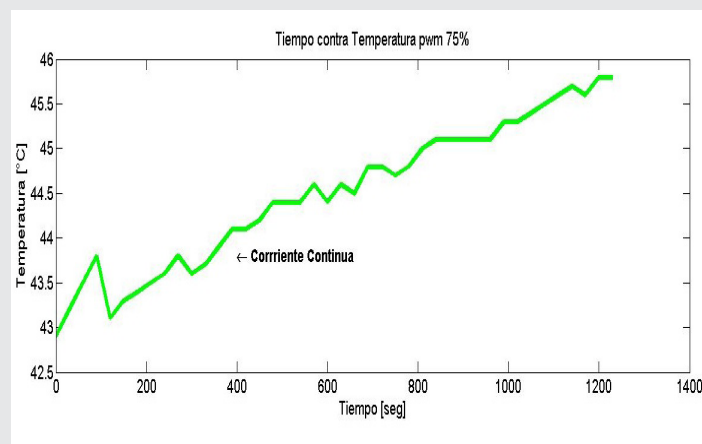


Figura 8. Gráficas de Tiempo contra Temperatura para señal PWM de 75%.

En las gráficas de la figura 9, se observa una reducción de la temperatura con respecto al porcentaje de modulación de la señal de corriente: de -0.060 °C/min para una señal PWM con 50% de ciclo de trabajo, de -0.306 °C/min para una señal PWM de 25% de ciclo de trabajo y de -0.523 °C/min para una señal PWM de 12.5% de ciclo de trabajo.

Se aplicó un modelo de regresión lineal simple sobre los datos de las gráficas de tiempo contra temperatura obteniendo las razones de cambio aproximadas de la tabla 4.

Tabla 4. Datos experimentales para la razón de cambio de temperatura contra tiempo para corriente continua y modulada por ancho de pulso.

Corriente	[m °C/seg]	[°C/min]
Continua	+ 7.5659	+0.453
PWM 75%	+ 2.197	+0.131
PWM 50%	-1.007	-0.060
PWM 25%	-5.1144	-0.306
PWM 12.5%	-8.7318	-0.523

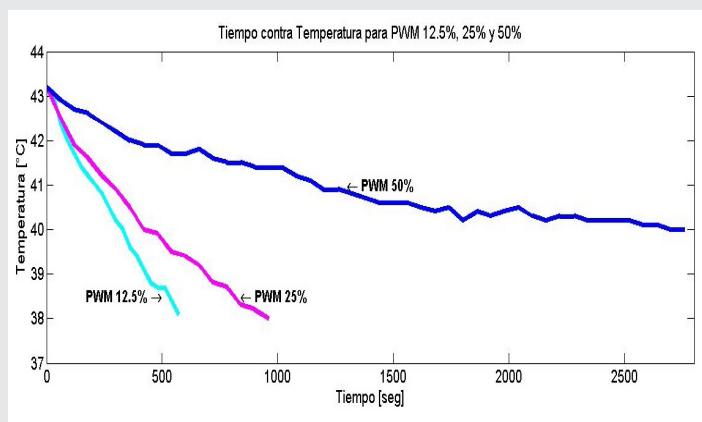


Figura 9. Gráficas de Tiempo contra Temperatura para señales PWM de 12.5%, 25% y 50%.

CONCLUSIONES

Se fabricó una luminaria que utiliza un ensamble de aluminio como disipador y una señal de corriente modulada por ancho de pulso para regular la temperatura y proteger los LED de un daño por operación en condición de calor acumulado excesivo.

Los resultados experimentales obtenidos por termografía infrarroja muestran que en condiciones ambientales no favorables para la disipación de calor, un suministro de corriente continua nominal permite alcanzar el valor de temperatura crítica a razón $0.453\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, a partir de la cual se puede afectar la fiabilidad y el tiempo de vida de los LED de la luminaria.

Una señal de corriente modulada por ancho de pulso con un ciclo de trabajo del 75% ralentiza el incremento de temperatura. En consecuencia, en la programación del sistema embebido se estableció como medida preventiva la temperatura de operación máxima de 60°C recomendada por el fabricante del LED.

Las señales de corriente modulada por ancho de pulso con ciclos de trabajo de 50%, 25% y 12.5%, son las adecuadas para reducir la temperatura en la luminaria y proteger los LED, evitando que alcancen la temperatura crítica de operación, superior a los 80°C .

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. K. Fu, C.P. Wang, H. C. Chiang, T. T. Chen, C. L. Chen, P. T. Chou. (2013). *Evaluation of temperature distribution of LED module*. *Microelectronics Reliability*, Vol. 53 (4), pp. 554-559.
- [2] J. H. Choi, M. W. Shin. (2012). *Thermal investigation of LED lighting module*. *Microelectronics Reliability*, Vol. 52 (5), pp. 830-835.
- [3] J. K. Park, J. H. Shin, M- G. Jung, S. J. Suh, (2015). *Manufacture and Evaluation of Light Emitting*

Diode Package Substrate Using Flexible Printed Circuit Board. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15 (10), pp. 7578-7581.

[4] M. Maaspuro, A. Tuominen. (2013). *Thermal analysis of LED spot lighting device operating in external natural or forced heat convection*. *Microelectronics Reliability*, Vol. 53 (3), pp. 428-434.

[5] M. W. Jeong, S.W. Jeon, Y. Kim. (2015). *Optimal thermal design of a horizontal fin heat sink with a modified-opening model mounted on an LED module*. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 91 (5), pp. 105-115.

[6] N. Narendran, Y. Gu, (2005). *Life of LED-based white light sources*. *Journal of Display Technology*, Vol. 1(1), pp. 167-171.

[7] S. Natarajan, Y. Habtemichael, S. Graham, (2013). *A Comparative Study of Thermal Metrology, Techniques for Ultraviolet Light Emitting Diodes*. *Journal of Heat Transfer*, Vol. 135 (9).

[8] S. Pimputkar, J. S. Speck, S. P. DenBaars, S. Nakamura, (2009). *Prospects for LED lighting*. *Nature Photonics*, Vol. 3 (4), pp. 180-182.

[9] Snowdragon Industrial CO., LTD, (2016). *LED High Power 5W Series*. Consultado el 14 de Abril de 2016, <http://www.snowdragonledhk.com/new-led-high-power-5w.htm>

[10] T. A. Cortes Aguilar, J. Valadez Aguilar. (2015). *Aplicación de la termografía para la comparación de la eficiencia en LED de potencia*. Conferencia presentada en The Green Global Forum, Guadalajara, Jalisco, Noviembre 4-6, 2015.

[11] Opto22 (2012). *Standard DC output Modules*. ODC5 datasheet, Form: 450-120920

[12] Texas Instruments. (1999). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, LM35 datasheet, SNIS159F, August1999, [Revised January 2016]

[13] CONAGUA (2015), "Reporte del clima de México", Año 5, No. 5, Mayo 2015 pp. 15-19.



Ingeniantes

Revista de Investigación • Instituto Tecnológico Superior de Misantla