



# CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

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

## Artículos de Investigación del 1<sup>er</sup> Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería



# CONINCI 2015

Líderes Innovando al Mundo

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

**Título de la revista:**

Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

**Año: 1, Volúmen: 1, Número: 1**

Edición 2015

**Editor:**

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo



Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Año 1, No. 1, 2015. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n Col. Periférico, C.P. 35150, Ciudad Lerdo, Durango, México. Teléfono: +52 (871) 7 25 23 71, ext. 125. Correo electrónico: [revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx), página web: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx>. Editor responsable: Ing. Jesús Héctor Rivera Machado. No. de Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2016-021613354100-203, ISSN: 2448-623X, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Centro de Cómputo, Ing. Marcos Morales Esparza, edificio H, Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México. La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización 22 de abril de 2016.



## CONSEJO EDITORIAL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

PRESIDENTE

ING. CARLOS GERARDO LANDEROS ARAUJO

SECRETARIO GENERAL

M.C. JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO

ING. JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

OTROS MIEMBROS DEL CONSEJO EDITORIAL

M.C. JESÚS HÉCTOR RIVERA MACHADO

[HTTP://WWW.ITSLERDO.EDU.MX](http://www.itslerdo.edu.mx)



## COMITÉ EDITORIAL

### EDITOR RESPONSABLE

M.C. JESÚS HÉCTOR RIVERA MACHADO

#### SUPERVISOR EDITORIAL

M.C. TANIA ELIZABETH VELÁSQUEZ  
CHÁVEZ

#### SECRETARIA DE REDACCIÓN

LIC. LILIANA LÓPEZ APARICIO

#### ARTE, DISEÑO, PORTADA Y SUPERVISIÓN TÉCNICA DE REVISTA

M.S.C. JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL

#### DISEÑO DE PÁGINA WEB

LIC. PASCUAL SALAZAR CASTILLO

#### WEBMASTER

ING. MARCO MORALES ESPARZA

## COMITÉ REVISOR

ADRIANA VIRAMONTES ACOSTA, ALEJANDRO RUIZ PERCHES, ANTONIO MENDOZA RUELAS, ARON GÁMEZ VARGAS, JOSÉ ÁNGEL CANDELAS SAUCEDO, KARLA DEL ROCÍO FLORES ROMO, KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO, MAGALY JAZMÍN SANDOVAL LUÉVANOS, MIGUEL ÁNGEL RÍOS FAVELA, RAQUEL ARACELI FAVELA HERRERA, ROSALBA CERVANTES ORTEGA, SILVIA ADRIANA VIDANA MARTÍNEZ, TANIA ELIZABETH VELÁSQUEZ CHÁVEZ, VÍCTOR EDI MANQUEROS AVILÉS, VÍCTOR ILICH MIRÓN OROZCO.

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

## CARTA DEL EDITOR

Estimados lectores, me es grato presentarles, en su primera edición, la revista electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo *CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO*, la cual tiene como objetivo principal propiciar un espacio de divulgación de índole tecnológico. Esta revista anual fue creada con la intención de motivar a la comunidad estudiantil, docente e investigadora, así como al sector empresarial e industrial, a divulgar sus trabajos de investigación y/o desarrollo tecnológico.

Tenemos la intención de que la revista sea un motor importante para alcanzar la visión que tiene nuestra institución de impulsar el vínculo entre la vida académica, estudiantil y todos los sectores de interés. Además, pretende ser una fuente de información veraz y sustentada, a la que podrá acceder cualquier persona desde cualquier punto del planeta ya que, al ser una revista electrónica con difusión en internet, contribuye a poner en una plataforma mundial a nuestra institución, donde se trabaja por ser partícipes del trabajo científico e investigativo que se realiza en nuestra región y en nuestro país, así como brindar el espacio a investigadores extranjeros para que publiquen sus trabajos científicos y/o de desarrollo industrial y tecnológico. Por tanto, nuestra revista siempre tratará con responsabilidad los trabajos presentados.

Para este primer número se publican los *papers* presentados durante el 1er. Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería CONINCI 2015, el cual fue desarrollado el 25, 26 y 27 de marzo del 2015 en las instalaciones de Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en el cual participaron ponentes de diversas instituciones y centros de investigación del país en diversas áreas de desarrollo tecnológico y científico, como: Electromecánica, Electrónica, Mecánica, Eléctrica, Robótica, Tecnologías de la Información, Ciencias de la computación, Biotecnología, Tecnologías ambientales, Energías renovables, Logística, Gestión de la innovación, Gestión de la calidad, Manufactura avanzada, Gestión de las organizaciones, Tecnologías aplicadas a la educación, y Emprendimiento. Dichos trabajos fueron revisados para su publicación por el Comité Revisor de nuestra revista, el cual está integrado por investigadores con amplia experiencia en los temas en mención.

Los invito a participar en futuras ediciones, siendo partícipes de las convocatorias que se dispondrán en la página de nuestra publicación electrónica. Agradezco a todos los participantes en la edición de esta primera publicación por su entrega y profesionalismo mostrado a lo largo de este proceso, y a los autores de los artículos que integran este primer número, por confiar en este espacio para divulgar el conocimiento científico y tecnológico que día a día da muestra de la constante evolución de la que somos parte.

M.C. Jesús Héctor Rivera Machado

Editor responsable

Carta del Editor

## ÍNDICE

Sistema de prueba para caracterización de un generador de imanes permanentes <i>A. Gámez-Vargas, V.E. Manqueros-Aviles, M.A. Rios-Favela, C.U. Flores-Prince</i>	2
Visual Servoing para robots manipuladores <i>A. Palma-Asunción, F. Reyes-Cortés, J. Cid-Monjaraz, A. Vargas-Treviño, S. Vergara-Limon</i>	11
Guía de Diseño Para Calcular el Desgaste Abrasivo Entre Componentes no Lubricados <i>P. Perez-Oviedo, J. Torre-Nieto</i>	20
Modelado y control por modos deslizantes con acción integral de un robot autobalanceable <i>I. Gandarilla-Esparza, J. L. Meza Medina</i>	30
An Inverted L Antenna with a Parasitic Structure for RFID <i>S. R. Meneses González, L. Montes Peralta</i>	41
Diseño de un control robusto, eficiente y seguro utilizando el concepto de límites cruzados para la producción de vapor en una caldera. <i>E. I. Durán-Martínez, G. Piña-Piña</i>	49
Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de temperatura y nivel en silos de almacenamiento de leche <i>L.S. González-De Hoyos, L.A. González-Vargas, V.E. Manqueros-Aviles</i>	56
Análisis Electromagnético de un Generador Síncrono de Imanes Permanentes usando Elementos Finitos en 3D <i>J. González-Domínguez, M. A. Arjona, C. Hernández</i>	65
Adaptación de las reglas de Ziegler-Nichols a los parámetros de un sistema de primer orden <i>J. A. González-Ramirez, J. A. Rángel-Carrillo</i>	72
Optimización del proceso metalúrgico de aleación mediante el método Taguchi <i>J.F. Magallanes-Armendáriz, R.A. Herrera-García, G. García-Legaspi, L.I. Cháirez- Acosta, M.P. Serrano-Ruiz, T.E. Rascón-Escajeda</i>	81

Modelado de cables de potencia para estudio de inducción electromagnética en pantalla electrostática	87
<i>E. Guerrero-Arriaga, F.S. Sellschopp-Sánchez, R. Loera-Palomo</i>	
Análisis Electromagnético de un Generador Síncrono de Imanes Permanentes usando Elementos Finitos en 2D.	96
<i>J. González-Domínguez, C. Hernández, M. A. Arjona</i>	
Máquina Inyectora de Tinta Catalítica para la Fabricación de Celdas Tipo PEM	103
<i>V. E. Manqueros-Aviles, J. Ortíz-Pinto, A. Gamez-Vargas, F. De la Cruz-Valdez</i>	
Acondicionamiento y aplicación de señales mioeléctricas con Arduino	112
<i>D. Rojas-Balbuena, C. E. Grajeda-Soto, L. O. Alpizar-Garrido, M. Galindo-Mentle , M. A. Islas-Salas</i>	
Diseño y simulación de una máquina cortadora para tiras de otatillo “Rhipidocladum Racemiflorum”	120
<i>O. Hernández-Alvarado, L.E. Ramos-Velasco, C. Chávez-Olivares</i>	
Registro de Ubicación de Sensores Remotos de Presión	128
<i>J.I. Vega-Luna, G. Salgado-Guzmán, M.A. Lagos-Acosta, V.N. Tapia-Vargas, F.J. Sánchez-Rangel</i>	
Sistema DAQ remoto para mediciones de flujo en canales	136
<i>J. Martínez-Navarro</i>	
Monitoreo de la Temperatura del Punto Caliente en un Transformador Empleando LabVIEW	144
<i>J.M. Fernández-Gallardo, M. A. Arjona, C. Hernández-Flores</i>	
Soporte Centralizado de Equipos de Aire Acondicionado en Oficinas	151
<i>J.I. Vega-Luna, G. Salgado-Guzmán, M.A. Lagos-Acosta, V.N. Tapia-Vargas, F.J. Sánchez-Rangel</i>	
Mediciones Nutritivas En Un Sistema Hidropónico NFT Mediante El Uso De Sensores De Iones Selectivos Y LabVIEW	162
<i>V.E. Manqueros.Aviles</i>	
Transformación del PET para Maquinados, Mediante CNC, y Obtener Bujes de 1 Pulgada para uso Automotriz.	172
<i>P. Jácome-Onofre, M. Montoya-Nafarrate, H. Amador-Chagala, B. Contreras-Contreras</i>	

Evaluación de metales pesados (Plomo, Cadmio y Zinc) en suelo y trompillo (Solanum elaeagnifolium) en áreas aledañas a minas de Bermejillo Dgo. <i>E.F. Segovia-Ortega, J.J. Sánchez-Olvera, R.A. Alvarado-Arroyo</i>	182
Protección De Sobre Corriente En Línea De Transmisión Con Generación Eólica <i>J. J. Muñoz-Avalos, M. A. Arjona-López, C. A. Morales-Bazán</i>	189
Comportamiento del diseño de una Celda de Combustible de intercambio protónico <i>L. Loa-Pelcastre, G. Mendoza-Figueroa, J. Padilla-Ochoa</i>	196
Sistema optimizador de agua de la regadera de baño <i>F. Pacheco-Juarez, D. Dolores-Flores, L. Loa-Pelcastre, E. Fierro-Camacho</i>	205
Las TIC's en el desarrollo de lenguaje en niños con autismo <i>O. Chimal-Pilotzi, J.M Rosas-Morales, I.Mendoza Paz</i>	213
Impacto de las redes sociales en el E-Learning <i>R. Guerrero-Rodríguez, J. D. de Hoz-Diego; F.J. Mar-Luna</i>	217
El Internet de las Cosas en Redes Digital Signage <i>J. D. de Hoz-Diego, R. Guerrero-Rodríguez; F.J. Mar-Luna</i>	223
Análisis y Diseño del Software para el control de la acreditación de las actividades complementarias <i>M.G. Flores-Luevanos, E. Moreno-Nuñez, E.V.J Solorio-Vega</i>	232
Configuración de un esquema de autenticación y validación de documentos electrónicos mediante una autoridad certificadora <i>J. R. González-Cadena, R. E. Telona-Torres, E. Y. Honorato-Rodríguez, J. S. Rodríguez-Aguirre</i>	240
Sistema RFID en apoyo de invidentes y débiles visuales <i>C. U. Flores Prince, D. K. Moreno López</i>	248
Sistema de rastreo de vehículos de transporte por medio de tecnología GPS <i>K.V. Rodríguez-Lozano, N.G. Marín-Castañeda, F.E. Rodríguez-Campos</i>	253

Incidencia de la cultura organizacional en la participación de instituciones educativas en certámenes de calidad. <i>P.A. Valenzuela-Martínez</i>	262
Incubación de empresas en México. <i>M.J. Sandoval-Luevano, E. II Castro-Juárez</i>	268
Evaluación de la calidad del proceso de producción en una empresa del ramo metal-mecánico. <i>A.M. García-Rangel, G. García-Legaspi, R.A. Herrera-García, L.I. Cháirez- Acosta, M.E. Rodríguez-Torres</i>	272
Enfoque Sistémico de Innovación en la Gestión de Proyectos: Instituto Tecnológico Superior de Ierdo. <i>M.A. Rios-Favela, R.A. Favela-Herrera, J.A. Salinas-Márquez</i>	280
Evaluación de Capacidades de Calidad de Servicio de Proveedores de Computación en la Nube. <i>J. A. López-Cázarez, J. F. Ibáñez-Salas, A. Díaz-Ramírez</i>	288
Mecanismos de apoyo y fortalecimiento para las PYME <i>M.J. Sandoval-Luevano, E. II Castro-Juárez</i>	297
Desarrollo de programas computacionales basados en scripts empleados en la enseñanza y aprendizaje de las Máquinas de Inducción. <i>J. M. Díaz-Chacón, V. Mata-Brauer, C. Amaro, A. Navarro</i>	303
Propuesta de Intervención educativa para mejorar la calidad en educación virtual mediante el uso de Redes Sociales. <i>E. T. Aguirre Mejía</i>	313
Propuesta de kit didáctico para la aplicación de controladores. <i>P. Salazar-Castillo, L. López-Aparicio, J.H. Rivera-Machado</i>	322



# Sistema de prueba para caracterización de un generador de imanes permanentes

A.Gamez-Vargas<sup>1</sup>, V. E. Manqueros-Aviles<sup>1</sup>, M.A. Rios-Favela<sup>1</sup>, C. U. Flores-Prince<sup>1</sup>, J.H. Rivera-Machado<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico s/n Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Dgo.

*Resumen-- Se presenta el diseño e implementación de un sistema de pruebas desarrollado para lograr la caracterización de un generador de imanes permanentes, que se pretende usar como generador eólico. El sistema consta de cuatro partes fundamentales: el grupo motor-generator, el variador de velocidad, el control e instrumentación y el banco de carga. El generador se encuentra en una estructura de acero anclada al piso y acoplado a un motor de inducción con el cual se impulsa, el motor es accionado por un variador de velocidad y mediante un PLC y una Interfaz Hombre Maquina (HMI) se controla al variador de velocidad. Así mismo se implementó la instrumentación necesaria para medir las variables de voltaje, corriente y velocidad. Se desarrolló un banco de carga resistivo para lograr las pruebas con carga. Para registrar los datos de las variables se desarrolló un panel en software LabView y una tarjeta arduino como adquirente de datos.*

**Temas claves—** Generador, Imanes permanentes, Variador de velocidad, medición.

*Abstract--This paper present the design and implementation of a test system developed to reach characterization of a permanent magnet generator. This system will be use as Eolic generator. The system consists of four main parts: the engine-generator set, the VSD, control and instrumentation and load bank. The generator is in a steel frame anchored to the floor and coupled to an induction motor which is driven, the motor is driven by a VSD, which in turn is controlled by a PLC and Human Machine Interface (HMI). Also was implemented the instruments to measure voltage, current and speed. A resistive load bank was developing to achieve load testing. To record data variables was designed a panel in LabView and an arduino card was used as adquirente data.*

**Keywords—** Generator, Permanent Magnet, Variable Speed Drive, measurement

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Energía Eólica.

La energía del viento ofrece un importante potencial para el suministro de cantidades sustanciales de electricidad, con problemas menores de polución, al compararse con sus contrapartes convencionales de suministro de electricidad [1]. Los recientes avances tecnológicos en turbinas eólicas de velocidad variable, en electrónica de potencia y en accionamientos de máquinas han hecho de la energía eólica una forma de energía competitiva. [2]

Los sistemas eólicos para pequeña generación de energía eléctrica pueden utilizarse como sistemas autónomos, que a través de un rectificador de corriente se cargan baterías de corriente directa y con ellas se almacena la energía generada para luego ser utilizada, o también directamente se puede después del rectificador de corriente convertir de nuevo a corriente alterna, con una salida en voltaje y corriente igual a los estándares manejados por la red eléctrica [3].

### B. Generador de Imanes Permanentes.

La aplicación más frecuente de las actuales turbinas eólicas es la generación de electricidad. Para esto es indispensable la utilización de un generador eléctrico. Todo tipo de máquinas eléctricas pueden ser

utilizadas para la generación de potencia eólica. Factores técnicos y económicos definen qué tipo de maquina deben utilizarse en cada aplicación. Para pequeñas potencias (<20 kW), la simplicidad y bajo costo de los generadores sincrónicos de imán permanente (PMSG) explican su extensa utilización [2].

El generador de imanes permanentes funciona como un generador sincrónico, pero la diferencia se encuentra en que el rotor es la parte externa en donde están ubicados los imanes y el estator en donde se encuentran las bobinas está estacionario en la parte interna. De esta manera se evita utilizar escobillas, además el rotor se puede colocar directamente con el rotor del Eolo-generador y como no se utiliza caja de cambios las aspas se fijan directamente al rotor del generador, evitando así piezas mecánicas que disminuyen la eficiencia global del sistema [3].

En la sub-dirección de investigación y desarrollo tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo se desarrolla actualmente un generador eólico, trabajo que involucra colaboración de las disciplinas de ingeniería mecánica, ingeniería de manufactura, ingeniería eléctrica y electrónica. El proyecto comprende el diseño y construcción de la maquina eléctrica, palas eólicas y transmisión.

La figura 1 muestra el generador de imanes permanentes que se diseñó y construyó para una potencia de 500 watts, cuenta con 24 pares de polos y sus bobinas están conectadas en estrella



Figura 1.- Generador construido en el ITSL.

## II. SISTEMA DE PRUEBA PARA GENERADOR

El sistema de prueba se centra en la impulsión del generador de imanes permanentes por medio de un motor de inducción “General Electric” de 1 H.P. y un variador de velocidad GS3-23P0 Marca “Dura-Pulse” de 3 H.P. La siguiente figura muestra el esquema global del sistema de prueba realizado.

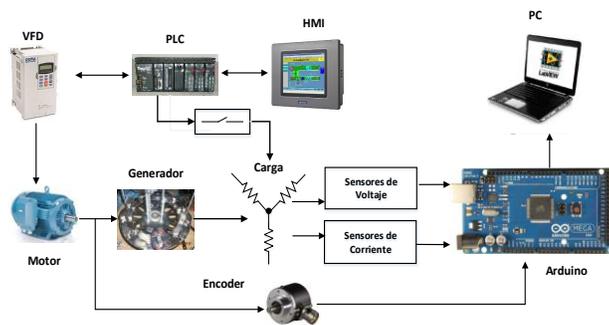


Figura 2. Esquema del sistema implementado.

Mediante una HMI “Wop-2057” de Advantech, se genera una interfaz de usuario con pantallas para accionar las cargas del banco y de monitoreo-control del variador de frecuencia. Se emplea un PLC DL-06 (Koyo-Electronics) para accionar las secciones del banco de cargas mediante relevadores y lograr el control del variador de velocidad por un protocolo de comunicación serial. En el banco de carga trifásico se colocan sensores de voltaje, corriente con el fin de medir y guardar los valores en un sistema de adquisición de datos conformado por una tarjeta Arduino Mega 2560 y una PC con software LabView. Se acoplo un encoder en el eje de giro del grupo motor-generator para medir la velocidad, variable que también se envía al sistema de adquisición.

El motor y el generador de imanes permanentes se encuentran montados y acoplados en una estructura de acero, en la siguiente figura se muestra lo anterior.



**Figura 3. Motor-Generador montados en estructura.**

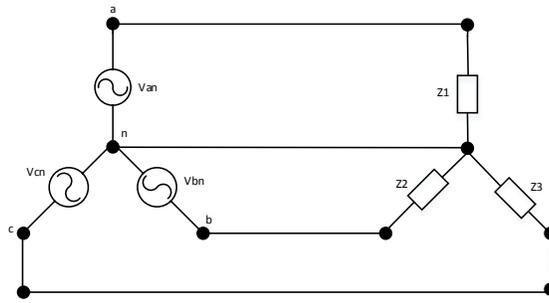
La figura 4 muestra el acople mecánico entre los ejes de ambas maquinas.



**Figura 4. Conexión mecánica de las maquina eléctricas.**

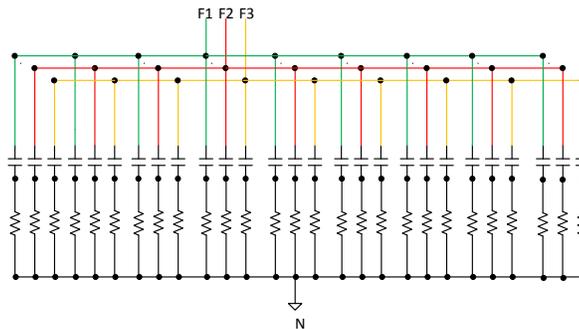
#### A. Banco de carga.

Se dice que una carga trifásica es equilibrada si la impedancia de la carga de cada fase es la misma. Al igual que los voltajes de la fuente, las impedancias de la carga se pueden configurar en estrella (Y) o en delta ( $\Delta$ ), lo cual da lugar a cuatro posibles conexiones de la fuente a la carga: Y-Y, Y- $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y y  $\Delta$ - $\Delta$  [4]. Para desarrollo del sistema se empleó la conexión mostrada en la siguiente figura.



**Figura 5. Conexión de carga trifásica balanceada Y-Y.**

Se desarrolló un banco de carga trifásico resistivo configurado en estrella, con el fin de realizarle pruebas al generador con carga. Los elementos empleados fueron lámparas incandescentes y resistencias de regadera eléctrica, los cuales se activan mediante relevadores que se conmutan desde del PLC, con el fin de variar la carga al generador. La figura 6 muestra el diagrama esquemático del banco de carga y en la figura 7 muestra la realización del banco de cargas.



**Figura 6. Conexión del banco de cargas.**

Mediante nueve relevadores (de cuatro polos) se manejan las cargas, dado que el generador es de tres fases se emplean solo tres polos (uno por fase), al conmutar cada uno de ellos, la resistencia equivalente disminuye ya que por fase se realiza un paralelamiento



**Figura 7. Banco de carga.**

**B. Control**

Para operación del sistema se construyó un tablero de control en el cual se monta al variador de velocidad, el PLC, Transformador y fuente de control (figura 8).



Figura 8. Tablero de control.

El enlace de comunicación entre los dispositivos de control se realizó según el esquema de la figura 9.



Figura 9. Enlace de dispositivos de control.

El PLC cuenta con dos puertos de comunicación serial. Mediante el COM1 se realiza el enlace, por protocolo RS-232, con el puerto (también COM1) del panel táctil y por el COM2, se comunica al variador de velocidad por protocolo Modbus RS-485[5, 6, 7]. El programa del PLC se encarga de leer y escribir variables en la HMI y en el variador de frecuencia por sus respectivos protocolos de comunicación así como de disparar las cargas. En la figura 10 se muestra parte del programa en escalera desarrollado para el PLC DL06.

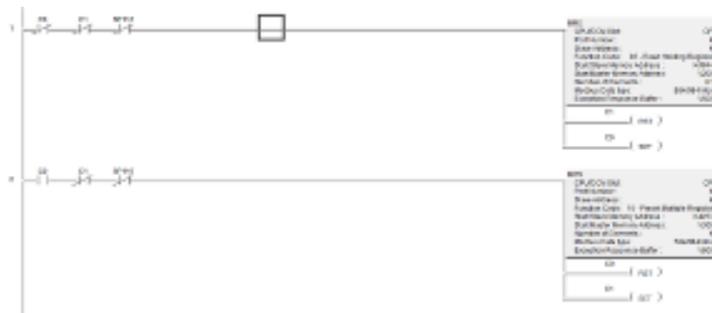


Figura 10. Programa en escalera del PLC.

Se elaboraron en el panel táctil pantallas de menú de navegación, monitoreo de las variables que entrega el variador y el control de cargas. La figura 11 muestra las pantallas desarrolladas para la interfaz de usuario.



a) Pantalla principal

b) Comandos del variador

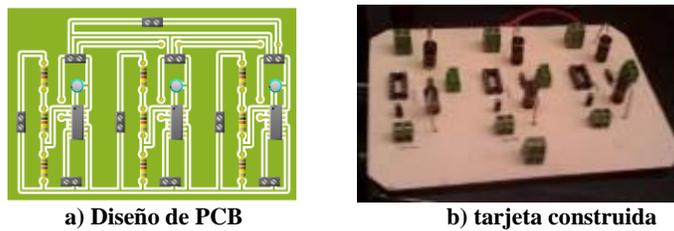
c) Pantalla para control de carga

d) Monitoreo del variador

Figura 11. Pantallas de navegacion y control de la HMI.

C. Medición de variables

Las variables instrumentadas en esta etapa, para el sistema, fueron voltajes-corriente de fase y velocidad de giro del eje. Para medición de voltaje se emplearon divisores de tensión y el circuito integrado AD536 de Analog Devices, el cual es un convertidor de valor RMS-verdadero a voltaje de C.D. [8]. La figura 12 muestra el diseño (a) y construcción (b) de la placa para medición de voltajes, en ella se integraron los divisores de tensión y el arreglo necesario para el funcionamiento del circuito integrado AD536.



a) Diseño de PCB

b) tarjeta construida

Figura 12. Circuitería para medición de voltaje.

Para la medición de corriente se empleó el sensor de efecto hall CSLA2CD (figura 13) de honeywell [9]. Se diseñó e implemento la circuitería de acondicionamiento necesaria para acoplar las señales de salida de los sensores a la etapa de adquisición.



Figura 13. Sensor de corriente.

Se emplearon tres sensores como el anterior para cada una de las fases, la figura 14 muestra la

disposición de los sensores, la figura 15 muestra el montaje de los sensores y las tarjetas de acondicionamiento de señal.

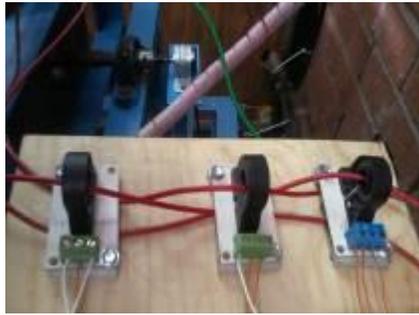


Figura 14. Sensores de corriente instalados.

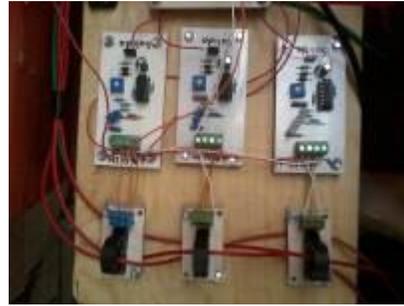


Figura 15. Acondicionamiento de señal de las corrientes.

Para la medición de velocidad se empleó un encoder E40S6-1000-3-T-24 de la marca autonics de 1000 pulsos por revolución, el cual se acopló mecánicamente al eje de rotación de las máquinas. Puesto que el encoder opera con voltajes de 12-30 Vcd se implementó una etapa adecuadora de pulsos para reducir el voltaje de los pulsos de doce a cinco volts con el cual opera la tarjeta arduino. La figura 16 muestra el acoplamiento mecánico del encoder.



Figura 16. Montaje de encoder.

Finalmente se desarrolló una interfaz visual en el software LabView donde se monitorean y registran las variables la figuras 17 y 18 muestran el panel y una parte del código desarrollado respectivamente.



Figura 17. Panel para medición de variables.

Se observa en la parte superior izquierda al medidor analógico de velocidad en RPM, en seguida se observan tres medidores analógicos de corriente (uno para cada fase) y tres medidores analógicos finales para mostrar las lecturas de los voltajes de fase.





**Figura 21. Encendido de cargas.**

En conclusion se tiene desarrollado un sistema de monitorero y control con el cual se pretende caracterizar al generador de imanes permanentes, faltando por medir el torque para asi tener un conocimiento mas amplio de la maquina. Dicha medicion se instrumentara en una etapa posterior a este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Pinilla A. (2008) "El poder del viento-Wind Power," *Revista de ingeniería Universidad de los Andes*, pp. 64-69.
- [2] López M, Vannier J.C., Sadarnac, (2007) "Sistemas de conversión de energía eólica control y diseño", Disponible en : <https://hal-supelec.archives-ouvertes.fr/hal-00243098>
- [3] Pinilla A., Ramírez, O. R., "Caracterización y optimización de un generador de imanes permanentes y flujo radial para un sistema eólico ", pp. 1-11
- [4] Bahgs, E. G, Huseyin R.H (2003). *Maquinas Eléctricas y Transformadores*, 3ª ed. Oxford University Press, pp 23-26. }
- [5] The DL05 & DL06 Family of Products, consultado el 10 de Octubre del 2010 <http://www.automationdirect.com/static/specs/dl0506select.pdf>
- [6] Manual del Variador de frecuencia *DURAPULSE* capítulo 1, consultado el 24 de Octubre del 2010 <http://www.automationdirect.com/static/manuals/g3msp/ch1.pdf>
- [7] Introducción a HMI, consultado el 24 de Octubre del 2010
- [8] <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- [9] AD536, Analg-Devices Data Sheet, integrated circuit True RMS to DC converter, Rev. F, pp 1-14
- [10] Solid state sensors, current sensors, CS series Honeywell Inc. sensing and control.

# Visual servoing para robots manipuladores

A. Palma-Asunción<sup>1</sup>, F. Reyes-Cortés<sup>1</sup>, J. Cid-Monjaraz<sup>1</sup>, S. Vergara-Limon<sup>1</sup>, A. Vargas-Treviño<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla., FCE-MCEA. Calle 4 Sur 104, Centro Histórico, 72000 Puebla, Puebla, México.

**Resumen**— En este artículo se aborda el problema de control de robots manipuladores mediante la técnica de visual servoing, la cual, consiste en utilizar información visual como parte del lazo del controlador. Se presenta el modelo en el tratamiento de imágenes utilizando el software MATLAB, por medio del cual se hace el reconocimiento del área de trabajo del robot mediante imágenes. Se muestran los resultados experimentales para un robot de transmisión directa de dos grados de libertad en configuración cámara fija.

**Temas claves**— Control de robots manipuladores, procesamiento de imágenes, visión por computadora.

**Abstract**— in this article the problem of robot manipulators control is addressed through visual servoing technique, which is to use visual information as part of the loop controller. The model is presented in image processing using MATLAB software, through which the recognition of the workspace of the robot is done through images. Experimental results are shown for a direct drive robot with two degrees of freedom in setting fixed camera.

**Keywords**— Control, robot, vision.

## I. INTRODUCCIÓN

La robótica y la automatización son disciplinas de alto impacto en aplicaciones de manufactura, en la medicina, en la tecnología, entre muchas otras. A pesar de la existencia de robots comerciales, el diseño de controladores para robots es un área de muchos estudios por parte de los hacedores de robots así como de lugares de investigación del área. La definición propuesta por el *Robot Institute of America* (RIA), un robot es un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializado a través de movimientos programados para la ejecución de diversas tareas [1].

El control en base a la técnica de visión artificial, comúnmente se utiliza para reconocimiento de formas u objetos en cadena de producción, de manera que no incluyen dentro de su control la información visual, sino que solamente es utilizada como una forma de monitoreo, selección o clasificación.

Un componente importante de un sistema robótico es la adquisición, procesamiento e interpretación de la información provista por los sensores.

Esta información es utilizada para derivar las señales de control para manejar un robot. La información del sistema y su ambiente puede obtenerse a través de una extensa variedad de sensores: posición, velocidad, fuerza, visión, por mencionar algunos [2]. El control de robots manipuladores empleando información visual es conocido como *visual servoing*, consiste en extraer rasgos distintivos de la imagen y utilizarlos en el lazo de control para cumplir con determinados objetivos de posicionamiento del extremo final del robot en la pantalla de la computadora.

En *visual servoing* se emplea un sistema de visión compuesto por una cámara de video, un algoritmo para procesar imágenes para encontrar la posición en coordenadas cartesianas (píxeles) del extremo final del robot con respecto a un sistema de referencia colocado en el monitor de la computadora. Mediante mapeos de traslación y rotación es posible conocer la ubicación cartesiana del robot respecto a su sistema de referencia

de la base del robot, así como sus correspondientes coordenadas articulares usando la cinemática inversa [1]-[6].

Las configuraciones que se pueden dar entre el sistema de visión y el robot manipulador son cámara fija y cámara en mano. En la primera, la cámara CCD es ubicada fuera del espacio de trabajo del robot manipulador tomando escenas del movimiento del robot, el usuario define un punto deseado (coordenadas en píxeles constantes en el monitor de la computadora) y mediante procesamiento básico de imágenes se obtiene la posición del extremo final del robot, esto genera la señal de error de posición visual. Por lo que, el objetivo de control consiste en lograr que el error de posición visual tienda a cero en forma asintótica, conforme el tiempo evoluciona al infinito, es decir, lograr la proyección del extremo final del robot sobre el monitor de la computadora se posicione en los píxeles deseado. Para la configuración cámara en mano consiste en colocar la cámara de video CCD en el extremo final del robot, de tal forma que la cámara tendrá el mismo movimiento que tenga el robot manipulador proporcionando imágenes de los objetos que se encuentran en el espacio de trabajo del robot [1]-[3]-[6]. El objetivo del control consiste en colocar la cámara (extremo final del robot) sobre un objeto deseado.

El proceso del análisis de imágenes es del cual, a partir de una imagen se obtiene una medición, interpretación o decisión. El esquema típico del análisis de imágenes consiste en cinco etapas: adquisición de la imagen, procesamiento, segmentación, medición e interpretación. Por medio de las relaciones algebraicas se obtiene una representación matemática para implementar algoritmos y programar métodos computacionales [7].

La tarea en *visual servoing* consiste en posicionar el efector final del robot, con respecto a un objetivo usando las características visuales extraídas desde la imagen [8].

La robótica se complementa con grandes avances mediante la implementación de visual servoing, con esto el buen entendimiento y el desarrollo de aplicaciones de robótica en muchas áreas. Así la robótica se encuentra a la vanguardia en el estudio de e investigación. La gran mayoría de los robots usados en las diferentes industrias están equipados con sistemas de visión, sin embargo, no se explota a la totalidad ya que esta información proporcionada por el sistema de visión no se emplea para alimentar al controlador del robot, sino que simplemente están presentes como un elemento secundario para visualizar imágenes del entorno y no para procesar la información visual para integrar a un lazo de control y generar un sistema versátil.

## II. CONTROL DE ROBOTS USANDO VISIÓN

El modelo matemático determina la regla matemática que relaciona las entradas y salidas del sistema, se obtiene de manera analítica en base a la física que rige el comportamiento del sistema [3].

### A. Modelo matemático del robot manipulador

El modelo dinámico articular de un robot manipulador de  $n$  grados de libertad está dada por la siguiente ecuación [3]-[4]-[6]:

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

donde  $q, \dot{q}, \ddot{q} \in R^n$  representan a los vectores de posiciones, velocidades y aceleraciones articulares, respectivamente;  $M(q) \in R^{n \times n}$  es la matriz de inercia, la cual, es simétrica y definida positiva,  $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$  es la matriz de fuerza centrípeta y de Coriolis,  $g(q) \in R^n$  es el vector de fuerzas o pares gravitacionales debido a la acción de la gravedad y  $B \in R^{n \times n}$  es la matriz de coeficientes de fricción viscosa de cada articulación del robot [5].

El modelo dinámico (1) es una ecuación compleja y acoplada, sin embargo, posee varias propiedades matemáticas muy importantes que facilitan el análisis de estabilidad. Considere que el robot es del tipo antropomórfico, es decir que todas sus articulaciones son del tipo rotacional, entonces:

Propiedad 1 de anti simetría: la derivada con respecto al tiempo de la matriz de inercia  $\dot{M}(\mathbf{q})$  y la matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis  $C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  satisfacen:

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

Propiedad 2: la matriz de inercia  $M(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$  es una matriz definida positiva  $M(\mathbf{q}) > 0$ , por lo que existe la matriz inversa  $M(\mathbf{q})^{-1}$  y resulta un matriz definida positiva  $M(\mathbf{q})^{-1} > 0$ .

Propiedad 3: La matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis  $C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$  satisface:

$$C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = 0 \in \mathbb{R}^{n \times n} \Leftrightarrow \dot{\mathbf{q}} = 0 \in \mathbb{R}^n, \forall \mathbf{q} \in \mathbb{R}^n \quad (3)$$

### B. Equivalencia a control cartesiano

Derivado de la metodología Euler-Lagrange, que determina el modelo dinámico en variables de estado cartesiano, se consideran las coordenadas cartesianas y se define la ecuación  $\chi = [x \ y \ z]^T$ , donde  $\chi$  define las coordenadas cartesianas del marco de referencia del robot. Donde  $\dot{\chi} = J(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}$ , donde  $J(\mathbf{q})$  es el Jacobiano del robot. Que resulta de la relación de la cinemática diferencial y la aceleración articular. Por lo tanto, puede definirse  $\ddot{\chi} = J(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \dot{J}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}$ ,  $\dot{\mathbf{q}} = J^{-1}(\mathbf{q})\dot{\chi}$ ,  $\ddot{\mathbf{q}} = J^{-1}(\mathbf{q})\ddot{\chi} - J^{-1}(\mathbf{q})\dot{J}(\mathbf{q})\dot{\chi}$ . Donde la  $\mathbf{q}$  muestra las coordenadas articulares y  $\chi$  define las coordenadas cartesianas.

El control cartesiano, se entiende por la utilización directa de las coordenadas cartesianas (espacio de trabajo del robot manipulador), en la programación de una posición, usualmente se indica por medio de coordenadas articulares, en este caso, no se hace de esa forma ya que se emplea el uso de las coordenadas cartesianas dentro de un plano, esto facilita la interpretación gráfica de la posición para el usuario.

La metodología del jacobiano transpuesto para controladores cartesianos, la cual, fue propuesta por Suguro Arimoto, permite convertir una estructura de control cartesiana en par aplicado a las articulaciones del robot. Lo cual se conoce como ley fundamental del control cartesiano y se describe como sigue:

$$\boldsymbol{\tau} = J^T(\mathbf{q})\mathbf{f}_\chi \quad (4)$$

Donde  $\mathbf{f}_\chi$  es la fuerza cartesiana,  $J(\mathbf{q})$  es el jacobiano del robot y  $\boldsymbol{\tau}$  es el par aplicado a las articulaciones del robot.

### C. Algoritmo de control

El problema de control de posición (también conocido como regulación) consiste en mover al extremo final del robot  $\mathbf{q}(t)$  hacia una posición deseada  $\mathbf{q}_d$ , sin importar las condiciones iniciales  $[\mathbf{q}(0), \dot{\mathbf{q}}(0)]^T$ . Es decir, se trata de encontrar una ley de control  $\boldsymbol{\tau}$  tal que el error de posición  $\tilde{\mathbf{q}}(t)$  y la velocidad de movimiento  $\dot{\tilde{\mathbf{q}}}(t)$  tiendan asintóticamente al punto de equilibrio, en otras palabras que el objetivo de control se cumpla:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{q}}(t) \\ \dot{\tilde{\mathbf{q}}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \in \mathbb{R}^{2n} \quad \forall t \geq 0 \quad (5)$$

Para resolver el problema de control de posición, se propone la siguiente estructura mostrada en la ecuación 6.

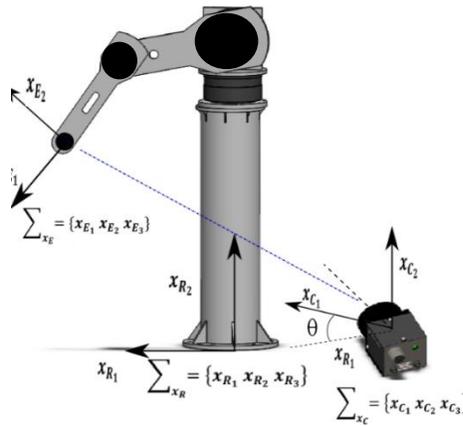
$$\tau = K_p(\tilde{q}) \frac{\ddot{q}}{\sqrt{1+\dot{q}^2}} - K_v(\dot{q}) \frac{\dot{q}}{\sqrt{1+\dot{q}^2}} + g(q) \tag{6}$$

Los datos de posición articular es calculada no por los sensores internos del robot experimental sino en base al algoritmo de visión, el cual, calcula de manera geométrica en base a píxeles los valores de posición angular de cada articulación.

*D. Procesamiento de imágenes*

El procesamiento de imágenes para la obtención de la información visual para el cerrar el lazo de control del robot, se realizó mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes basado en la Transformada de Hough, el cual calcula los centros de cada marcador (círculo negros) colocados en cada articulación y en el efector final.

En la figura 1, se observa el robot experimental con los marcadores colocados en el extremo final del último eslabón, el codo y el hombro.



[1] **Figura 1. Robot experimental “Rotradi” en configuración cámara fija junto al sistema de visión.**

Una vez localizados los píxeles en las referencias del robot, mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes, el cual, tiene como objetivo la localización de los centroides en píxeles de los círculos negros, se tiene la información necesaria para poder determinar geoméricamente los valores articulares a los que corresponde esa posición.

El análisis geométrico se parte ubicando tres puntos como lo muestra la figura 2. Así calculando los ángulos geoméricamente, mediante el uso de conceptos de geometría basado en triángulos rectángulos y semejanza de triángulos se logran las siguientes ecuaciones para el cálculo de las coordenadas articulares  $q_1$  y  $q_2$ .

Las ecuaciones (3) y (9) corresponden a las ecuaciones resultantes de las matemáticas correspondientes para cada coordenada angular.

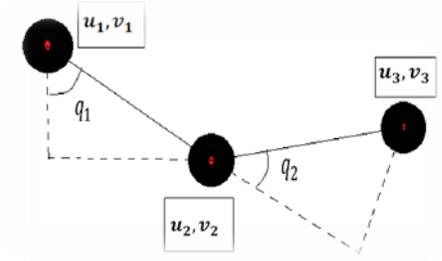


Fig. 2. Ilustración de los marcadores ubicados en el robot manipulador, donde los puntos en rojo determinan las coordenadas en píxeles determinados por el algoritmo. Donde  $u_1, v_1$  corresponden al hombro  $u_2, v_2$  al codo y  $u_3, v_3$  al extremo final del robot.

Primero, tomando de la figura 2, el triángulo rectángulo tomando como hipotenusa el segmento de línea formado por la coordenada en píxeles  $u_1$  y  $v_1$  unido a  $u_3$  y  $v_3$ , así se obtiene la ecuación (7).

$$q_1 = \tan^{-1} \frac{v_3}{u_3} - \tan^{-1} \frac{l_1 \text{sen}(q_2)}{l_1 + l_2 \cos(q_2)} \quad (7)$$

Para el cálculo de  $q_2$  se propone las ecuaciones (8) a la (12), dando como resultado la ecuación (13).

$$u_3^2 + v_3^2 = (l_1 + l_2 \cos(q_2))^2 + (l_2 \text{sen}(q_2))^2 \quad (8)$$

$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + l_2^2 \cos^2(q_2) + 2l_1 l_2 \cos(q_2) + l_2^2 \text{sen}^2(q_2) \quad (9)$$

$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + 2l_1 l_2 \cos(q_2) + l_2^2 (\cos^2(q_2) + \text{sen}^2(q_2)) \quad (10)$$

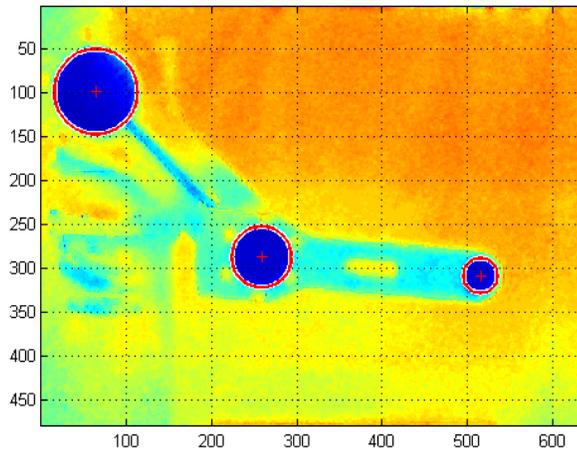
$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos(q_2) \quad (11)$$

$$\frac{u_3^2 + v_3^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} = \cos(q_2) \quad (12)$$

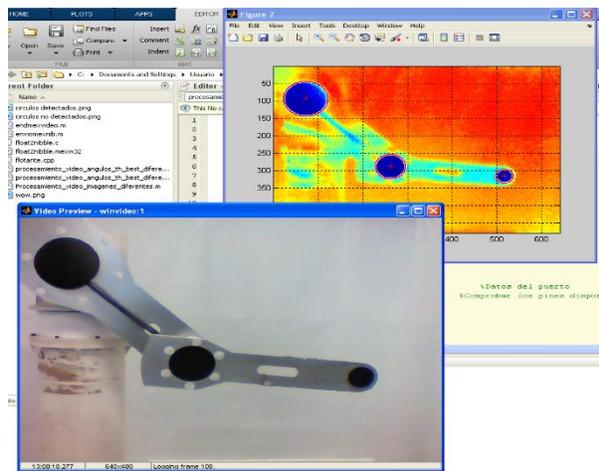
$$\cos^{-1} \frac{u_3^2 + v_3^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} = q_2 \quad (13)$$

### E. Resultados experimentales

En la figura 3 y en la figura 4 se ilustra el resultado del procesamiento de imágenes basado en la Transformada de Hough que se implementó en MATLAB para la identificación de los centros de los marcadores colocados sobre el robot experimental.



[2] **Figura 3. Resultado del algoritmo de procesamiento de imágenes para la detección de los centros de los marcadores sobre el robot experimental.**



[3] **Figura 4. Resultado de la información que obtiene la cámara CCD y el algoritmo de procesamiento de imágenes en el mismo tiempo, se observa el plano de la cámara valuado en píxeles.**

De los resultados experimentales se tiene que se detecta de manera adecuada la ubicación de los centroides de los marcadores, esto sirve para obtener las coordenadas en píxeles de la posición del robot en su espacio de trabajo y esto a su vez para detectar el valor de las coordenadas articulares del robot usando únicamente el valor de los píxeles obtenidos por la información visual tomada por una cámara tipo CCD.

Al tener la información visual necesaria para el control de posición del robot y a su vez teniendo la prueba de estabilidad del controlador por vía Lyapunov de estabilidad se realizan las calibraciones y pruebas necesarias del sistema de visión y del sistema robótico, ver figura 1.

Tales pruebas con la comunicación necesaria y la sintonía de las ganancias del control visual se obtienen los resultados adecuados del posicionamiento del extremo final en la coordenada cartesiana deseada, es decir, se cumple con la ecuación (14).

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} \tilde{q}(t) \\ \dot{\tilde{q}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \in \mathbb{R}^{2n} \quad \forall t \geq 0. \quad (14)$$

F. Conclusiones

Con los resultados experimentales se valida la aplicación de la visión artificial y el procesamiento de imágenes para una aplicación específica e importante como lo es el control de robots manipuladores, asimismo con los resultados del experimento se hacen válidos y correctos los modelos matemáticos que implica un sistema de visión en sus diferentes configuraciones.

De los modelos de visión se enfoca al mapeo de coordenadas cartesianas a coordenadas articulares, para la aplicación a cerrar el lazo de control de los robots manipuladores experimentales con sus respectivas modificaciones para el empleo de las configuraciones cámara fija y cámara en mano. Mediante el uso de herramientas de procesamiento de imágenes se pueden extraer rasgos distintivos de una imagen para poder interpretar y tomar decisiones, tales decisiones no podrían llevar a cabo de manera satisfactoria sino se tuviera la calibración de los sistemas de visión así como los algoritmos que nos determinen la información de coordenadas en píxeles y en ángulos.

Abordar el control de posición por medio de la técnica de *visual servoing* aplicado a un robot experimental abre el camino a una gran área de investigación con la que se pretende abordar grandes problemas de la industria automotriz, médica, de alimentos, entre muchas otras, ya que el relacionar el sentido de visión en modelos de control y no sólo como elemento secundario de vigilancia como comúnmente se tiene, implica grandes ventajas y presenta grandes retos científicos y académicos a resolver.

Se examina la teoría de control cartesiano para la validación y demostración de controladores por medio de información visual en aplicaciones robóticas.

### III. APÉNDICE A: DATOS DEL ROBOT EXPERIMENTAL

Con la finalidad de evaluar experimentalmente la propuesta del algoritmo de control, la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla cuenta con 6 robots de transmisión directa de 3 grados de libertad cada uno con movimiento en el espacio tridimensional. En la figura 5, se muestra el prototipo del robot manipulador con que fueron desarrolladas las pruebas experimentales de control de posición para el algoritmo propuesto. Este prototipo tiene arquitectura abierta, es decir se puede implementar y evaluar cualquier estructura de control para robots manipuladores.

El robot consiste de tres articulaciones utilizando servomotores de transmisión directa cuyas características principales se muestran en la tabla I, los eslabones fueron fabricados de aluminio 6061; los servomotores son configurados en modo par tal que aceptan una señal analógica de la computadora y la convierten a energía aplicada  $\tau$  (algoritmo de control) a las articulaciones del robot para producir movimiento mecánico y de esta forma el robot se pueda desplazar en su espacio de trabajo [6].



[5] Figura 5. Robot experimental "Rotradi"

[6] Tabla I. Características de los servo actuadores del robot manipulador experimental

Artic ulación	Mo delo del servomotor	To rque Máximo	Resolución pulsos/rev
Base	DM -1015B	15 Nm	1,024 ,000
Codo	DM -1050A	50 Nm	1,024 ,000
Hom bro	DM -1004C	4 Nm	1,024 ,000

Para enviar y recibir las señales de los servomotores se utiliza una tarjeta de instrumentación de la compañía Precision Micro Dynamics modelo LC228.

La tarjeta LC228 se conecta al bus PCI y trabaja con un procesador DSP en punto flotante, permitiéndonos trabajar a grandes velocidades en tiempo real. Contiene 4 DAC's de 12 bits, decodificadores de cuadratura, entradas y salidas digitales, timers entre lo más relevante para nuestra aplicación. Todos los algoritmos de control han sido escritos en código C y se ejecutan en tiempo real, empleando un período de muestreo de 2.5 ms.

Las señales de velocidad de los servomotores son obtenidas por el método estándar de diferenciación numérica, también conocido como método de Euler.

Para realizar la implementación de los algoritmos de control se diseñó un ambiente de programación amigable orientado (en visual C++ para plataforma Windows XP) al desarrollo de esquemas de control para robots manipuladores. Este ambiente contiene todas las herramientas que requiere el usuario para llevar a cabo la evaluación experimental en forma sencilla.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

Sin olvidar agradecer a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la facilidad para hacer uso del laboratorio de Robótica y Automatización de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción Automatización.

A los asesores que apoyaron de guía para llevar a culminación este trabajo y el tiempo brindado, muchas gracias.

#### REFERENCIAS

- [1] Reyes Cortés F. (1997). "Control de un robot de transmisión directa de dos grados de libertad". Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada, Baja California, México.
- [2] N. Papanikolopoulos (1994). "Adaptive control, Visual Servoing and Controlled Active Vision". IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego.
- [3] Kelly, R. y Santibáñez V. (2003). Control de movimiento de robots manipuladores, vol. I. México: Prentice Hall.
- [4] Sciavicco L., Siciliano B. (2001), Modelling and Control of Robot Manipulators, 2nd ed., London: Springer-Verlag.
- [5] Víctor Santibáñez, Rafael Kelly, and Miguel Angel Llamas (2004, February). "Global asymptotic stability of a tracking sectorial fuzzy controller for robot manipulators". IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics- Part B, Vol. 34 No. 1, Pp. 710-718.
- [6] Palma A. A. y Reyes C. F. (2013), "Control de Robots Manipuladores mediante retroalimentación visual" en Congreso Nacional de Mecatrónica, registro 014.

- [7] Mery (2004) “Visión por computador”. Universidad Católica de Chile, Departamento de Ciencias de la Computación. Santiago de Chile.
- [8] Corke Peter. (2013). “Robotics, vision and control, fundamental algorithms in MATLAB”, pag. 455-456. Springer tracts in advanced robotics 73. Germany

# Guía de diseño para calcular el desgaste abrasivo entre componentes no lubricados

P. Pérez-Oviedo<sup>1</sup>, J. Torre-Nieto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CIATEQ Campus Querétaro. Av. El Retablo 150 Col. Constituyentes Fovisste Querétaro, México.

<sup>2</sup> Centro de Ingeniería Avanzada en Turbomaquinaria (CIAT). Av. Campo Real 1692, Col. Ampliación el Refugio, Querétaro, México.

**Resumen**— El objetivo de este trabajo es proponer una guía de diseño para calcular el desgaste abrasivo entre componentes metálicos no lubricados.

Esta guía de diseño se basa en una revisión a la bibliografía existente en el Estado del Arte y busca proveer al diseñador un criterio metódico y práctico para identificar el escenario de desgaste al que se enfrenta y proveer una serie de ecuaciones ordenadas (basadas en la ecuación de Archard) que le permitirán analizar el escenario observado y planear así los ciclos de mantenimiento correctivo necesarios.

**Temas claves** — Abrasión, Archard, Desgaste, Guía, Tribología.

**Abstract**— the objective of this article is to present a design guide to calculate the abrasive wearing between two non lubricated metallic components. This design guide is based on a literature review of the State of the Art. The wear design guide will provide a quick direction in how to identify and characterize wearing scenarios. Additionally, a set of equations (based on Archard's equation) are included to represent the wear phenomenon, this to plan the maintenance cycles.

**Keywords**— Abrasive, Archard, Guide, Tribology, Wear.

## I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza de un producto, al igual que la vida de un ser humano, cuenta con un tiempo determinado para cumplir su ciclo de vida. En el medio ambiente los diferentes materiales sufren transformaciones incluyendo el deterioro a través del tiempo, dicho deterioro puede ser causado por distintos factores según la aplicación del componente a evaluar.

El tiempo óptimo para remplazar componentes en las diferentes industrias juega un papel importante en la economía **del negocio**, ya que si se reemplaza de forma prematura, la industria realizará un gasto mayor que al pasar de los años incrementará los costos de producción u operación. El caso opuesto es mantener un componente por un periodo de tiempo superior al óptimo, poniendo riesgo la calidad y rendimiento de la parte así como la integridad del medio en el que realice el trabajo el componente desgastado. En ambos casos ya mencionados la industria corre un alto riesgo de tener pérdidas económicas; motivo por el cual temas como el desgaste y la corrosión atraen la atención de los ingenieros en todas partes del mundo y desde fechas muy antiguas; nuestros antepasados comenzaron a observar el fenómeno del desgaste con la creación y mantenimiento de la rueda.

Según Zmitrowicz en su artículo “Patrones de Desgaste & Leyes del Desgaste”, el 80-90% del desgaste observado en elementos de una máquina se atribuye al desgaste abrasivo. Con base al alto porcentaje del desgaste abrasivo que Zmitrowicz reporta, es de particular interés enfocar este documento en el análisis y caracterización del desgaste abrasivo no lubricado.

En diferentes industrias que operan con maquinaria tan grande como la aeronáutica o tan pequeña como la relojera se presentan escenarios donde los componentes de las máquinas interactúan sin ningún tipo de lubricante y eventualmente se observa deterioro entre los componentes al cual se le denomina “*desgaste*”.

Ejemplos de aplicaciones de contactos metálicos no lubricados:

- Sistema de engranes.
- Juntas atornilladas. Ej: “Bridas”
- Ensamblajes con abrazaderas.
- Contactos superficiales indeseados debido a falta de espacio entre componentes de máquinas.

El objetivo de este documento es crear una guía de diseño para calcular el desgaste abrasivo con base a una recopilación de métodos analíticos y empíricos que son utilizados en la industria para el cálculo del desgaste así como acciones que se toman para retardarlo.

La adecuada predicción del desgaste puede ayudar al:

- Ahorro de materias primas y energía
- Optimización de la vida útil de las herramientas y la maquinaria
- Prevención de fallas inesperadas
- Planeación del mantenimiento
- Protección al medio ambiente
- Ahorro económico

## II. EL DESGASTE EN LA ACTUALIDAD

La competitividad de los mercados ha llevado el desarrollo de los productos a un punto donde se deben optimizar materiales, elevar la calidad y reducir los costos.

La tecnología en las diferentes industrias promueve el uso de contactos entre elementos, en otras palabras muchos dispositivos mecánicos y mecanismos son diseñados y construidos con el fin de tener contacto unos con otros y así poder realizar un trabajo. Es del conocimiento general que el desgaste no puede ser totalmente prevenido, motivo por el cual se invierten fuertes capitales al desarrollo de agentes que retardan el mismo, así como la optimización de los diseños para reducir la fricción.

A pesar de que hoy en día, las pruebas experimentales de desgaste utilizan mediciones estándares de las propiedades mecánicas de los sólidos, sigue siendo difícil de predecir y controlar el desgaste entre elementos en contacto y sujetos a fuerzas de fricción causadas por el movimiento relativo entre sus superficies.

## III. MECANISMOS E INDICADORES DEL DESGASTE

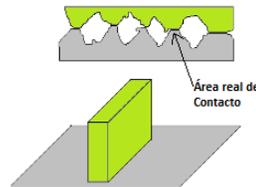
La tribología es una rama del diseño mecánico que involucra muchas disciplinas como materiales, termodinámica, química, mecánica, entre otras. El término Tribología proviene de la palabra griega *tribos* que significa fricción / frotamiento y *logos* que significa tratado, en otras palabras es el “Estudio de la fricción”.  
(3)

El campo de estudio de la Tribología está relacionado con la interacción de contacto entre sólidos en movimiento relativo centrándose en el estudio de tres fenómenos:

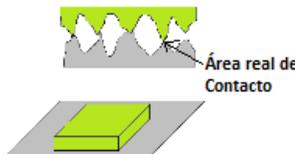
- La fricción entre dos cuerpos en movimiento.
- El desgaste como efecto natural de la fricción entre dos cuerpos.
- La lubricación como un medio para evitar el desgaste.

La fricción se define como la fuerza de rozamiento entre dos superficies en contacto, dicha fuerza se opone al movimiento de una superficie sobre la otra.

La fuerza de rozamiento es independiente del área aparente de contacto, debido a que la mayoría de las superficies, aun las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. Los picos de interface en donde las dos superficies están realmente en contacto, definen el área real de contacto (Ver Figura 1 y 2) (3)



**Figura 1 (Superficie aparente de contacto pequeña)**



**Figura 2 (Superficie aparente de contacto grande)**

El *desgaste* se puede definir como la pérdida gradual de material en la interface de dos cuerpos en contacto cuando se ven sometidos a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. El resultado del desgaste es un daño permanente en las superficies.

Existen cuatro principales tipos de desgaste (4) (5) (6):

1) Desgaste por adherencia. Este tipo de desgaste se caracteriza por tener una gran fuerza de adherencia entre dos superficies en contacto. El desgaste por adherencia es favorecido principalmente por dos factores: Tendencia de diferentes materiales a formar soluciones sólidas o compuestos intermetálicos con otros materiales y la limpieza de las superficies. Las superficies más limpias tienden a crear enlaces con otras superficies. (7)



**Figura 3 (Desgaste por adherencia)**

2) Desgaste por abrasión. Remoción de material de las superficies en contacto por superficies duras en coincidencia o por partículas duras situadas entre las dos superficies que se deslizan.



**Figura 4 (Desgaste por abrasión)**

3) Desgaste por fatiga superficial. Este tipo de desgaste ocurre cuando las piezas son sometidas a elevados esfuerzos, los cuales provocan la aparición y propagación de grietas bajo la acción repetitiva de estos. Algunos ejemplos son: la falla de contactos lubricados como los rodamientos de bolas, engranes, levas

y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento o delaminación superficial (5).



**Figura 5 (Desgaste por fatiga superficial) (11)**

4) Desgaste por erosión. Este tipo de desgaste es ocasionado por el contacto de un fluido (líquidos o gases) que llegan a contener en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas que se ponen en contacto con las superficies.



**Figura 6 (Desgaste por Erosión) (12)**

Por otra parte K. Budinski en su libro “Guide to Friction, Wear, and Erosion Testing” (14) hace una división diferente para categorizar el desgaste. Budinski comenta que expertos en el campo del desgaste, prefieren tratar a la erosión como un fenómeno aparte ya que en este caso la acción mecánica de un fluido sobre una superficie es la que causa el deterioro.

#### A. Indicadores del Desgaste

La determinación cuantitativa del desgaste ha sido de interés para la mayoría de los tribólogos de diferentes épocas, sin embargo este es un problema no resuelto debido a que cada escenario de análisis depende de una serie de factores como la temperatura, presencia de lubricantes, presencia de elementos contaminantes como polvo, rebabas, fugas de aceite o combustible, tipo de materiales en contacto, medio ambiente bajo el cual operan (medio salino, húmedo, seco, etc), fuente del movimiento relativo (vibración, deslizamiento, expansión térmica, etc).

Los indicadores del desgaste son parámetros que se han establecido para evaluar, estudiar, clasificar y diagnosticar el desgaste.

Algunos de los indicadores del desgaste son (15):

Lineal (Wh). Se utiliza cuando los valores absolutos del desgaste son de medianos a altos y está fundamentado en la medición de las dimensiones de las piezas antes y después del ensayo de desgaste.

Gravimétrico (Wg). Este indicador generalmente se utiliza para la determinación del desgaste de piezas de pequeñas dimensiones las cuales se pesan antes y después del desgaste para determinar la pérdida de masa.

Volumétrico (Wv). Este se fundamenta en la medición del volumen antes y después del proceso de desgaste.

La predicción de la fricción y el desgaste pueden ser no solo analizados en pruebas de laboratorio sino también utilizando modelos matemáticos. Por ejemplo, en el campo de la minería, existe un modelo matemático conocido como Método de Elementos Distintos (MED) cuya aplicación es la simulación del

desgaste abrasivo en las herramientas de trabajo que se emplean en el movimiento y excavación de suelos no agrícolas como arena sílice y rocas. En dicho modelo los parámetros que se usan como datos de entrada son los factores macroestructurales del suelo y de la interface suelo – herramienta. La ley de Archard se aplica para simular el desgaste en el herramental debido al movimiento y manipulación de suelos no agrícolas rocosos (16).

#### IV. METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EL DESGASTE ENTRE COMPONENTES METÁLICOS

G. Bayer (17) en su artículo “Fundamentos de las fallas por desgaste” lista 4 pasos para analizar un componente que falló por desgaste:

- 1.- Examinar y caracterizar el sistema tribológico
- 2.- Caracterización y modelado del escenario de desgaste
- 3.- Obtener y evaluar datos del desgaste
- 4.- Evaluar y verificar la solución.

G. Bayer también aclara que el proceso ya mencionado es un proceso iterativo y que los pasos se pueden alternar hasta encontrar el fenómeno físico que replique lo observado en la pieza analizada.

A continuación se resumirán los 4 pasos que G. Bayer recomienda para el análisis del desgaste:

- 1.- Examinación y caracterización del sistema tribológico.

El desgaste es el resultado de un sistema característico por lo que no se debe considerar como una propiedad del material.

Algunas de las preguntas para definir un sistema tribológico son:

- ¿Qué materiales están en contacto?
- ¿Cuáles son las características geométricas (forma, tamaño, rugosidad) del sistema tribológico?
- ¿Existe movimiento relativo entre componentes del sistema a analizar?
- ¿Cuál es el estado de carga (compresión / tensión) del sistema tribológico analizado?
- ¿Tiene algún tipo de lubricación?

El desgaste es un fenómeno que se debe describir en términos de:

- Velocidad de contacto
- Área de contacto
- Presión de contacto
- Ángulo de entrada
- 

- 2.- Caracterización y modelado del escenario de desgaste.

La caracterización del sistema tribológico permite ordenar e identificar de forma apropiada la información que resulta del proceso del desgaste.

El desgaste por abrasión, tema de estudio de éste documento, es en el cual la principal causa del desgaste es el desgarramiento o corte generado por partículas abrasivas.

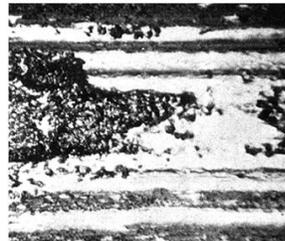
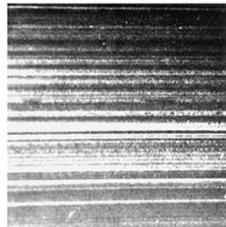
Sub-categorías:

Tabla 1

1. Atributo	2. Variación
3. Número de componentes en contacto	4. Un cuerpo (superficie abrasiva), dos cuerpos (pérdida de partículas entre las superficies)
5. Nivel de esfuerzo	6. Altamente esforzada ó poco esforzada
7. Alteración superficial	8. Desgarramiento ó pulido
9. Presencia de fluido	10. Abrasión en seco o abrasión húmeda
11. Dureza relativa o presencia de partículas en la superficie.	12. Superficie endurecida o ablandada por partículas

El desgaste también puede ser clasificado como leve o severo. Ésta clasificación parte de la naturaleza del desgaste y no de la cantidad. La diferenciación se basa en términos de las marcas producidas por el desgaste.

13. El desgaste leve, como se observa en la figura 8, sigue un patrón uniforme de líneas definidas y poco profundas. Por otra parte, en la Figura 9 se muestra un desgaste severo en donde es mayor la profundidad de las marcas de desgaste e incluso hay zonas amorfas:



**Figura 8. (Desg Leve)(17) Figura 9. (Desg Severo)(17)**

3.- Obtener y evaluar datos del desgaste.

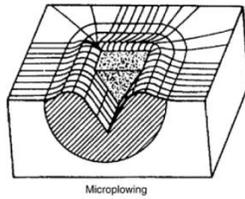
Los modelos que representan el desgaste generalmente se clasifican en base a la experiencia de fenómenos ya observados y a experimentos de laboratorio.

La forma óptima de simular el desgaste como ya se mencionó es experimentalmente. Sin embargo, los costos asociados con los métodos experimentales suelen ser altos y por ende el desarrollo de métodos analíticos confiables representa un área de oportunidad para la industria en términos de productividad.

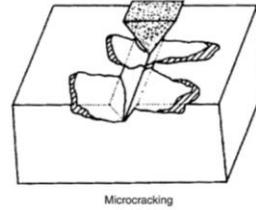
En la literatura se mencionan diferentes formas para medir el desgaste respecto a los siguientes cambios en cantidad de:

- Masa removida del componente
- Volumen removido de material
- Dimensiones reducidas del componente

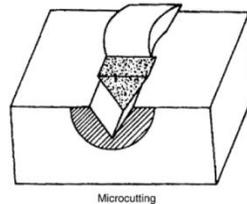
Existen 3 tipos de mecanismos de desgaste abrasivo (17):



**Figura 10. Desplazamiento de material (17)**



**Figura 11. Microgrieta (17)**



**Figura 12. Microcorte (17)**

Microplowing, en español se define como micro desplazamiento de material (ver Figura 10), un ejemplo de esto es la labranza de la tierra a la hora de hacer un surco.

Microcracking, en español se denomina Microgrieta. En donde se fractura el material como se observa en la Figura 11.

Microcutting, en español se conoce como Microcorte y como se muestra en la figura 12, hay dos materiales en contacto y uno genera un desprendimiento por corte sobre el otro.

4.- Evaluar y verificar la solución.

Para evaluar y verificar las posibles soluciones existen fórmulas que provienen de la experimentación además de pruebas validadas de donde se han calculado factores empíricos que se utilizan en las ecuaciones para predecir el fenómeno del desgaste abrasivo.

Una de las ecuaciones más generales para calcular el desgaste fue desarrollada por Archard (1) en 1953:

$$V = K \frac{Lx}{H} \tag{1}$$

En donde V es el Volumen perdido por desgaste, H es la Dureza del material (en caso de tener diferentes materiales en contacto, se recomienda seleccionar el de menor dureza). L es la Fuerza Normal, x es la distancia de deslizamiento y K es un factor adimensional constante conocido como el coeficiente de desgaste. Éste factor depende del par de materiales en contacto. En la literatura se puede encontrar este factor relacionado con la dureza de los materiales en contacto.

Para calcular el desgaste medido en base al cambio de volumen perdido respecto al tiempo  $\dot{V}$ , lo podemos representar como se muestra en la ecuación (2)

$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \tag{2}$$

Para representar el cambio de distancia en el tiempo, es decir la velocidad ( $\dot{x}$ ) lo representamos con la ecuación (3)

$$\dot{x} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3)$$

Sustituyendo las ecuaciones (3) y (2) en la (1) asumiendo que K, H y L no son función del tiempo podemos obtener la ecuación (4).

$$\dot{V} = K \frac{xL}{H} \quad (4)$$

Asumiendo que por el desgaste se pierde un sólido de volumen rectangular (área transversal constante):

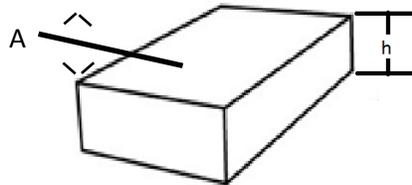


Figura 13

La ecuación (5) hace referencia al volumen de una pieza rectangular, en donde V es el volumen perdido, A la área de desgaste y h la altura perdida.

$$V = Ah \quad (5)$$

Si derivamos el Volumen perdido respecto al tiempo para calcular el cambio en la altura perdida por el desgaste.

$$\dot{V} = A\dot{h} \quad (6)$$

Sustituyendo en la ecuación 1 para calcular el cambio de altura.

$$A\dot{h} = K \frac{Lx}{H} \quad (7)$$

$$\dot{h} = K \frac{\left(\frac{L}{A}\right)x}{H} \quad (7.1)$$

A continuación se establecen ecuaciones para calcular la velocidad partiendo de que la fuente de movimiento relativo causante del desgaste es debido a oscilaciones armónicas (vibración).

En la ecuación (8) se representa la frecuencia angular en radianes/seg obtenida por la multiplicación de la frecuencia en Hertz.

$$\omega = 2\pi f \quad (8)$$

Conociendo la frecuencia angular mediante la ecuación (9) se puede calcular el desplazamiento respecto al tiempo.

$$x(t) = x_0 \text{sen}(\omega t) \quad (9)$$

En donde  $X_0$  es la amplitud de vibración, asumiendo que el desplazamiento es de naturaleza oscilatoria armónica (fenómeno típico de vibración en maquinaria)

Derivamos para calcular la velocidad:

$$\dot{x}(t) = wx_0 \cos(wt) \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación (10) en la ecuación (7.1)

$$\dot{h} = \frac{dh}{dt} = \frac{K}{H} \left( \frac{L}{A} \right) wx_0 \cos(wt) \quad (11)$$

Se asume que los valores de la ecuación (11.1) son constantes.

$$c = \frac{K}{H} \left( \frac{L}{A} \right) wx_0 \quad (11.1)$$

Se integra la función respecto al tiempo en la ecuación (11.2)

$$\int_0^{h_w} dh = \int_0^{t_f} c |\cos(wt)| dt \quad (11.2)$$

En donde  $h_w$  es el espesor removido y  $t_f$  es el lapso de tiempo en el que ambos componentes permanecen en contacto con movimiento relativo. La función coseno puede tomar valores positivos y negativos a lo largo del tiempo. Por lo que el valor absoluto en la función cumple el objetivo de sumar la cantidad total de material removido durante periodo de tiempo.

## V. CONCLUSIONES

El desgaste es un tema de interés global para todas las industrias. Se ha trabajado a lo largo del tiempo en diferentes métodos para poder predecir el desgaste, sin embargo cada escenario cuenta con variables particulares que lo hacen único. La literatura parte de la ecuación de Archard para poder predecir el desgaste de una forma genérica.

El objetivo de la guía de diseño para calcular y predecir el desgaste cumple con el objetivo de informar al Ingeniero los principios y caracterización básica en una forma rápida y resumida para poder evaluar el evento de desgaste abrasivo en el que esté trabajando.

## REFERENCIAS

1. Hernandez G. "Efecto del volumen de metal cortado y de la velocidad de corte en el desgaste de la herramienta durante en torneado de alta velocidad del acero AISI 1045". Cuba - Mexico : Ingeniería y Desarrollo, 2011, Vol. 29. ISSN:0122-3461.
2. Zmitrowicz, Alfred. "Wear Patterns and Laws of Wear", Jurnal of Theoretical and Applied Mechanics, 2006, págs. 219-253.
3. Díaz del Castillo Rodríguez, Felipe. "Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación". UNAM. [En línea] 2007. [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/tribologia.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/tribologia.pdf).
4. Davis, J.R. "Resistance, Surface Engineering for Corrosion and Wear". Ohio, EU : Maney Publishing, 2001.
5. Díaz del Castillo Rodríguez, Felipe. "Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación". UNAM. [En línea] 2007. [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/tribologia.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/tribologia.pdf).

6. McKeen, Laurence W. "Wear Factor. Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers". 2nd Edition. s.l. : Elsevier, 2010. Online version available at:  
<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008TVGR5/fatigue-tribological-2/wear-factor>.
7. Gate, W.F y Totemeier, T.C. Smithells "Metals Reference Book". 8th. s.l. : Elsevier, 2006.
8. Staitz.M. "Reduction of adhesive wear in the aluminium sheet forming process". Technische Universitat Darmstadt. [En línea] Reduction of adhesive wear in the aluminium sheet forming process.
9. "Abrasive Wear". Improved Durability for Mechanical Parts. [En línea] Aludra, 2014.  
<http://www.aludra.nl/index.php?pagina=abrasive>.
10. "Desgaste de Materiales". [En línea] [Citado el: 2 de Diciembre de 2014.]  
<http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/desgaste.pdf>.
11. Martínez, P.F, Rabinowicz, E. "Fatiga Superficial". [En línea] EcuRed, 2014.  
[http://www.ecured.cu/index.php/Fatiga\\_superficial?PageSpeed=noscript](http://www.ecured.cu/index.php/Fatiga_superficial?PageSpeed=noscript).
12. Abrasion and wear testing. [En línea] <http://www.abrasiontesting.com/understanding-wear-abrasion/types-wear/>
13. Mayama, R. "Qué es la corrosión". [En línea] 2015. <http://nestorcuriosidad.blogspot.com/2011/02/que-es-la-corrosion.html>
14. Budinski, Kenneth G. "Categories of Wear. Guide to Friction, Wear, and Erosion Testing: (MNL 56)". s.l. : ASTM International, 2007, pág. 4. Online version available at:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGFWETMN3/guide-friction-wear-erosion/guide-friction-wear-erosion>.
15. Álvarez García, Emilio. "Desgaste de los cuerpos sólidos". 2014.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Z2E6-s1UoWkJ:https://lopezva.files.wordpress.com/2014/02/desgaste-de-los-cuerpos-sc3b3lidos.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx>.
16. Sanchez, Angel Lazaro. "Bases teóricas para la simulación del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranzamediante el Método de los Elementos Distintos (MED)". Cuba : Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Junio de 2014, Vol. 23, págs. 81-88. ISSN-1010-2760.
17. Bayer, Raymond G. "Fundamentals of Wear Failures". Tribology Consultant. [En línea] Published 2002. ASM Handbook Volume 11, Failure Analysis and Prevention (ASM International)  
[http://www.asminternational.org/web/edfas/technical/-/journal\\_content/56/10192/ASMHBA0003558/PUBLICATION](http://www.asminternational.org/web/edfas/technical/-/journal_content/56/10192/ASMHBA0003558/PUBLICATION)
18. Askeland, Donald R y Phulé, Pradeep P. "Ciencia e Ingenieria de los Materiales". Cuarta Edición. Missouri : Thomson, 2003. págs. 971-972.
19. Bury, K. "Statistical Distributions in Engineering". s.l. : Cambridge University Press, 1999. Online ISBN:9781139175081.

# Modelado y control por modos deslizantes con acción integral de un robot autobalanceable

I. Gandarilla Esparza, J. L. Meza Medina

Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, México.

**Resumen--** Se presenta un modelo no lineal de un robot autobalanceable obtenido por las ecuaciones de Euler-Lagrange. Se presenta una ley de control por modos deslizantes con acción integral basándose en el modelo no lineal del robot autobalanceable propuesto y se realizan simulaciones evaluando el desempeño del control por modos deslizantes contra un control clásico aplicados al robot autobalanceable.

**Temas claves—**Sistema Subactuado, Rendimiento, Control por Modos Deslizantes, Acción Integral.

**Abstract—** a nonlinear model of a self-balancing robot obtained by the Euler-Lagrange equations is presented. A sliding mode control law with integral action based on the nonlinear model of the robot autobalanceable proposed is shown and simulations are conducted to evaluate the performance of sliding mode control presented against a classic control applied to autobalanceable robot is presented.

**Keywords—** Underactuated Systems, Performance, Sliding Mode Control, Integral Action.

## I. INTRODUCCIÓN

El robot autobalanceable, también llamado péndulo invertido de dos ruedas, es una planta muy interesante para el estudio de técnicas de control debido a que: es un sistema no lineal, es una planta subactuada, tiene más grados de libertad que actuadores y el objetivo de control que se trata de cumplir en esta planta es hacer que el péndulo se mantenga vertical con la masa del péndulo por arriba del punto de pivoteo, posición que es un equilibrio inestable y complica el control.

Los primeros acercamientos al control de un robot autobalanceable se realizaron usando leyes de control clásico, como realimentación de estados [5] y LQR [4]. En trabajos posteriores se han implementado al mismo tipo de planta leyes de control no lineal, Nguyen propuso en [6] un control por backstepping para la estabilización del péndulo mientras un control PID se encarga de controlar las llantas; en [7] Fuquan muestra una ley de control por modos deslizantes. En la mayoría de la literatura se muestra que los controles son capaces de estabilizar el sistema y soportan perturbaciones externas (inclinaciones deliberadas de péndulo, empujones, etc.), pero se observa que los controles no logran llevar el ángulo de las llantas a su valor inicial, como se muestra en los resultados experimentales mostrados en [6]. Para resolver este problema se propone un control por modos deslizantes con acción integral para estabilizar el sistema, hacer la planta robusta ante incertidumbres y poder eliminar los errores en estado estacionario en el ángulo de las llantas.

En este trabajo se expondrá el diseño de un controlador por modos deslizante que incluye acción integral. En la sección 2 se mostrará el modelado por ecuaciones de Euler-Lagrange de un robot autobalanceable. En la sección 3 se hablara del diseño de un control por realimentación de estados y el control por modos deslizantes con acción integral. En la sección 4 se mostraran los resultados de la simulación de los controladores discutidos en la sección 3.



Figura 1. Robot autobalanceable

## II. MODELADO DE ROBOT AUTOBALANCEABLE

Un robot autobalanceable consta de un péndulo invertido unido en su punto de pivoteo a dos motores trabajando al unísono cada uno con una llanta. El sistema con el que se trabajó, construido con piezas LEGO Mindstroms se muestra en la figura 1. En este trabajo solo se mostraran los resultados de simulación.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama esquemático del robot donde se observa que tanto el ángulo del péndulo  $\psi$ , como el ángulo de las llantas  $\theta$ , se miden con respecto a la vertical. Se considera que el péndulo tiene tres masas puntuales, una corresponde al bloque que contiene el controlador y las otras dos son las masas de los motores.

Para la obtención del modelo dinámico del robot se utilizaron las ecuaciones de Euler-Lagrange. Para la utilización de dichas ecuaciones es necesario formar el lagrangiano del robot en base a las energías cinética  $K(q)$  y potencial  $U(q)$ .  $q=[\theta \ \psi]$  es el vector de coordenadas generalizadas usadas para este modelado.

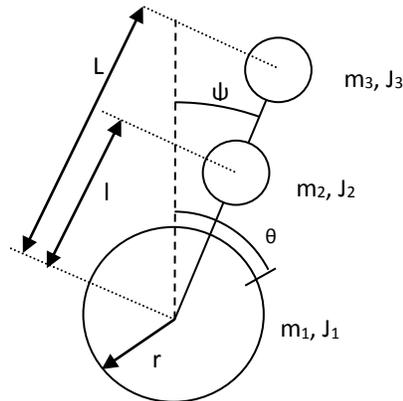


Figura 2. Esquema del robot autobalanceable

$$K(q) = (m_1 r^2 + J_1) \dot{\theta}^2 + m_2 l^2 (\dot{\theta}^2 + \dot{\psi}^2) + \frac{1}{2} m_3 L^2 (\dot{\theta}^2 + \dot{\psi}^2) + (2m_2 + Lm_3) r \dot{\theta} \dot{\psi} \cos(\psi) + \left( J_2 + \frac{1}{2} J_3 \right) \dot{\psi}^2 \quad (1)$$

$$U(q) = g(2m_2 + Lm_3) \cos(\psi) \quad (2)$$

Usando (1) y (2) se construye el lagrangiano del robot:

$$L = K(q) + U(q) \quad (3)$$

Resolviendo las ecuaciones de Euler-Lagrange se obtiene el modelo dinámico del robot, el cual puede ser expresado de la forma:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau \quad (4)$$

$M(q)$  es la matriz de inercias,  $C(q, \dot{q})$  es la matriz de Coriolis y fuerzas centrífugas, es el vector de fuerzas gravitacionales y  $\tau$  son las fuerza generalizadas aplicados al sistema.

$$M(q) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}$$

$$m_{11} = 2m_1 r^2 + 2m_2 r^2 + m_3 r^2 + 2J_1$$

$$m_{12} = (2lm_2 + Lm_3) r \cos(\psi)$$

$$m_{21} = (2lm_2 + Lm_3) r \cos(\psi)$$

$$m_{22} = 2m_2 l^2 + m_3 L^2 + 2J_2 + J_3$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -(2lm_2 + Lm_3) r \sin(\psi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} 0 \\ -g(2lm_2 + Lm_3) \sin(\psi) \end{bmatrix}$$

Dada la forma en que está construido el robot y a la tercera ley de Newton, se genera sobre el péndulo un torque de igual magnitud pero sentido contrario que el aplicado por los motores a las llantas, por lo tanto  $\tau$  queda como:

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_m \\ -\tau_m \end{bmatrix}$$

donde  $\tau_m$  es el par aplicado por los motores.

Para utilizar este modelo en el diseño de controladores es necesario poder controlar el torque entregado por los motores, pero esto no se puede con el sistema en el que se trabaja, por lo que se optó por usar un modelo lineal de los motores y hacer que la entrada de control sea el voltaje aplicado a los motores.

$$\tau_m = 2 \frac{k_t}{R} \left[ v - k_b (\dot{\theta} - \dot{\psi}) \right] - 2f_v \dot{\theta} - 2f_c \text{sign}(\dot{\theta}) - J_4 \quad (5)$$

Sustituyendo (5) en (4) y expresado el modelo en la forma  $\dot{x} = f(x) + g(x)u$ , donde  $x = [\theta \ \dot{\theta} \ \psi \ \dot{\psi}]$  son los estados del sistema y  $u = v$  es la entrada de control que para este caso es el voltaje aplicado a los motores, el modelo queda como:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{BF - CE + (B + E)t_m}{AE - BD} + \frac{I(B + E)}{AE - BD} u$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = -\frac{AF - CD + (A + D)t_m}{AE - BD} - \frac{I(A + D)}{AE - BD} u$$

donde:

$$A = 2J_1 + 2m_1r^2 + 2m_2r^2 + m_3r^2 + 2J_4$$

$$B = (2lm_2 + Lm_3)r \cos(\psi)$$

$$C = -(2lm_2 + Lm_3)r \psi^2 \cos(\psi)$$

$$D = (2lm_2 + Lm_3)r \cos(\psi) - 2J_4$$

$$E = m_3L^2 + 2m_2l^2 + 2J_2 + J_3$$

$$F = -g(2lm_2 + Lm_3) \sin(\psi)$$

$$t_m = -2 \frac{k_t k_b}{R} (\dot{\theta} - \dot{\psi}) - 2f_v \dot{\theta} - 2f_c \text{sign}(\dot{\theta})$$

$$I = 2 \frac{k_t}{R}$$

En la tabla 1 se explica cada uno de los parámetros del robot autobalanceable y los motores.

TABLA I  
PARÁMETROS DEL ROBOT AUTOBALANCEABLE

Parámetro	Valor
$m_1$	masa de una llantas
$m_2$	masa de un motor
$m_3$	masa del bloque controlador
$J_1$	inercia de una llanta
$J_2$	inercia de un motor
$J_3$	inercia del bloque controlador
$l$	distancia del centro de masa de un motor al eje de las llantas
$L$	distancia del centro de masa del bloque controlador del eje de las llantas
$r$	radio de las llantas
$R$	resistencia del embobinado de los motores
$k_t$	constante de torque de los motores
$k_b$	constante de f.e.m. de los motores
$J_4$	inercia del rotor y engranajes de los motores
$f_v$	coeficiente de fricción viscosa en los motores
$f_c$	coeficiente de fricción de Coulomb en los motores

### III. DISEÑO DE CONTROLADOR POR MODOS DESLIZANTES

El control por modos deslizantes que se diseñó para el robot autobalanceable cuenta con acción integrante para corregir los errores en estado estacionario que se pudieran presentar. Para generar dicha acción se aumentó el modelo matemático agregando dos estados más, de manera que el sistema queda como:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_0 &= x_1 \\
 \dot{x}_1 &= x_2 \\
 \dot{x}_2 &= f_1(x) + g_1(x)u \\
 \dot{x}_3 &= x_4 \\
 \dot{x}_4 &= x_5 \\
 \dot{x}_5 &= f_2(x) + g_2(x)u
 \end{aligned}$$

donde  $x_0 = \int x_1$ ,  $x_3 = \int x_4$ ,  $x_1 = \theta$ ,  $x_2 = \dot{\theta}$ ,  $x_4 = \psi$ ,  $x_5 = \dot{\psi}$ .

una manera de atacar el hecho de que el robot es un sistema subactuado es usar una superficie de deslizamiento que involucre todos los estados del sistema, como lo hacen en [1], [2] y [3]. Usando las variables de estado del modelo aumentado se construye la superficie de deslizamiento  $\sigma$ .

$$\sigma = \alpha\sigma_1 + \beta\sigma_2 \quad (6)$$

donde:

$$\sigma_1 = \lambda_1 x_0 + c_1 x_1 + x_2$$

$$\sigma_2 = \lambda_2 x_3 + c_2 x_4 + x_5$$

$\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes positivas.

La ley de control propuesta consta de dos partes, una encargada de llevar el sistema hacia la superficie de deslizamiento  $u_{sw}$  y otra parte ayuda a mantener el sistema sobre dicha superficie de deslizamiento  $u_{eq}$ .

$$u = u_{sw} + u_{eq} \quad (7)$$

Derivando (6) con respecto al tiempo se obtiene

$$\begin{aligned}
 \dot{\sigma} &= \alpha(\lambda_1 x_1 + c_1 x_2 + f_1(x) + g_1(x)u) \\
 &+ \beta(\lambda_2 x_3 + c_2 x_4 + f_2(x) + g_2(x)u)
 \end{aligned} \quad (8)$$

Igualando (8) a cero, considerando que el sistema ya se encuentra sobre la superficie de deslizamiento, lo que implica que  $\sigma = 0$ ,  $\dot{\sigma} = 0$  y  $u_{sw} = 0$ , y despejando  $u$ , se obtiene el control equivalente  $u_{eq}$ .

$$u_{eq} = \frac{\alpha(\lambda_1 x_1 + c_1 x_2 + f_1(x)) + \beta(\lambda_2 x_3 + c_2 x_4 + f_2(x))}{\alpha g_1(x) + \beta g_2(x)} \quad (9)$$

Ahora se propone una función candidata de Lyapunov con la cual se tratará de demostrar que el sistema en lazo cerrado tenderá a la superficie de deslizamiento.

$$V(\sigma) = \frac{1}{2}\sigma^2 \quad (10)$$

Derivando (10) con respecto al tiempo se obtiene

$$\begin{aligned}
 \dot{V}(\sigma) &= \sigma\dot{\sigma} \\
 \dot{V}(\sigma) &= \sigma(\alpha(\lambda_1 x_1 + c_1 x_2 + f_1(x) + g_1(x)u) \\
 &+ \beta(\lambda_2 x_3 + c_2 x_4 + f_2(x) + g_2(x)u)) \\
 \dot{V}(\sigma) &= \sigma(\alpha(\lambda_1 x_1 + c_1 x_2 + f_1(x)) + \\
 &\beta(\lambda_2 x_3 + c_2 x_4 + f_2(x)) + (\alpha g_1(x) + \beta g_2(x))u)
 \end{aligned} \quad (11)$$

Sustituyendo (7) en (11) y usando (9), se obtiene:

$$\dot{V}(\sigma) = \sigma(\alpha g_1(x) + \beta g_2(x))u_{sw} \quad (12)$$

Para asegurar que  $\dot{V}(\sigma) < 0$  se define  $u_{sw}$  como:

$$u_{sw} = -\frac{\eta \tanh(\sigma) + \kappa \sigma}{\alpha g_1(x) + \beta g_2(x)} \quad (13)$$

$\eta$  y  $\kappa$  son constantes positivas.

#### IV. SIMULACIONES

La simulación de la implementación de la ley de control por modos deslizantes al robot autobalanceable fue realizada usando Matlab® Simulink 2013b. En la tabla 1 se muestran los valores de los parámetros del robot usados en las simulaciones y en la tabla 2 se muestran los valores de las ganancias de los controladores.

Para evaluar el desempeño de la ley de control propuesta también se muestran los resultados de la simulación de un control por realimentación de estados de la forma  $u = -kx$ , creada usando la función place de Matlab® haciendo que  $[-20 \ -100 \ -10 \ -25]$  sean los polos del sistema en lazo cerrado.

En las simulaciones, el sistema se inicia en  $x = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$  y cada 2 segundos se aplica una perturbación equivalente a repentinamente inclinar el robot a 0.35 rad, aproximadamente 20°.

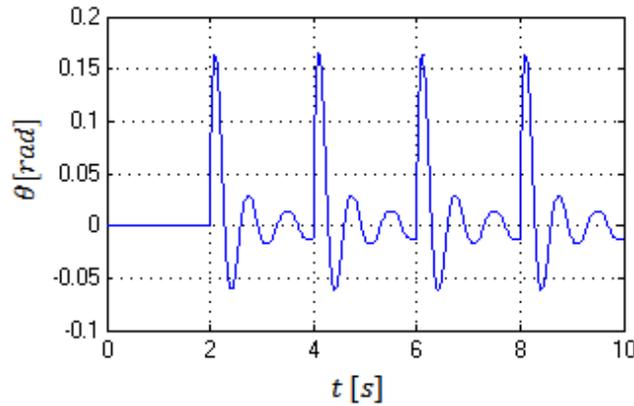
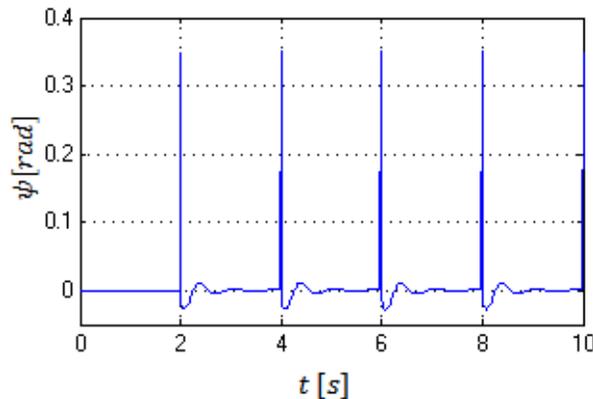
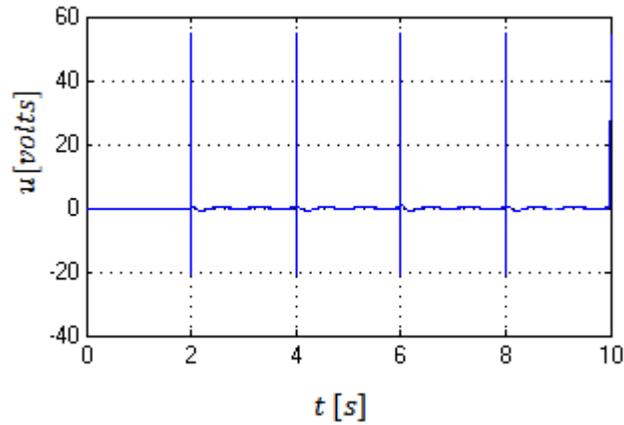


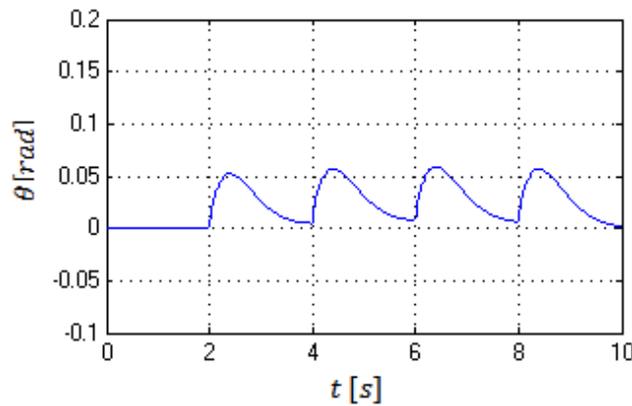
Figura 3. Posición angular de las llantas, control por realimentación de estados



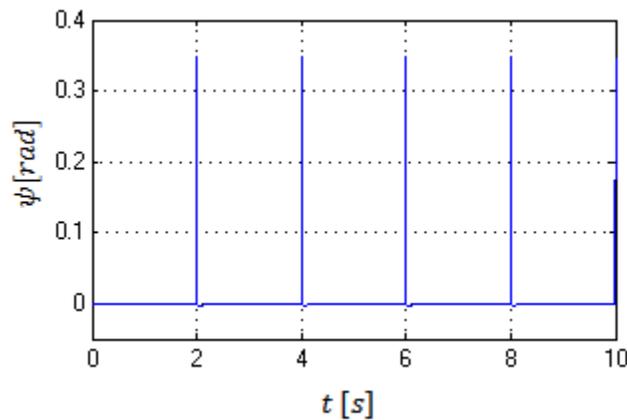
**Figura 4. Posición angular del robot, control por realimentación de estados**



**Figura 5. Señal de control, control por realimentación de estados**



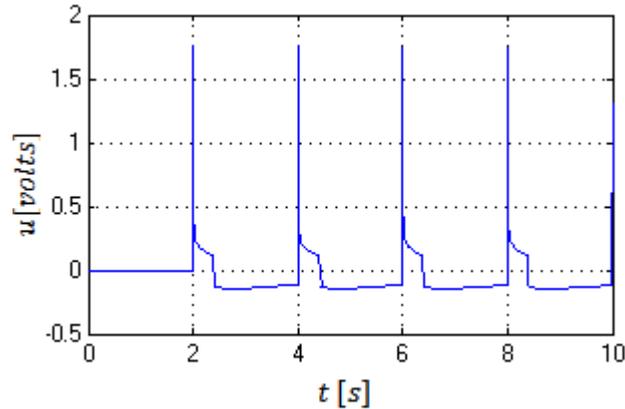
**Figura 6. Posición angular de las llantas, control por modos deslizantes**



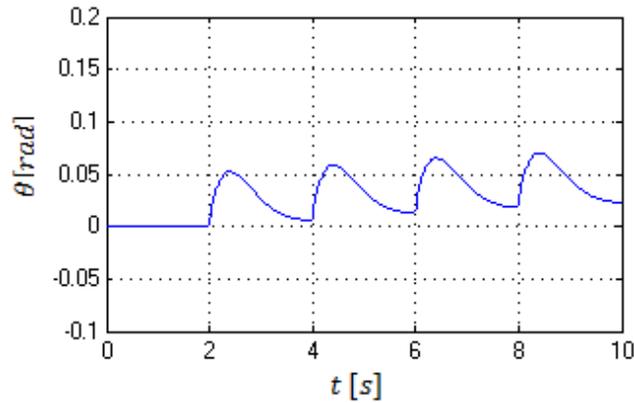
**Figura 7. Posición angular del robot, control por modos deslizantes**

Observando las figuras 4 y 7 se observa que ambos controles son capaces de estabilizar el robot en el punto deseado rápidamente, la primera diferencia que se nota entre los controles se muestra en las figuras 3 y 6, donde el control por modos deslizantes controla de una manera más suave la posición de las llantas, mientras que el control por realimentación de estados las hace oscilar alrededor del valor deseado. Donde se demuestra la superioridad del control no lineal sobre el lineal es en las señales de control mostradas en las

figuras 5 y 8, mientras que el control por modos deslizantes da picos de aproximadamente 1.75 volts de señal de salida, el control por realimentación de estados da como salida picos de hasta alrededor de 55 volts en la simulación, muy lejos del máximo que pueden soportar los motores con los que cuenta el sistema (9 volts).



**Figura 8. Señal de control, control por modos deslizantes**



**Figura 9. Posición angular de las llantas, control por modos deslizantes con  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$**

En la figura 9 se muestra el valor de  $\theta$  para  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$  lo que elimina la acción integral del controlador. En estos resultados se muestra la acumulación de un error en estado estacionario en la posición angular de las llantas, lo que indica que la acción integral implementada en el control ayuda a eliminar este error.

En las figuras 10 y 11 se muestran los diagramas de fase del robot autobalanceable con el control por modos deslizantes, se observa no hay una lineal de conmutación que pasa por el origen, esto es debido a la forma en que se definió la superficie de conmutación.

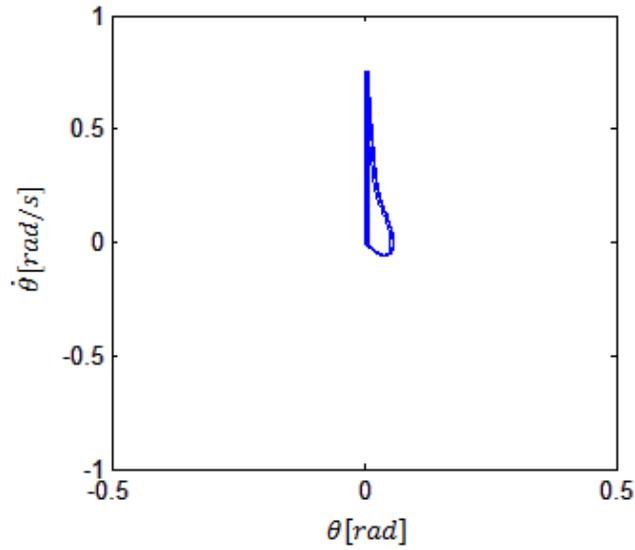


Figura 10. Diagrama de fase  $\theta-\dot{\theta}$

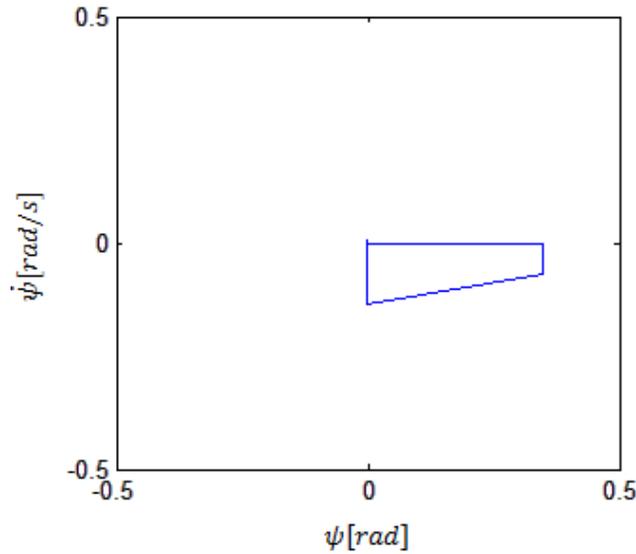


Figura 11. Diagrama de fase  $\psi-\dot{\psi}$

## V. CONCLUSIONES

La implementación en simulación de un control por modos deslizantes con acción integral probó un mejor rendimiento en comparación con un control clásico por realimentación de estados, sobre todo en el aspecto de los valores de la señal de control. La inclusión de la acción integral en el control permitió corregir el error que acumula en la posición de las llantas, lo que permite la planta vuelva al punto de partida cada vez que se le aplica alguna perturbación.

## VI. APÉNDICES

TABLA I  
PARÁMETROS DEL ROBOT AUTOBALANCEABLE

Parámetro	Valor
$m_1$	0.016 kg
$m_2$	0.102 kg
$m_3$	0.249 kg
$J_1$	$2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$J_2$	$3.3 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$J_3$	$1.53 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$l$	0.0572 m
$L$	0.064 m
$r$	0.022 m
$g$	9.81 m/s <sup>2</sup>
$R$	5.2627 $\Omega$
$k_v$	0.3233 N · m/A
$k_b$	0.4952 V · s/rad
$J_4$	$5 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
$b$	0.0006 N · s/m
$A_r$	0.0073 N

TABLA 2  
GANANCIAS DE LOS CONTROLADORES

Parámetro	Valor
$c_1$	0.1
$c_2$	20
$\lambda_1$	0.025
$\lambda_2$	0.001
$\alpha$	1
$\beta$	10
$\eta$	1
$\kappa$	5
$k_1$	-17.2053
$k_2$	-3.946
$k_3$	-156.5565
$k_4$	-18.638

## VII. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo otorgado por el Tecnológico Nacional de México para la realización y difusión de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Hao, Y.; Yi, J.; Zhao, D.; Qian, D. (2008) "Robust control using incremental sliding mode for underactuated systems with mismatched uncertainties", American Control Conference, Seattle, USA. pp. 532-537.
- [2] Kurode, S.; Trivedi, P.; Bandyopadhyay, B.; Gandhi, P. S. (2012) "Second Order Sliding Mode Control for a Class of Underactuated Systems", 12<sup>th</sup> IEEE Workshop on Variable Structure Systems, Mumbai, India, pp. 458-462.
- [3] Ashrafiun, H.; Erwin, R. S. (2004) "Sliding Control Approach to Underactuated Multibody Systems" Proceeding of the 2004 American Control Conference, Boston, USA, pp. 1283-1288 vol.2
- [4] Xiaogang, R.; Jiang, L.; Haijiang, D.; XinYuan, L. (2008) "Design and LQ Control of a two-wheeled self-balancing robot" 27<sup>th</sup> Chinese Control Conference, Kunming, China, pp. 275-279.

- 
- [5]Butler, L. J.; Bright, G. (2008) "Feedback control of a self-balancing materials handling robot"10<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Hanoi, Vietnam, pp. 274-278.
- [6]Nguyen, G. M. T.; Duong, H. N.; Nguyen, H. P. (2010) "A PID Backstepping Controller For Two-Wheeled Self-Balancing Robot" International Forum on Strategic Technology, Ulsan, Korea del Sur, pp. 76-81.
- [7]Fuquan, D.; Fangxing, L.; Yang, B.; Wenzeng, G.; Chengguo, Z.; Xueshan, G. (2012) "Development of a Coaxial Self-Balancing Robot Based on Sliding Mode Control" International Conference on Mechatronics and Automation, Chengdu, China, pp. 1241-1246.

# An Inverted L Antenna with a Parasitic Structure for RFID

S. R. Meneses González<sup>1</sup>, L. Montes Peralta<sup>1</sup>

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, I.P.N., México, D.F.

**Abstract**— an inverted L antenna altered by a parasitic resonant structure is designed for RFID tag. In order to determine the performance of varying design parameters on impedance and resonance frequency, HFSS simulation software and experimental tests are carried out. This way, the focus of this work is RFID tag antenna design based on the structure above mentioned.

**Keywords**— impedance antenna, inverted L antenna, RFID tag, resonance frequency,  $S_{11}$  parameter.

**Resumen**— Una antena del tipo L invertida alterada por una estructura parásita resonante es diseñada para su aplicación en la etiqueta RFID. Con objeto de determinar el comportamiento de los parámetros de diseño, esto es, impedancia y frecuencia de resonancia, se ha utilizado el software de simulación HFSS y pruebas experimentales se han llevado a cabo. Así entonces, el objetivo de este trabajo es el diseño de una antena para etiqueta RFID basada en la estructura mencionada.

**Palabras Clave**— impedancia de antena, antena L invertida, Etiqueta RFID, frecuencia de resonancia, parámetro  $S_{11}$ .

## I. INTRODUCTION

Radio Frequency Identification is now generating significant interest in the marketplace because of its robust application capabilities. RFID enables healthcare facilities improve overall safety and operational efficiency because it operates without line-of-sight while providing read/write capabilities for dynamic item tracking, used to identify objects or people with no physical contact or visual supervision, for instance: consumer packaged goods, animal identification, waste management systems, hospitals, libraries, vehicular identification and even humans tagged with RFID chips [1].

RFID applications consist of a wireless communication link between a remote transponder (antenna and integrated circuit), known as the tag, containing the information into the memory block, and an interrogator or reader, which emits radio waves and collects part of them reflected back by the RFID tag.

Various types of antennas for RFID tag have been proposed and the challenge trends to design a RFID tag antenna which dimensions must be enough small size for be assembled with the chip, at the same time satisfy gain, resonance frequency, impedance requirements, in order to match to the passive RFID integrated circuit (IC) and achieve maximum efficiency, as well as bandwidth requirements (low KHz) and low cost [2].

The chips are made to cover three UHF RFID frequency ranges for different regions: Europe (866.5 MHz), North America (915 MHz), Asia (953 MHz), and there are two kinds of the tags, the active tags which are powered by batteries radiating RF electromagnetic energy permanently, for the reader localization, and passive tags powered by the reader's field, the received electromagnetic signal charges an internal charge

storing capacitor in the tag chip, which in turn, acts as a power source and supplies the power to the chip energy answering the reader back [3].

In some applications the RFID tag operates as a fixed receiver, firmly attached to the objects to be identified which are generally permanent in the same position, in this case it is enough to use an antenna with not high gain, low radiofrequency, for instance 13.56 MHz, in this case HF tags use inductive coupling in the near-field region as the wavelength is much longer, the distance between the reader and the tag is short, with not obstacles, that is, line of sight, and the readout can be taken successfully.

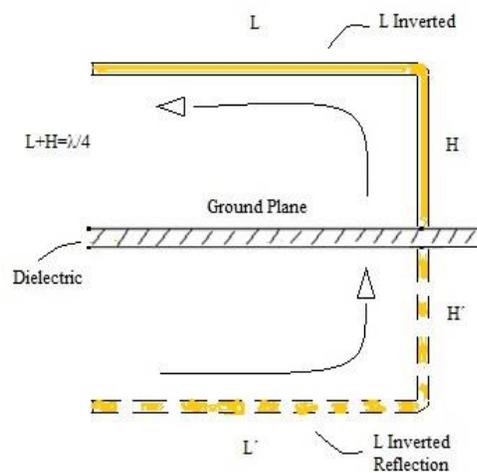
But at other RFID applications, for instance vehicular identification, livestock identification, etc., the RFID tag continuously is moving, thus, the antenna polarization is changing constantly, the distance between the reader and the tag is very significant, from what other parameters must be considered, as far field, antenna gain, radiation pattern, operation frequency due to it is shorter wavelength at UHF band [4].

This way, the focus of this work is the tag antenna design for RFID UHF Band, 915 MHz, based on L inverted antenna altered with a parasitic resonant structure which complies with small size, acceptable gain and radiation pattern.

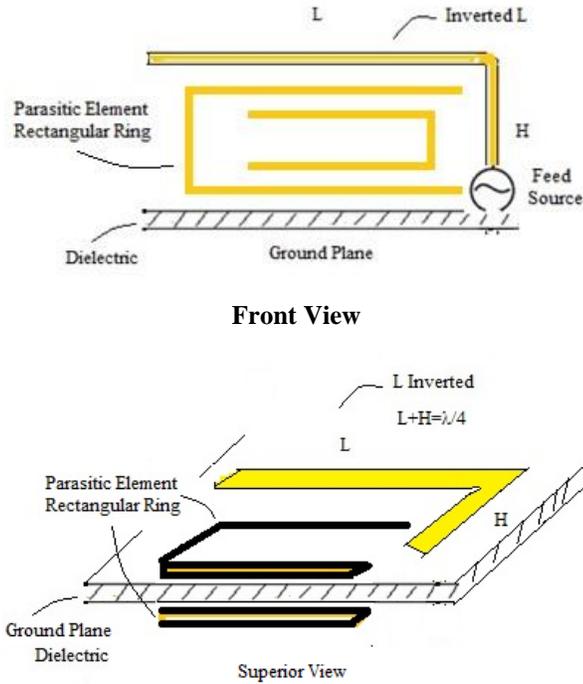
## II. RFID TAG ANTENNA DESIGN

### A. Design Foundations

The antenna in question consists of a monopole antenna folded in a specific point in order to create two sections, similar to inverted L letter, the horizontal section serves as load to the vertical section, forcing a trapezoidal distribution current along the cooper strip improving the antenna radiation characteristics [5]. The inverted L antenna geometry is shown in Figure 1. Evidently the single antenna as shown in Figure 1 is a limited antenna, but in order to take control on resonance frequency adjustment, and improve gain and radiation characteristic, it is possible when it is inserted a parasitic element, a micro strip rectangular ring, between the horizontal section and ground plane, one half of it on front side of the dielectric, that is, PCB (FR4) and the other half on the back side, making a gap between them, with no contact with the inverted L antenna as shown in Figure 2.

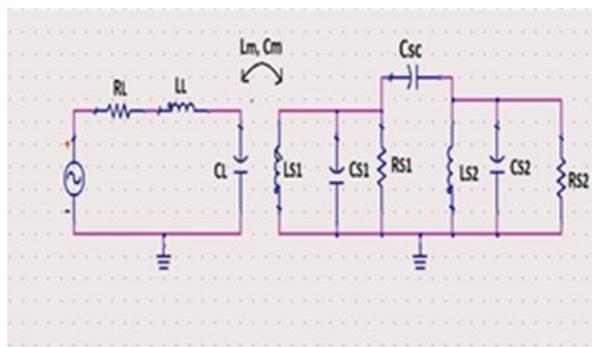


**Figure 1. Inverted L antenna geometry.**



**Figure 2. Inverted L antenna with parasitic resonant structure, front and superior view.**

The equivalent circuit of this kind of antenna is shown in Figure 3, it is composed by resistance, inductance and capacitance of the inverted L element, in the same way, resistance, inductance and capacitance of resonant rectangles, as well as, capacitance between rectangles, and mutual inductance and mutual capacitance between the inverted L element and the parasitic element resonant structure. Mutual coupling has been proven to be a useful mechanism to improve the bandwidth to achieve the frequency bands for mobile antennas when an extra antenna element is coupled to the driven element [8].



**Figure 3. Equivalent circuit.**

The resonance frequency is divided into the high-frequency side and low frequency side by adding the ring structure. The L antenna and the rectangular ring on the front side define the low frequency and the back side the high frequency. Each frequency can be adjusted changing the length of the rings. This way, the resonance frequencies are given by [9]:

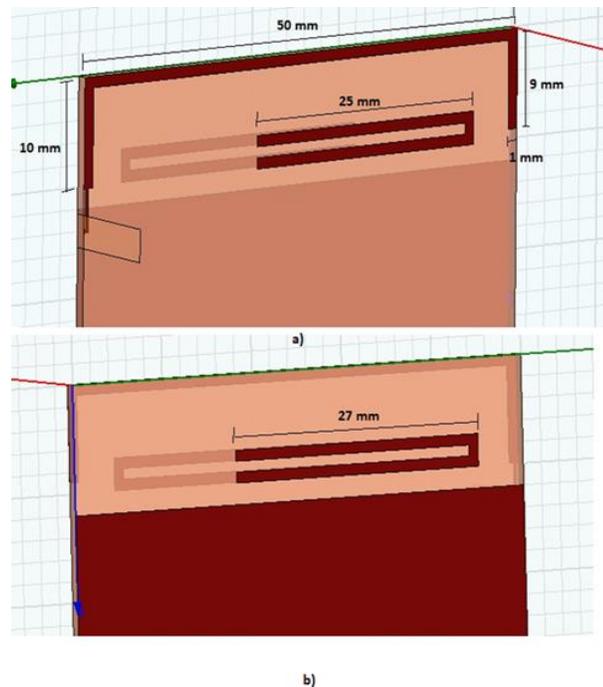
$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_s \pm L_m)(C_s + C_m)}} \tag{1}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_s - L_m)(C_s - C_m)}} \quad (2)$$

For our objective it is necessary just one resonance frequency, 915 MHz, the other resonance frequency can be adjusted to European RFID Technology 866.5 MHz, and/or Asian RFID Technology, 953 MHz.

*B. Simulation*

Software HFSS [10] has been used to simulate the designed antenna. The structure and dimensions of designed antenna are shown in Figure 4. Although the inverted L element length should be designed equal to  $\lambda/4$  [11], in order to achieve a resonant frequency equal to 915 MHz, it was necessary add a corrective circuit, shown in Figure 5.



**Figure 4. Inverted L antenna with rectangle rings structure (Simulation). a). Front Face. b). Rear Face.**

As a result of simulation,  $S_{11}$  parameter graphic is shown in Figure 6 which resonance frequency is 914 MHz. In the same way the Radiation Pattern graphic is shown in Figure 7, Plane E is illustrated in red color, and Plane H is in blue color, as well as, the antenna gain value in a specific direction is shown.

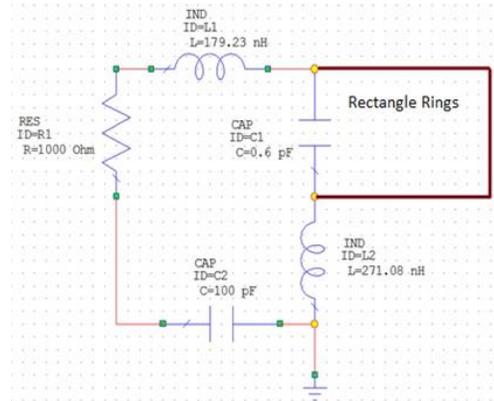


Figure 5. Corrective Circuit.

C. Implementation and measurement

Fig. 8 shows the prototype antenna, the L inverted monopole antenna and the rings are formed on the front and rear side of an FR-4 dielectric substrate ( $\epsilon_r = 4.4, \tan \delta = 0.02$ ), the SMA connector and L antenna are mounted on the front side of the FR4 dielectric substrate [12]. The other components are mounted at the rear side of it. The dimensions and values of each one of the components are approximately equal to calculated values. The PCB ground area can be reduced in accordance with experimental results.

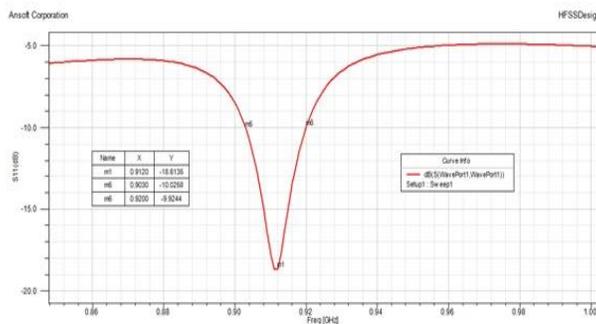


Figure 6. S11 Parameter Graphic (Simulation).

In order to measure the resonance frequency and impedance of the designed antenna, we have frequency used a Vector Network Analyzer ZVB40 calibrated in the band 500 MHz – 2 GHz, as shown in Figure 9. It is possible to observe at Magnitude vs. Frequency graphic, that, the resonance frequency is equal to 914.43 MHz, -14.16 dB, in accordance with simulation result.

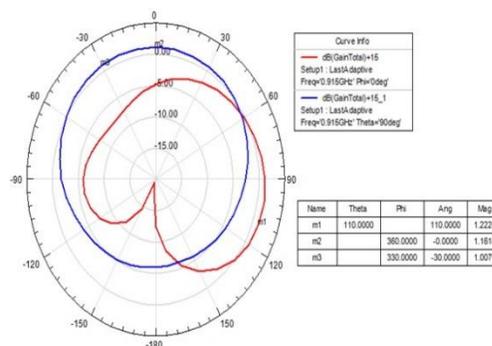
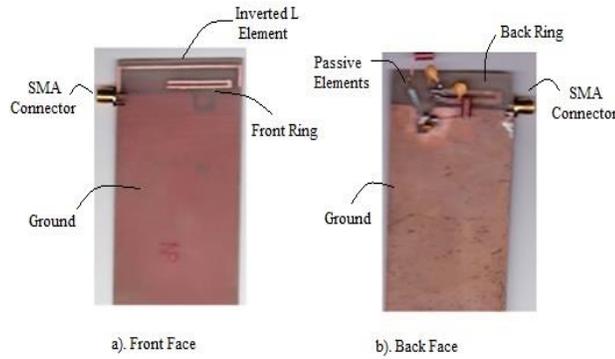


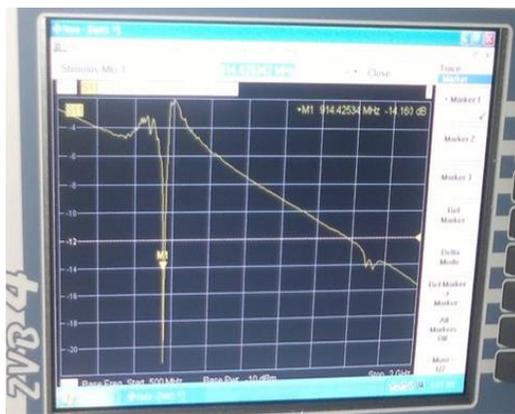
Figure 7. Radiation Pattern (Simulation). Plane E (red color), Plane H (blue color).



**Figure. 8. Prototype Antenna.**

Measured impedance value of the implemented antenna is shown in the Smith Chart in Fig. 10, equal to  $69.11 - j14.404 \Omega$ ,  $12.08 \text{ pF}$ , an excellent value in the real part, however, the imaginary part is capacitive, the desired value is an inductive reactance in order to cancel the capacitive part of the chip impedance [13],  $Z_{chip} = 73 - j113 \Omega$ , and have the maximum matching. This way in accordance with experimental results, we should trade with maximum efficiency and/or resonance frequency.

On the other hand, in order to measure the radiation pattern of the antenna under test, this one was positioned into an anechoic chamber as shown in Fig. 11 to result in Plane-E and Plane-H radiation pattern shown in Fig. 12. It is possible to observe that these ones are similar with simulation results, there are nulls in specific points, however, even so due to the geometry of the achieved radiation pattern, the RFID tag can be detected by the RFID reader from any position and the feasibility of the designed antenna for this application is guaranteed.



**Figure. 9. Magnitude vs. Frequency ( $S_{11}$  Parameter).**



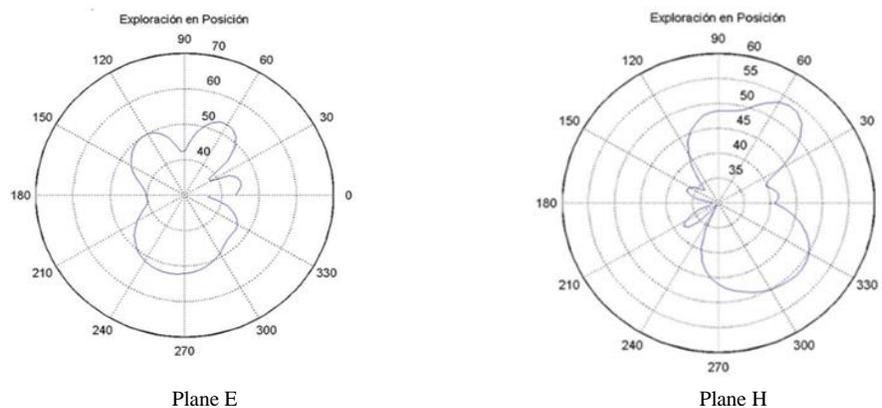
**Figure. 10. Impedance Antenna.**



**Figure. 11. Designed antenna into anechoic chamber.**

### III. CONCLUSION

Antenna design based on driven element coupled to an extra antenna element for RFID tag has been implemented and measured, the mutual coupling has improved the radiation characteristics in order to meet the resonance frequency, radiation pattern and input impedance requirements, as well as, an acceptable antenna gain and small size, this way, the designed antenna is feasible to be applied for RFID Technology.



**Figure. 12. Radiation Pattern (Measurement).**

### REFERENCES

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications", 2nd edition, 2003, John Wiley & Son, New York.
- [2] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, "Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 12, 2005, pp. 3870-3876.
- [3] P. V. Nikitin, K. V. S. Rao and S. Lazar, "An overview of near field UHF RFID", IEEE RFID Conference, 2007, pp.167-174.
- [4] L. M. Ng., K. S. Leong, D. M. Hall, & P. H. Cole, "A small passive UHF RFID tag for livestock identification", IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, vol. 1, 2005, pp. 67-70.
- [5] N. Takemura, "Inverted-FL antenna with self-complementary structure," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 57, no. 10, pp. 3029-3034, Oct. 2009.

- 
- [6] S.-I. Sekine, H. Shoki, and H. Morishita, "Antennas for wireless terminal," IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, no. 3, Mar. 2003.
- [7] K.-J. Kim, S. Lee, B.-Kim, J.H. Jung, and Y.J. Yoon, "Small antenna with a coupling feed and parasitic elements for multiband mobile applications," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 10, pp. 290–293, 2011.
- [8] C. Jordan and K. G. Balmain, *"Electromagnetic Waves and Radiating Systems"*, 1968, Prentice Hall.
- [9] R. Collin, *"Antennas and Radio Wave Propagation"*, 1985, Mc Graw Hill.
- [10] Ansoft Corporation HFSS [Online]. Available [http:// www.ansoft.com/products/hf/hfss/](http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/).
- [11] J. H. Jung, H. Choo, and I. Park, "Design and performance of small electromagnetically coupled monopole antenna for broadband operation," IET Microw. Antennas Propag., vol. 1, no. 2, pp. 536–541, Apr., 2007.
- [12] D. Braaten, G. J. Owen, D. Vaselaar, R. M. Nelson, C. Bauer-Reich, J. Glower, B. Morlock, M. Reich and A. Reinholz, "A Printed rampart line antenna with a dielectric superstrate for UHF RFID applications", IEEE Int. Conf. on RFID, 2008, Las Vegas, NV.
- [13] N. Popovic, "UHF RFID Antenna: Printed Dipole Antenna with a CPS Matching Circuit and Inductively Coupled Feed", International Journal of Radio Frequency Identification and Wireless Sensor Networks, Int. j. radio freq. identify. wirel. sens. netw., vol. 1, No. 1, 2011, pp. 28-33.

# Diseño de un control robusto, eficiente y seguro utilizando el concepto de límites cruzados para la producción de vapor en una caldera

E. I. Durán-Martínez<sup>1</sup>, G. Piña-Piña<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería en Modernización y Automatización S.A. de C.V., Estado de México, México.

<sup>2</sup> CIATEQ, Estado de México, México.

**Resumen**—El presente trabajo muestra la aplicación del control por medio de límites cruzados para el control de una caldera utilizando dispositivos actuales y que cuentan con tecnologías de punta que permiten el control y monitoreo de los procesos industriales, incluyendo en estos el de la caldera y donde el PLC y los sistemas SCADA son óptimos para este fin.

El análisis de la metodología de límites cruzados para el control de la mezcla gas y aire, necesaria para una combustión eficiente y segura en la combustión de una caldera, permite un control eficiente y seguro en la calderas, muy necesario en la Industria Mexicana.

Como se plantea en el artículo, el control para la combustión de la caldera puede ser empleado fácilmente y a un costo competitivo.

**Temas claves**— Actualización Calderas, Calderas, Control y Monitoreo, Límites Cruzados, Seguridad en Calderas, Sintonización de Calderas.

*Abstract*— This paper shows the control method (Cross Limited System) for the combustion control of a boiler using current devices and feature technologies that allow control and monitoring of industrial processes like the boiler, and where the PLC and SCADA systems are optimal for this purpose.

The analysis methodology for controlling the gas-air mixture using the Cross Limited System, necessary for an efficient and safe combustion in a boiler, permit efficient and safe control to the boiler, very necessary in the Mexican Industry.

As discussed here, boiler combustion control can be implemented easily and cost effectively.

**Keywords**— Boilers, Boiler Safety, Boiler Tuning, Control and Monitoring, Cross Limited System, Upgrade Boilers.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Planteamiento del problema.

Actualmente la base instalada de Calderas que están dando servicio a las diferentes industrias en México, son Calderas con capacidad menor a 50 TON de vapor, que tienen en promedio más de 10 años operando y donde los diversos controles que operan la Caldera son obsoletos. La siguiente figura muestra los actuales tipos de control instalados en la industria mexicana para el control de las Calderas.



**Figura 1. Gráfica del tipo de controles en calderas instaladas en México.**

Dicha situación crea una necesidad en la industria de realizar una actualización del control de sus calderas ya que los controladores que tienen están obsoletos o son inseguros y no cumplen con las normas internacionales para el uso y control de las calderas.

#### *B. Justificación.*

Teniendo en cuenta la situación actual de las empresas (controles obsoletos e inseguros en las calderas) se establecieron los problemas a resolver, como por ejemplo:

- probabilidad de accidentes laborales,
- salud laboral,
- utilización del personal en el proceso de naturaleza peligrosa o dañina para la salud,
- No hay un control sobre las variables del proceso,
- pérdida de calidad por falla en la demanda de vapor,
- niveles altos de paros no programados por sistemas de control defectuosos,
- instrumentos obsoletos,
- incumplimiento de las normas de calidad,
- contaminación ambiental en el aire,
- y sobre todo elevado consumo de energía.

#### *C. Objetivo.*

Dicha situación, permite sugerir que la actualización de estos nuevos controles sean empleando el uso de PLC's y sistemas SCADA para el control y monitoreo de toda la caldera, aunque el estudio solo se enfocará en el control de la combustión (aire-gas) para cumplir con una combustión eficiente que cumpla con los requerimientos de la producción de vapor solicitada por la demanda en la planta.

## **II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO**

#### *A. Fundamentos*

El control de una caldera es un tema extenso que incluye tanto los procedimientos de arranque y parada como los enclavamientos de seguridad y la operación en continuo de la caldera. Tradicionalmente al desarrollar el control de una caldera, las acciones de modulación de la misma se desarrollaban con equipos analógicos (continuos). Las secuencias de arranque y parada, así como los enclavamientos, son acciones

digitales (todo/nada) que implicaban equipos digitales. [1] Actualmente, debido a los avances en los sistemas basados en microprocesador (como los PLC's, Controladores Lógicos Programables) es posible integrar estos dos sistemas en estos equipos, aunque se siguen manteniendo algunas condicionantes en lo que se refiere a los equipos dedicados a la seguridad de la caldera. [2],[3]

Para poder desarrollar una aplicación de control adecuada es necesario entender correctamente los objetivos del sistema de control. En el caso de las calderas de vapor existen tres objetivos básicos:

- Hacer que la caldera proporcione un suministro continuo de vapor en las condiciones de presión y temperatura deseadas.
- Operar continuamente la caldera al menor coste de combustibles manteniendo un alto nivel de seguridad.
- Arrancar y parar de forma segura, vigilar y detectar condiciones inseguras y tomar las acciones necesarias para una operación segura en todo momento.

Los dos primeros objetivos serán realizados por lo que tradicionalmente se conoce como sistema de control analógico, mientras que el tercero será labor del sistema de seguridades y manejo de quemadores.

Un diagrama básico de una caldera podría representarse como se muestra en la Figura 2.



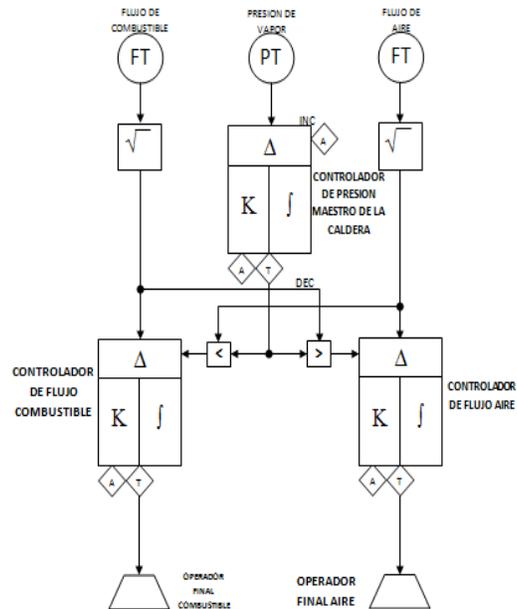
**Figura 2. Diagrama básico de una caldera.**

En esta figura se pueden diferenciar dos sistemas distintos.

El primero sería el sistema agua-vapor. En él, el agua que se introduce en la caldera es convertida en vapor, que sale de la caldera al recibir el calor necesario mediante la transferencia de calor a través del metal de los tubos. El segundo sistema es de combustible aire-gases que es el que proporcionará el calor que se transmite al agua. En este sistema, el aire y el combustible se mezclan y queman en el hogar. El hogar suele estar formado por paredes de tubos de agua que reciben el calor radiante de la llama y es por tanto donde se produce la máxima transferencia de calor. Los gases de combustión, como resultante de esta pérdida de calor, se enfrían y abandonan el hogar pasando a la zona de recuperación de calor formada por tubos de vapor en donde la llama ya no se ve y el calor se transmite por convección. Como la transmisión de calor depende, entre otras cosas, de que exista una diferencia de temperatura, la temperatura de salida de los gases será siempre algo superior a la temperatura menor del circuito agua-vapor.

El trabajo realizado en este artículo, se enfoca en hacer un control para la demanda de producción de vapor (presión de vapor) que este íntimamente ligada al proceso de combustión de la mezcla gas y aire, en donde se debe cuidar que la cantidad de gas que se encuentre en el hogar de la caldera nunca sea mayor a la cantidad de aire almacenada en el mismo lugar, sin llegar tampoco a un exceso de aire en el hogar. Para hacer este control cuidando las mezclas de aire y gas, se sugiere emplear un método de control por medio de Límites Cruzados, usando 3 PID's (controles Proporcional, Integral y Derivativo), el primero para el control de la demanda de la presión de vapor que produce la caldera, el segundo para el control del flujo del combustible que entra al hogar de la caldera y el tercero para el control de flujo de aire que entra en la caldera.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de control por medio de límites cruzados que se emplea para hacer este control, el cual se programa con la ayuda de un PLC en donde estarán las entradas y salidas del sistema que permitirán dar los parámetros a los lazos de control.



**Figura 3. Diagrama de Control de Límites Cruzados.**

#### B. Punto de ajuste del combustible

El punto de ajuste de carga a la caldera se debe limitar en el valor real de flujo de aire, para tener una protección de falla de aire y con esto, aunado a cualquier perturbación que impacte de manera importante en el suministro de combustible y produzca una combustión no estequiométrica. Se deben compensar las variaciones del combustible en su poder calorífico. El punto de ajuste del combustible así calculado se reparte entre el punto de ajuste gas combustible, el cual se debe realizar con la relación del número de quemadores de combustóleo o de gas que se encuentran en operación y el número total de quemadores en operación.

#### C. Punto de ajuste del aire

El punto de ajuste de carga a la caldera se debe limitar con el valor real de flujo de combustible (para proteger la falta de aire). Este punto de ajuste de aire estequiométrico se debe adaptar a la operación de combustóleo y gas. El punto de ajuste de aire debe ser estequiométrico y adaptado con un valor de exceso de aire dependiente de la carga que se forma.

#### D. Procedimiento.

Para la realización de este trabajo se emplea una caldera de tubos de agua con un quemador frontal de gas natural y con una capacidad de producción de vapor de 20 Ton/h, la demanda promedio de producción de vapor es de 10-12 Ton/h a una presión de 8.5-9.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Se remplazo el control de proceso de la caldera, el cual era un servomecanismo, por un PLC en donde se programo el control por límites cruzados, se empleo una válvula proporcional como dispositivo actuador para el control del flujo de gas y se acondicionó un ventilador con variador de velocidad para el suministro de aire de tiro forzado, además de toda la instrumentación necesaria para el arranque y control de proceso de la caldera, quedando el sistema de la forma mostrada en la figura 4, la cual es la pantalla que sirve para monitorear el proceso desde un HMI (Interface Hombre Máquina).[4], [5].

Para el caso de la implementación de los límites cruzados en el sistema, fue necesario sacar la curva de relación entre el gas y el aire, la cual se obtiene haciendo un análisis de la combustión de gases y de la presión diferencial en mmH2O en el hogar. Los resultados de este procedimiento varían de una caldera a otra y dependen de las condiciones físicas, ambientales y de los tipos de equipo de control con los que cuenta la caldera.

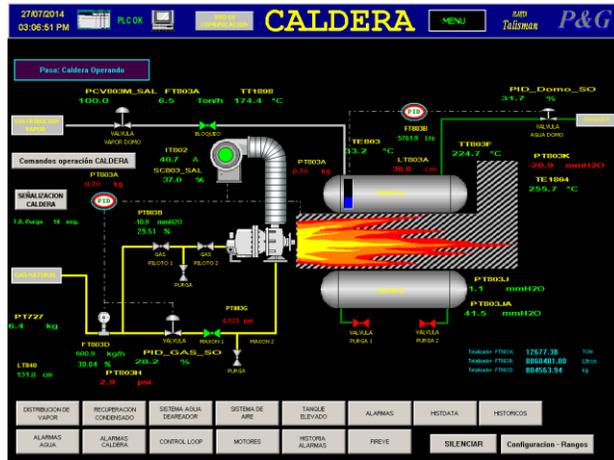


Figura 4. Pantalla de monitoreo del proceso de la Caldera.

E. Resultados

Los resultados obtenidos se dividen en dos (Ahorro de Combustible y Tiempos de Paro de Caldera por Fallas) y fueron comparados con los valores anteriores a la actualización del control.

Tabla 2. Consumos de Gas Natural de la Caldera antes de la implementación del Control con Límites Cruzados.

	CONSUMO DE GAS NATURAL (Toneladas/mes)
ME S -6	478.05
ME S -5	483.39
ME S -4	481.98
ME S -3	483.76
ME S -2	480.97
ME S -1	479.91

Tabla 3. Consumos de Gas Natural de la Caldera después de la implementación del Control con Límites Cruzados.

	CONSUMO DE GAS NATURAL (Toneladas/mes)
ME S 1	432.65
ME S 2	431.99
ME S 3	433.87
ME S 4	432.78
ME S 5	430.8
ME	432.6

S 6	
-----	--

El Ahorro de Combustible ha sido aproximadamente de un 11%.

Tabla 4. Tiempos muertos de paro de Caldera por Fallas antes de la implementación del nuevo control.

	Tiempos Muertos por Falla de Caldera (Horas)
ME S -6	16
ME S -5	8
ME S -4	24
ME S -3	3
ME S -2	12
ME S -1	36

Tabla 5. Tiempos muertos de paro de Caldera por Fallas después de la implementación del nuevo control.

	Tiempos Muertos por Falla de Caldera (Horas)
MES 1	0
ME S 2	0
ME S 3	0
ME S 4	0
ME S 5	0.75
ME S 6	0

Los Tiempos muertos por fallas en la Caldera se han extinguido prácticamente, ya que ahora se cuenta con un monitoreo y control total de las variables del proceso lo que permite una toma de decisiones más certera y precisa en el momento adecuado.

#### *F. Conclusiones*

Se concluye que el uso del Control de Límites Cruzados programado en un PLC, dio un ahorro de combustible de gas natural considerable (un 11% aproximadamente), además de que la combinación de PLC y HMI ayudan al análisis del estado actual de la Caldera. En éste artículo se resalta la importancia de tener dominio sobre las variables del proceso y sobre la implementación de un control adecuado usando las nuevas tecnologías con las que cuenta la industria para tener sistemas más eficientes y seguros, además de que con estos sistemas se tendrá la información disponible para una toma de decisiones adecuada.

### **REFERENCIAS**

- [1]. Boyer, Stuart, A. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, Instrument Society of America, Research Triangle, NC. 1993.
- [2]. Ezell, Barry, "Supervisory Control and Data Acquisition Systems for Water Supply and Its Vulnerability to Cyber Risks" disponible en internet en: <http://watt.seas.virginia.edu/~bce4k/home.html>. (August 1997).

- [3]. Rockwell Automation SCADA System Selection guide Allen-Bradley, Publication AG-2.1. 1998.
- [4]. Knight. U. "The Power System and its Operational and Control Infrastructure in emergencies" from contingency planning to crisis management.
- [5]. Hillebrand, Cary, Expert Three, Technical expert specializing in the planning and design of SCADA based and Distributed control system.

# Implementación de un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de temperatura y nivel en silos de almacenamiento de leche

L.S. González-De Hoyos, L.A. González-Vargas, V.E. Manqueros-Aviles

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.

**Resumen--** Mediante el presente trabajo se pretende realizar un acercamiento al complejo, cambiante y, en ocasiones, difuso mundo de los sistemas de supervisión y control en la industria. El objetivo principal es monitorear la actividad y la evolución de las variables de nivel temperatura sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha estado desarrollado un sistema, denominado SCADA, el cual permite supervisar y controlar, las distintas variables que se encuentran en un proceso o planta determinada. Para este proyecto se utilizaron sensores RTD y sensores de presión hidrostática para medir la temperatura y el nivel respectivamente, software de aplicación, y el sistema de comunicación WirelessHART etc., los cuales permiten al operador mediante la visualización en una pantalla de computadora, tener el completo acceso al proceso. No sólo se puede supervisar el proceso, sino además tener acceso al historial de las variables de proceso con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas y presentarlas en una plantilla Excel, siendo así todo el sistema más amigable.

**Temas claves—** nivel, temperatura, Ethernet, SCADA, WirelessHART, supervisar variables de proceso.

**Abstract—** Through this paper is to make an approach to the complex, changing and sometimes fuzzy world of supervisory and control systems in the industry. The main objective is to monitor the activity and evolution of the variables temperature level without continued intervention of a human operator. In recent years, there has been developed a system known as SCADA, which allows monitoring and control, the different variables are determined in a process or plant. RTD sensors for this project and hydrostatic pressure sensors used to measure the temperature and level respectively, application software, and WirelessHART communication system, which allow the operator by displaying on a computer screen, having the full access to the process. Not only can monitor the process, but also have access to the history of the process variables more clearly, combine relational databases and present them in an Excel template, making it all the more friendly system.

**Keywords—** level, temperature, Ethernet, SCADA, WirelessHART, monitor process variables.

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnología inalámbrica hoy en día se está utilizando en casi todo lo que nos rodea, teléfonos celulares, computadoras etc., al igual que en la vida cotidiana y también en la industria, la cual se emplea para comprender mejor lo que pasa en el (los) proceso(s) de alguna variable(s), mediante la automatización de distintas áreas de un proceso, guardar registros en tiempo real de lo que se está monitoreando y mejorar el funcionamiento con aplicaciones SCADA, ya que se omiten los cables de los sensores que se encuentran en el área de campo hasta el cuarto de control.

Con la implementación de este proyecto se pretende automatizar el proceso, evitar que el operador realice su trabajo manualmente de revisión periódica (4 veces al día) de temperatura y nivel de los silos de

almacenamiento de leche. Con la tecnología implementada se pretende evitar los errores de medición ya que la empresa no puede permitir cambios en las propiedades de la leche, así como en los inventarios ya que no coinciden los datos arrojados por los errores de medición actuales.

Finalmente, lo que se quiere es dejar patente que los sistemas SCADA son una aplicación para la integración de los procesos industriales, que ofrecen muchas expectativas en eficacia y optimización de los procesos industriales. Por ello, el nivel de automatización que presenta una industria basada en software SCADA es el más alto que hoy en día se puede ver.

## II. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

Transportadora de Alimentos es una empresa al servicio de sus clientes bajo una misión de planeación estratégica de logística y trabajo en equipo. Su principal enfoque es abastecer de leche a los socios del grupo con los más altos estándares de calidad en la leche cruda y niveles de servicio mediante una dirección de proceso de calidad total y optimización de costos. Por lo que se mantiene a la vanguardia en la adopción de tecnología al automatizar su proceso de distribución.



**Figura 1. Silos de almacenamiento de leche en Transportadora de Alimentos S.A. de C.V.**

El proceso se inicia una vez que se recolecta la leche de los establos posteriormente se tiene cuatro carriles de descarga, una vez que se recibe la leche pasa por una cortina de enfriamiento, la temperatura es un factor crítico en el control de calidad del producto, no deja de tener importancia la certeza en los inventarios de las cantidades de leche que se almacena.



**Figura 2. Carriles de descarga de pipas.**

Especifican el número de serie de la pipa, el silo en el cual se recibe la leche de la pipa, hora de inicio, hora de término de descarga, el carril de ingreso y el dato más importante la cantidad de litro que se están cargando al silo, este dato debe coincidir con los cálculos manuales que realizan los auditores en el registro de inventario.

*A. Ubicación del Área de Instalación del Sistema de Sensores, Adaptadores y Gateway de tecnología WirelessHART*

Los trabajos de referencia de instalación se efectuaron en los silos de almacenamiento del área de Procesos de Lala Transportadora de Alimentos.



**Figura 3. Ubicación del adaptador WirelessHART**



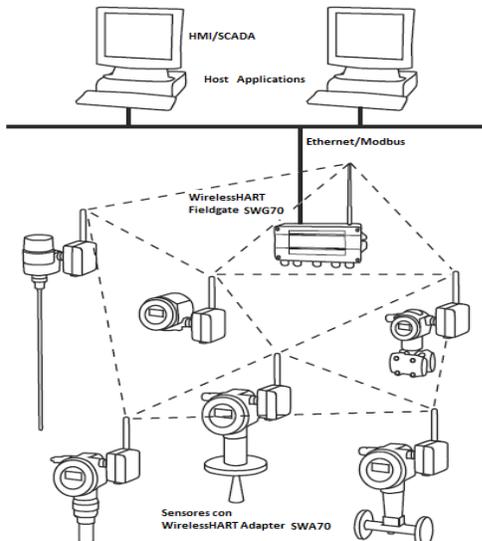
**Figura 4. Ubicación de los sensores de nivel y temperatura.**



**Fig 5. Silos con adaptadores y sensores instalados.**

**Fig 6. Gateway con su fuente de alimentación de 24VCD**

*B. Topología de la red WirelessHART*



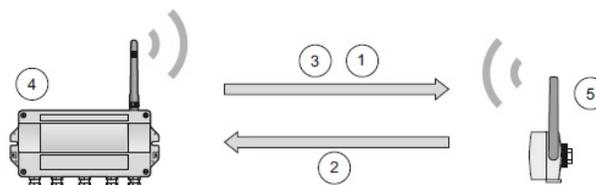
**Figura 7. Red WirelessHART**

En una red WirelessHART, cada estación (dispositivo de campo) forma una red, sirviendo simultáneamente como una fuente de señal y un repetidor. Entonces, el transmisor original envía un mensaje a su vecino más cercano, el que pasa esta información hacia otros dispositivos hasta que el mensaje alcanza la estación base y su destinatario.

Fieldgate SWG70 es un dispositivo de puerta de enlace para redes WirelessHART. Permite a los dispositivos WirelessHART comunicarse entre sí y administra la seguridad y conectividad. El Fieldgate convierte los datos de dispositivos inalámbricos a un formato que es compatible con los sistemas host. En este caso utilizamos el medio fisco de comunicación Ethernet y el protocolo de comunicación de datos Modbus TCP.

*C. Gestión de la red*

En su papel como administrador de la red, Fieldgate SWG70 organiza la comunicación inalámbrica entre los dispositivos de campo WirelessHART.



**Figura 8. Gestión de la red**

- Paso 1: llamado a los dispositivos a unirse a la red (Advertising)
- Paso 2: petición de incorporación (Join Request)
- Paso 3: Autorización, Sesión y claves de red,

Programación y enrutamiento. (Authorization, Session & Network Keys, Scheduling and Routing)

- 4: WirelessHART gateway (Fieldgate SWG70)
- 5: WirelessHART device or adapter

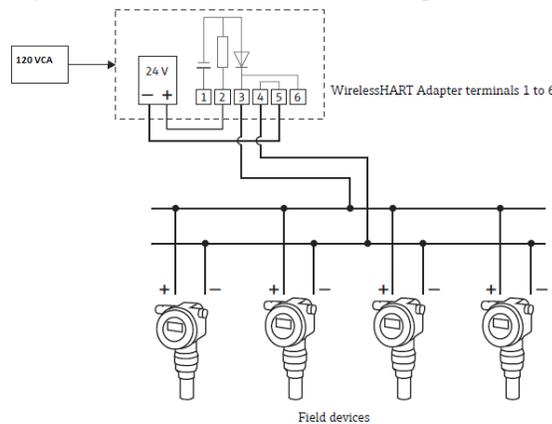


Acepte el certificado de sitio en el cuadro de diálogo que aparece en seguida.

### E. Adaptador WirelessHART

La conexión del adaptador con los dispositivos de campo de medición de las variables de proceso se realizó con la configuración multipunto como se muestra en la siguiente figura, debido a que un solo adaptador recibe las señales HART de los dispositivos de medición de nivel y temperatura, asignando una dirección 1 para temperatura y dirección 2 para el dispositivo que sensa el nivel.

El adaptador puede recibir y alimentar un máximo de cuatro dispositivos.



**Figura 11. Conexión multipunto de los dispositivos de campo**

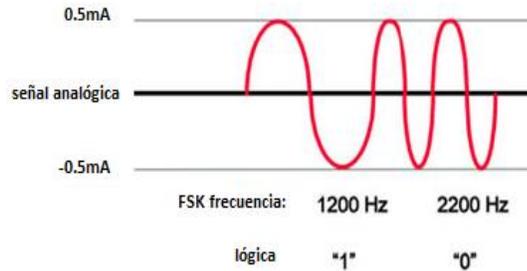
Los adaptadores se alimentaron con 120 volts de corriente alterna, alimentando éste a su vez a los dispositivos de campo con 24 VCD.

### F. Protocolo de Comunicación HART en Sistemas de Instrumentación Inteligentes.

El protocolo de comunicación HART es mundialmente reconocido como un protocolo estándar de la industria para comunicación de los instrumentos de campo inteligentes 4-20mA, basados en microprocesador. El uso de esta tecnología está creciendo rápidamente y hoy en día prácticamente todos los principales fabricantes del mundo de instrumentación ofrecen productos con comunicación HART.

El Protocolo HART permite la comunicación digital bidireccional en instrumentos de campo inteligentes sin interferir en la señal analógica de 4-20mA. Tanto la señal analógica de 4-20mA como la señal digital de comunicación HART, pueden ser transmitidas simultáneamente en el mismo par de hilos. La variable primaria es la información de la señal de control que puede ser transmitida por la señal de 4-20mA, mientras que las mediciones adicionales, parámetros de proceso, configuración del instrumento, calibración y las informaciones de diagnóstico están disponibles en el mismo par de hilos y al mismo tiempo. A diferencia de otras tecnologías de comunicación digitales “abiertas” para instrumentación de procesos, el protocolo HART es compatible con los sistemas existentes.

El Protocolo HART usa el estándar Bell 202, Modulación por cambios de Frecuencia (FSK) para superponer las señales de comunicación digital a la señal de 4-20mA. Puesto que la señal digital FSK es simétrica en relación al cero, no existe nivel DC asociado a la señal y por lo tanto este no interfiere en la señal de 4-20mA. Una lógica “1” es representada por una frecuencia de 1200Hz y la lógica “0” es representada por una frecuencia de 2200Hz, como es mostrado en la figura 12.



**Figura 12. HART usa la tecnología FSK para codificar la información digital de comunicación sobre la señal de corriente de 4 a 20 mA**

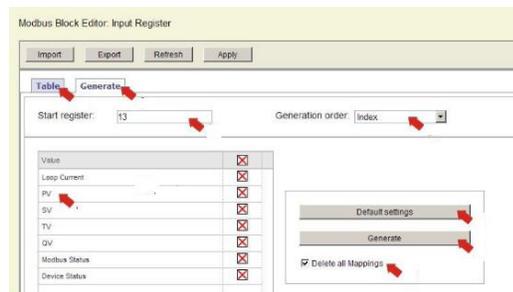
#### G. Mapeo Modbus de las variables de proceso en el Fieldgate

La Configuración Modbus determina cómo es la información Modbus a transmitir por el Fieldgate SWG70 y donde la información se encuentra. El mapeo de las direcciones de las variables de proceso puede efectuarse en forma manual o automática.

El Registro de Entrada (Input Register) permite el mapeo Modbus del Fieldgate SWG70 y los dispositivos HART conectados.

Como el Fieldgate SWG70 soporta registros extendidos, los valores se asignan normalmente a los Registros de entrada (Input Register) con las direcciones de referencia 30001 a 36536 pero para algunos sistemas Modbus la asignación se debe hacer a los registro de retención (Holding Registers) con las direcciones de referencia 40001 a 46536. Las direcciones de referencia se obtienen sumando el número de registro a 30000 o 40000, respectivamente. En los dispositivos HART utilizados las direcciones se asignaron a los registros de entrada (Input Register) iniciando con un mapeo semiautomático seleccionando únicamente la variable primaria (pv) la cual es la variable de proceso en este caso temperatura o nivel, las variables secundarias nos dan la temperatura del dispositivo, la terciaria intensidad de la señal del "segundo mejor" vecino.

Se introdujo un valor de desplazamiento en el campo Inicio Registro. Si tiene la intención de controlar los valores Fieldgate SWG70, introduzca 13, con el fin de dejar espacio para los valores Fieldgate. La parametrización anterior mencionada se ejecutó en el navegador de Internet Explorer.



**Figura 13. Generación de tabla de asignación de Registro de Entrada de manera manual.**

El orden en el que los dispositivos se asignan a los registros Modbus puede ser:

Índice: De acuerdo con el número de índice en la lista de instrumentos.

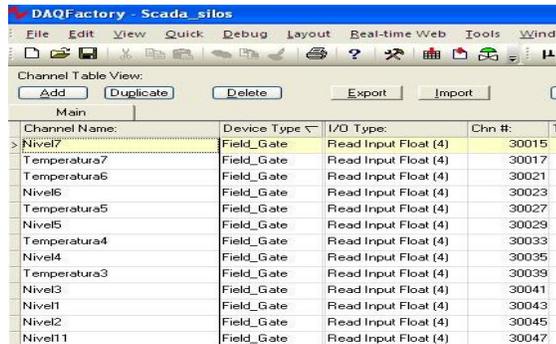
Alfabético: En orden alfabético según la etiqueta del instrumento.

#### H. Desarrollo del SCADA encargado de la adquisición de datos.

Se desarrolló un sistema SCADA mediante la utilización del software Daqfactory, esta herramienta es capaz de permitirnos visualizar por medio de gráficos los niveles de leche en los silos de almacenamiento de leche, así como la temperatura, también permite la adquisición de datos remota, mediante la configuración del

protocolo de comunicación Modbus TCP/IP permite una conexión directa a través del Fieldgate SWG70, nos permite también ver y analizar los datos en tiempo real y además obtener alarmas con opción de notificación que nos indica el estado del proceso y así obtener una mejor supervisión del mismo.

Se muestra la ventana del editor de variables donde se define el nombre de variable el tipo de dato y la dirección de registro que lee el sistema SCADA.



Channel Name	Device Type	I/O Type	Chn #
Nivel7	Field_Gate	Read Input Float (4)	30015
Temperatura7	Field_Gate	Read Input Float (4)	30017
Temperatura6	Field_Gate	Read Input Float (4)	30021
Nivel6	Field_Gate	Read Input Float (4)	30023
Temperatura5	Field_Gate	Read Input Float (4)	30027
Nivel5	Field_Gate	Read Input Float (4)	30029
Temperatura4	Field_Gate	Read Input Float (4)	30033
Nivel4	Field_Gate	Read Input Float (4)	30035
Temperatura3	Field_Gate	Read Input Float (4)	30039
Nivel3	Field_Gate	Read Input Float (4)	30041
Nivel1	Field_Gate	Read Input Float (4)	30043
Nivel2	Field_Gate	Read Input Float (4)	30045
Nivel11	Field_Gate	Read Input Float (4)	30047

Figura 14. Direcciones de las variables a leer por el SCADA

### I. Diseño de la interfaz

Con el software DAQFactory para la supervisión y adquisición de datos SCADA mas la interfaz humano maquina HMI, hacen que se conviertan en una poderosa herramienta, flexible y económica para lograr toda clase de desafío en la comunicación entre un software y los equipos en tiempo real. Esta herramienta permite realizar cambios en cualquier intervalo de tiempo de cada proceso sin detenerlo.

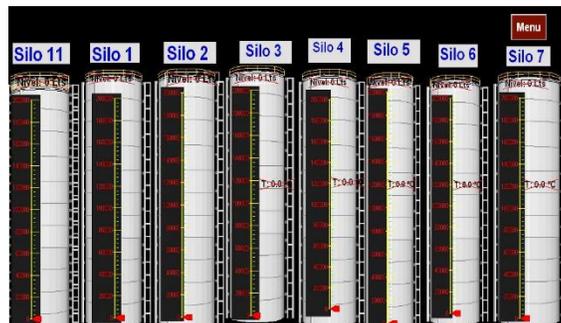


Figura 15. Interfaz gráfica para monitoreo

## III. CONCLUSIONES

El proceso se ha automatizado con la más moderna tecnología en sensores de nivel y temperatura ya que antes las mediciones se efectuaban con sensores analógicos y digitales obsoletos, existían variaciones en las lecturas de nivel ya que no coincidían con los inventarios hechos manualmente por los inspectores de calidad.

El problema que existía en la medición de la temperatura era que las muestras se tomaban 4 veces durante el día y entre cada tiempo puede haber cambios o variaciones de temperatura. Si existe algún incremento en la temperatura nadie se enteraría hasta tiempo después que se realiza la siguiente lectura, las bacterias podrían aumentar y una empresa de lácteos no se puede permitir los cambios de temperatura bruscos o aumento de bacteriología en la leche. Además que las auditorías de calidad se realizaban de manera manual con un termómetro de mercurio y con el factor de interferencia del medio ambiente.

Ahora se utilizan sensores WirelessHART con tecnología de punta, colocados de manera estratégica para evitar interferencias en el área de procesos, o accidentes por parte de los operadores al realizar la lectura

ya que el proceso es monitoreado en tiempo real en forma remota en una cabina de control donde se monitorea constantemente las lecturas, se visualizan los niveles de los silos en tiempo real. Le facilita al operador observar los cambios en las lecturas, observar el historial de los datos y general un informe al instante.



**Figura 16. Cabina de control y monitoreo**

### REFERENCIAS

- [1] Aquilino, R.P (2007). *“Sistemas SCADA”, Notas de diseño, Normativa, Seguridad y comunicaciones industriales* 2nd ed. Barcelona España: Marcombo, Ediciones Técnicas
- [2] Endress + Hauser México. (1999). Endress + Hauser México. Disponible en: <http://www.mx.endress.com/es/Grupo-Endress-Hauser/26471/SC-Mexico>.
- [3] Endress + Hauser People For Process Automation. Operating Instructions WiressHART Adapter SWA70 Smart wireless module with power supply for field devices.
- [4] Endress + Hauser People for Process Automation. (2012). Technical Information Deltapilot M FMB50/51/52/53. Switzerland: Instrument International AG.
- [5] Endress + Hauser S.A de C.V . Operating Instruction WirelessHART FieldGate SWG70 Intellingent WirelessHART gateway with Ethernet and RS-485 interfaces.
- [6] Alqueres, J. L. y Praca, J. C. (1991) "The Brazilian power system and the challenge of the Amazon transmission," in *Proceedings IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf.*, pp. 315-320.

# Análisis Electromagnético de un Generador Síncrono de Imanes Permanentes usando Elementos Finitos en 3D

J. González-Domínguez, M. A. Arjona<sup>1</sup>, C. Hernández

Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Czda, Cuauhtémoc S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

**Resumen—** En este artículo se presenta el análisis electromagnético de un generador síncrono de imanes permanentes. Se propone un caso en el cual se simula el generador operando a velocidad constante en condiciones normales y después de cierto tiempo ocurre una disminución en el flujo remanente de los imanes en el rotor, afectando los valores de tensión y de corriente en los terminales del estator y la densidad de flujo magnético en la máquina. Se presentan los resultados obtenidos a través del software de elementos finitos Flux 3D.

**Temas claves—**Elementos Finitos, Flujo Remanente, Generador Síncrono de Imanes Permanentes.

**Abstract—** This paper presents the electromagnetic analysis of a permanent magnet synchronous generator. A study case is proposed in which the operation of the generator at constant speed under normal conditions is simulated and after a while a decrease in the residual flux of the magnets on the rotor is presented, affecting the values of voltage and current in the stator terminals and the magnetic flux density on the machine. The results obtained through finite element software Flux 3D are presented.

**Keywords—** Finite Elements, Residual Flux, Permanent Magnet Synchronous Generator.

## I. INTRODUCCIÓN

Como fuente de energía renovable, la energía eólica es hoy en día una de las alternativas más viables para la generación de energía eléctrica sin contaminar el ambiente.

Existen diferentes tipos de generadores eléctricos empleados para la conversión de la energía eólica en electricidad, los más comunes son los de inducción tipo jaula de ardilla, los generadores de inducción doblemente alimentados y los generadores síncronos de imanes permanentes. En sistemas de generación eólica de baja y media potencia los más utilizados son los generadores síncronos de imanes permanentes.

Con el desarrollo de materiales de alto rendimiento compuestos por imanes permanentes, los generadores síncronos de imanes permanentes son un tema de interés en la investigación debido al gran número de ventajas que ofrecen: alta eficiencia, ausencia de escobillas y de anillos rozantes, devanados de excitación, fuentes de CD, que presentan pérdidas por calentamiento, cobre, entre otras.

Este artículo presenta un análisis en el comportamiento de los imanes permanentes en el rotor del generador síncrono. Se somete a una disminución del flujo remanente a los imanes. En condiciones reales esto se puede deber a las altas temperaturas bajo las que pueden operar las máquinas debido a fallas provocadas por las altas corrientes que circulan por los devanados del estator cuando éstos están conectados a la red eléctrica. Se muestran los resultados obtenidos y cómo es que repercute en los voltajes y corrientes en los conductores del estator, así como la distribución de la densidad de los campos magnéticos en la máquina, antes y durante la disminución del flujo remanente.

Actualmente existen métodos numéricos computacionales usados en el análisis de dispositivos electromagnéticos como los generadores eléctricos, uno de ellos es el método de elementos finitos; su aplicación en el estudio de este tipo de máquinas puede evitar la construcción de prototipos de prueba, obteniendo con esto una gran reducción en cuanto a costos de material y fabricación se refiere. Algunas de las ventajas que presenta el método de elementos finitos son: flexibilidad para modelar geometrías y fronteras irregulares, manejo de materiales no lineales y generación de una solución altamente confiable [1]-[2].

El generador bajo prueba será modelado y simulado en el software de elementos finitos Flux 3D [3]; el análisis en 3D permite obtener resultados más precisos, así como una mejor visualización de los campos magnéticos producidos por los imanes permanentes en el rotor y en los conductores del estator en el generador.

## II. FORMULACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS DEL GENERADOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES

### A. Análisis de Elementos finitos

Actualmente el método de Elemento Finito es el más confiable para la solución de problemas electromagnéticos. El desarrollo matemático del método de elemento finito puede estar basado en el método variacional o en métodos residuales como el de Galerkin. Los métodos variacionales se desarrollan con el uso de una expresión llamada funcional relacionada con la energía del problema. La minimización del funcional conduce a la solución de la ecuación diferencial que describe el fenómeno electromagnético que gobierna el problema. El método de Galerkin se basa en la integración de la ecuación diferencial parcial, la cual a su vez es multiplicada por una función ponderada sobre el dominio de interés, esto da origen a la solución del problema.

### B. Procedimiento de análisis

El desarrollo del método de elemento finito se puede dividir en cuatro etapas principales:

- La discretización del problema en un número determinado de elementos generalmente triangulares.
- La derivación de las ecuaciones que gobiernan el elemento.
- El ensamblado de los elementos dentro de la región de interés.
- La solución del sistema de ecuaciones resultantes.

### C. Modelo de elemento finito del generador síncrono de imanes permanentes

Las ecuaciones diferenciales derivadas de las ecuaciones de Maxwell [4] que describen la inducción de la estructura del rotor en las diferentes regiones del generador mostradas en la Figura 1, son las siguientes:

Para las regiones del estator y el centro del rotor compuesto por materiales de una alta permeabilidad relativa (región 1 en la Figura 1), la ecuación que gobierna es descrita en (1).

$$\sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \times \mathbf{H} = \left( \sigma \frac{\Delta V}{L} + J_z^e \right) \mathbf{e}_z, \mathbf{A} = A_z \mathbf{e}_z \quad (1)$$

En las regiones donde se encuentran los imanes permanentes y el espacio de separación que existe entre ellos (regiones 2 y 3 en la Figura 1), la ecuación que gobierna es (2).

$$\sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \times \left[ \frac{1}{\mu_0 \mu_r} (\nabla \times \mathbf{A} - \mathbf{B}_r) \right] = \left( \sigma \frac{\Delta V}{L} + J_z^e \right) \mathbf{e}_z$$

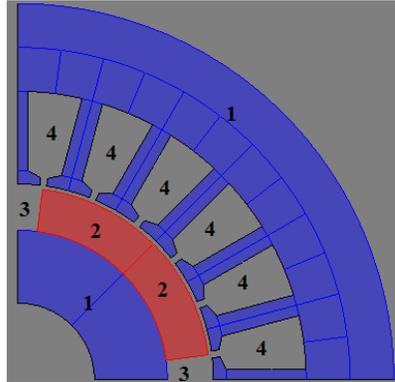
$$\mathbf{A} = A_z \mathbf{e}_z \quad \mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} + \mathbf{B}_r \quad (2)$$

En las regiones donde se encuentran los conductores y el entrehierro del estator (región 4 en la figura), la ecuación es (3).

$$\sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \times \left[ \frac{1}{\mu_0 \mu_r} (\nabla \times \mathbf{A}) \right] = \left( \sigma \frac{\Delta V}{L} + J_z^e \right) \mathbf{e}_z$$

$$\mathbf{A} = A_z \mathbf{e}_z \quad \mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} \quad (3)$$

Donde  $\mathbf{A}$  es el potencial magnético,  $\mu_0$  es la permeabilidad del vacío,  $\mu_r$  es la permeabilidad relativa,  $\mathbf{B}_r$  es la densidad de flujo remanente, y  $J_z^e$  es la densidad de corriente,  $\mathbf{H}$  el campo magnético,  $L$  la longitud del rotor, y  $\sigma$  la conductividad eléctrica.



**Figura 1. Regiones del generador síncrono de imanes permanentes.**

#### *D. Ventajas del modelado de elementos finitos en 3D*

Debido al rápido avance en métodos computacionales, como el método de los elementos finitos, un gran número de herramientas de software ofrecen un análisis cada vez más detallado de dispositivos electromagnéticos. En este artículo se utiliza la herramienta de Flux 3D. En un análisis de este tipo las limitaciones que presentan métodos en 2D pueden ser las siguientes: la solución del campo magnético depende de la relación del entrehierro con la distancia entre los polos magnéticos que varía con el radio del plano de corte cilíndrico elegido para un análisis en 2D.

El flujo en la franja de las regiones circunferenciales interior y exterior no puede tomarse en cuenta; en la práctica existe una reducción de densidad de flujo en el entre hierro de estas regiones.

Un análisis en 2D puede determinar el flujo mutuo y los enlaces de flujo a lo largo de la longitud radial de los conductores, pero no puede hacer esto para las regiones donde se encuentran los terminales de estos conductores que forman parte de los devanados de las máquinas.

El análisis en 2D no se puede aplicar cuando hay cambios en las propiedades de los materiales en diferentes secciones transversales.

Es por ello que en el trabajo presentado en este artículo se ha optado por realizar un análisis en 3D del generador síncrono de imanes permanentes [5]-[6].

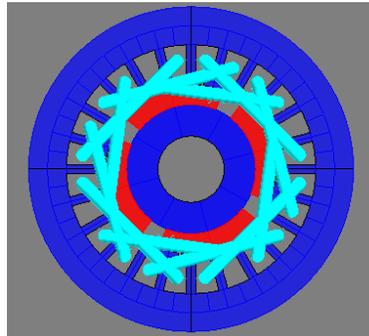
### **III. SIMULACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTO FINITO EN 3D DEL GENERADOR**

La geometría completa del modelo del generador síncrono de imanes permanentes en 3D es mostrada en la Figura 2. El generador está compuesto por 4 polos magnéticos de imanes permanentes y se le acopla un circuito equivalente que representa los conductores en los devanados del estator, conectados en estrella. Estos conductores están enrollados en el entrehierro del estator y están representados por bobinas color azul. En la Figura 3 se muestra el circuito equivalente de estos devanados, conectados a una pequeña carga para graficar

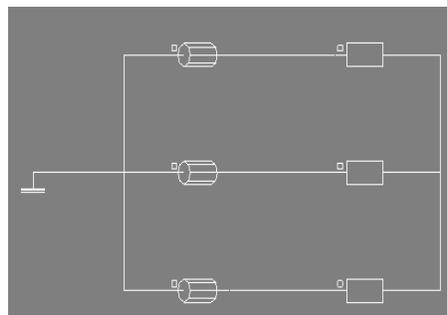
las corrientes circulantes.

En la Figura 4 se observa la vista lateral del generador síncrono de imanes permanentes con los conductores.

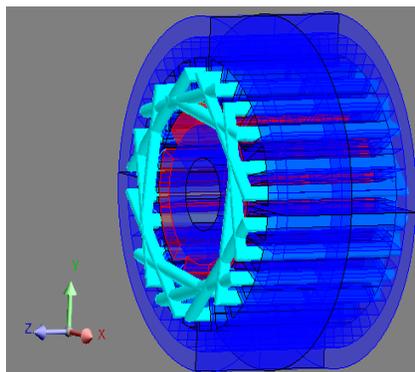
Se simula una disminución del flujo remanente en los imanes permanentes a partir de los 0.3 s; el generador se encuentra girando a velocidad constante de 500 rpm. Se aprecia una disminución de los voltajes y corrientes en los conductores del estator y una disminución de la densidad de campo magnético en la máquina.



**Figura 2. Geometría completa del generador síncrono de imanes permanentes.**



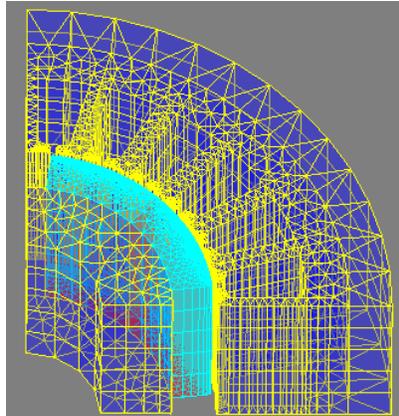
**Figura 3. Circuito equivalente de los conductores en el estator.**



**Figura 4. Vista lateral de la geometría del generador síncrono de imanes permanentes con los conductores en el estator.**

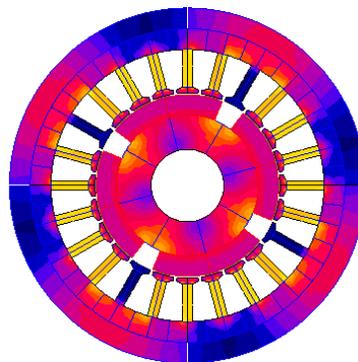
La discretización del modelo en elementos se aprecia en la Figura 5. En esta figura aparece el mallado de una cuarta parte de la máquina aprovechando la condición de periodicidad que ofrece la geometría del

generador al poseer una simetría; esto reduce considerablemente el tiempo de cómputo, ya que sólo es analizada esa parte de la geometría total y el resultado al ser simétrico es el mismo para las otras partes de la máquina. El mallado consta de 16119 nodos, 3532 elementos lineales, 18282 elementos de superficie y 30367 elementos de volumen, el mallado es de primer orden.



**Figura 5. Mallado de la cuarta parte de la geometría total del generador en 3D**

La densidad de campos magnéticos antes y después de la disminución de flujo remanente de los imanes se visualiza en las Figuras 6 y 7. En las tablas I y II se representa la magnitud de la densidad de flujo, respectivamente, apreciándose una clara disminución de la distribución del flujo magnético en la máquina después de los 0.3 s, que es cuando sucede la disminución de flujo remanente en los imanes permanentes. Mientras que en las Figuras 8, 9 y 10 se aprecia el comportamiento de las variables eléctricas como voltajes y corrientes en conductores, así como el par electromagnético respectivamente.



**Figura 6. Densidad de flujo distribuido en el generador a los 0.29 s.**

TABLA I  
MAGNITUD DE LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO

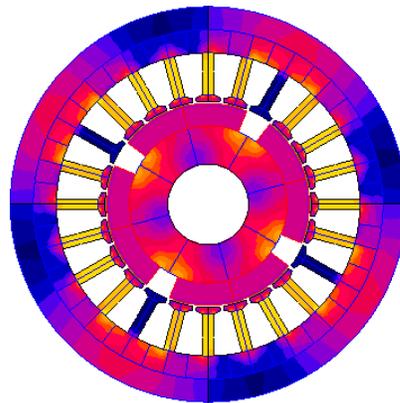
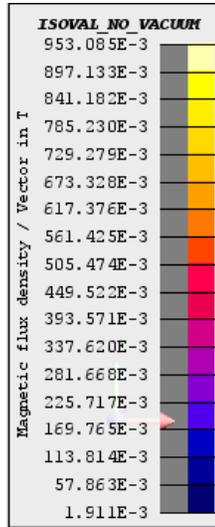
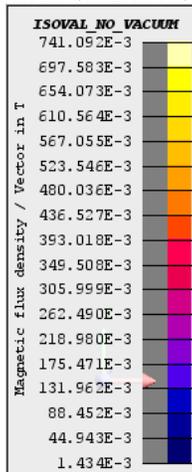


Figura 7. Densidad de flujo distribuido en el generador a los 0.5 s.

TABLA II  
MAGNITUD DE LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO



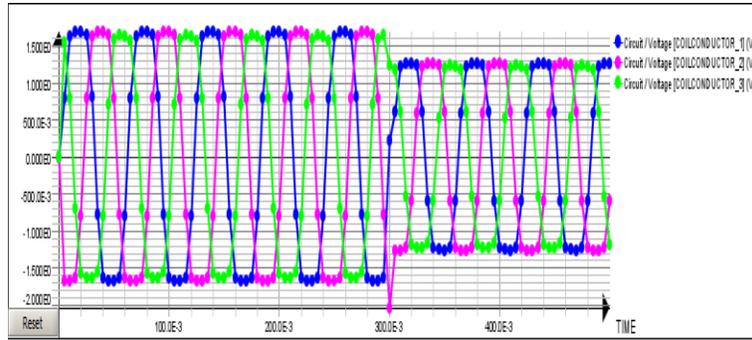


Figura 8. Voltajes en los conductores.

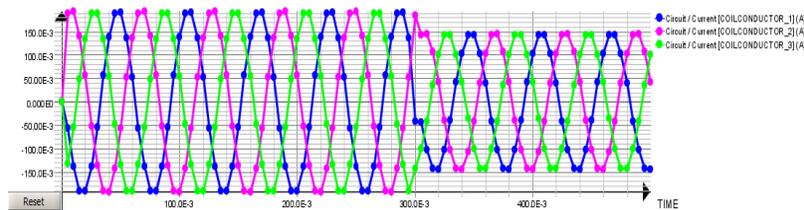


Figura 9. Corrientes en los conductores.

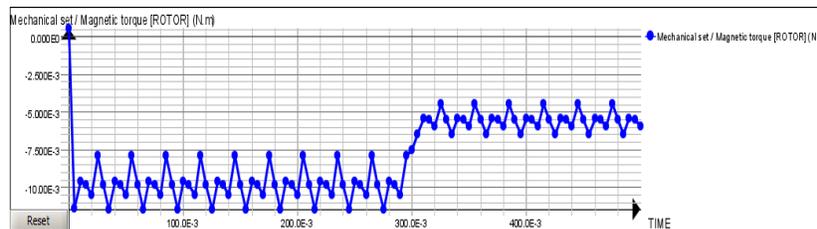


Figura 10. Par electromagnético.

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el análisis electromagnético de un generador síncrono de imanes permanentes en 3D, se simuló un caso de estudio en el cual, operando a velocidad constante los imanes permanentes en el rotor, estos sufrieron una disminución en el flujo remanente a partir de los 0.3 s de simulación. Se visualiza en los resultados obtenidos una disminución en las variables eléctricas en los conductores del estator del generador, esto debido a que el flujo magnético en la máquina no es el mismo, perjudicando las tensiones inducidas en los conductores y el par electromagnético, es por ello que es importante tener en consideración las protecciones de este tipo de generadores eléctricos ya sea ante una falla transitoria en una de las fases del estator o el incremento de temperatura, que perjudiquen las propiedades de los imanes, disminuyendo en este caso, su flujo remanente necesario para una eficiente conversión de la energía.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, CONACYT, CEMIE-Eólico, IIE, TNM y PRODEP, por el apoyo financiero brindado.

---

## REFERENCIAS

- [1] M. N. O. Sadiku, "A simple introduction to finite element analysis of electromagnetic problems," IEEE Trans. Education, vol. 32, no. 2, pp.85-93, 1989.
- [2] S. J. Salon, "Finite element analysis of electric machinery," IEEE Computer Applications in Power, vol. 3, no. 2, pp. 29-32, April 1990.
- [4] Flux 2D/3D manual de usuario. 2014.
- [5] K. Hameyer and R. Belmans, Numerical Modelling and Design of Electrical Machines and Devices, UK: WITPRESS, 2001.
- [6] T.F. Chan, *Member, IEEE*, Weimin Wang, and L.L. Lai, "Performance of an Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Gnerator From 3-D Finite-Element Analysis," IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 25, No. 3, September 2010.
- [7] J. P. A. Bastos and N. Sadowski, Magnetic Materials and 3D Finite Element Modeling. CRC Prees, Taylor & Francis Group, LLC. 2014.

# Adaptación de las Reglas de Ziegler-Nichols a los Parámetros de un Sistema de Primer Orden

J. A. González-Ramírez<sup>1</sup>, J. A. Rángel-Carrillo<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Torreón, C. Torreón-Matamoros S/N C.P. 27000 Ejido el Águila.

**Resumen**— La intención de este trabajo es mostrar cuales serían las modificaciones a las reglas de sintonización de controladores PID de Ziegler-Nichols, para lograr un desempeño similar al propuesto en su método pero, usando directamente los parámetros de la respuesta dinámica del sistema, aproximada por un modelo de primer orden más tiempo muerto basado en el criterio de dos puntos sobre la curva de reacción.

**Temas claves**— Controlador, PID, sintonización, modelo de primer orden, dinámica, curva de reacción.

**Abstract**— The intent of this paper is to show what Ziegler-Nichols PID controllers tuning rules would be, to achieve a similar performance that proposed in its method but, directly using the parameters of the dynamic response of the system, an approximate by a first order model plus downtime base on the two points criterion over the reaction curve.

**Keywords**— Controller, PID, tuning, first order model, dinámica, dynamic, reaction curve.

## I. INTRODUCCIÓN

John Ziegler y Nathaniel Nichols propusieron en 1942 uno de los primeros procedimientos para sintonizar un controlador PID, el Fulscope 100 de Taylor Instrument [1]-[3]. Para esto se basaron en ciertas características de la dinámica del sistema como son, la pendiente y el tiempo de respuesta, parámetros obtenidos a partir de una recta tangente al punto de inflexión sobre la curva o respuesta de la planta [1]. Desde entonces estas reglas han sido ampliamente utilizadas en la sintonización de controladores sobre procesos industriales de todo tipo. En la actualidad se sabe que determinar la ubicación del punto de inflexión sobre la curva de reacción del sistema es con frecuencia una tarea difícil, ya que es común que los procesos estén contaminados con algún tipo de ruido o perturbaciones que dificultan su cálculo. Es por eso que ahora se busca la identificación del sistema a partir de métodos matemáticos que proporcionen un modelo simplificado del proceso, permitiéndonos aplicar los conceptos tratados en control lineal. Es importante señalar que las reglas de Ziegler-Nichols no fueron diseñadas para operar con los parámetros propuestos por modelos que imitan la dinámica del sistema, por lo cual, es frecuente que el criterio de desempeño fijado usando estos datos, no se cumpla y los resultados obtenidos no sean los esperados [3]. El objetivo entonces, consiste en proponer un ajuste a estas reglas, de tal manera que sea posible usar los parámetros obtenidos de un modelo de primer orden, determinado a partir de dos puntos sobre la curva de reacción.

## II. DESARROLLO

Lo primero que se necesitó fue el modelo del sistema, el cual sería sometido al método de Ziegler-Nichols con el fin de obtener los parámetros necesarios para la sintonización del controlador, empleando sus reglas propuestas. El fragmento de código mostrado en la figura 1, generara N polinomios característicos de orden N, de forma aleatoria. Para el caso de estudio se generaron 20 modelos de plantas con orden de 2 a 5 y se determinaron los parámetros L y T, es decir, el tiempo de retardo del sistema y la pendiente de la recta tangente a la curva en el punto de inflexión.

Posteriormente se determinaron los parámetros  $\tau$  y  $t_m$  para cada función (constante de tiempo y retardo de transporte respectivamente) a partir de la aproximación de dichas funciones con modelos de primer orden más tiempo muerto de la forma mostrada en 1.

```

clear
clc

n = input('Ingresar el orden del sistema: ');

for i=1:n,
    p(i) = -10*rand(1);
end

ec = poly(p);
Fs = tf(ec(length(ec)),ec)

dt = 0.05;
t = 0:dt:10;
y = step(Fs,t);

figure(k)
plot(t,y,'r'), grid on
    
```

**Figura 1. Fragmento de programa para generar polinomios característicos de orden N de forma aleatoria.**

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-ms}}{\tau s + 1} \tag{1}$$

En la tabla I pueden observarse las diferencias en magnitud de estos parámetros. El fragmento de programa utilizado para encontrar L y T según el método propuesto por Ziegler y Nichols, se muestra en la figura 2. En la figura 3 se muestra una de las gráficas generadas por este fragmento de código. En la figura 4 se muestra el código usado para obtener el modelo de orden reducido y en la figura 5 observamos las gráficas de la planta y su modelo aproximado obtenido por el método de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la magnitud de la respuesta propuesto por Alfaro [5], de donde se determinó  $\tau$  y  $t_m$ . El siguiente paso consistió en probar el índice de desempeño de Ziegler-Nichols con base en los parámetros obtenidos. Para esto se usan las ecuaciones mostradas en 2 - 4 y se verifica que efectivamente existe un decaimiento o una relación de un cuarto de la magnitud del máximo sobre impulsó respecto al sobre impulsó en el siguiente periodo de la respuesta del sistema, operando bajo la acción del controlador PID [4], [6], [7].

**TABLA I  
PARÁMETROS OBTENIDOS POR LA RECTA TANGENTE Y UN MODELO DE PRIMER ORDEN.**

Recta tangente		Modelo de primer orden	
L	T	$t_m$	$\tau$
0	0	0	0
.0692	.7271	.1244	.4368
0	0	0	0
.0276	.2898	.0529	.1638
0	0	0	0
.0583	.9040	.1042	.6462
0	0	0	0
.0384	.4208	.0667	.2548
0	1	0	0
.0689	.0251	.1233	.7190
0	0	0	0
.1163	.5847	.1658	.3276
0	3	0	2
.2057	.2447	.2640	.8031
0	0	0	0
.0970	.4636	.1367	.2548
0	0	0	0

.1311	.6419	.1879	.3549
0	1	0	0
.1756	.0619	.2542	.6462
1	6	2	4
.8477	.5308	.5508	.4140
0	0	0	0
.2183	.7751	.2870	.4277
0	3	0	2
.4849	.7616	.6326	.9123
0	1	0	0
.3314	.2381	.4437	.6826
0	0	0	0
.2526	.8932	.3413	.4824
0	2	0	1
.6345	.1646	.8346	.2013
0	2	0	1
.5184	.1944	.6722	.3834
0	3	0	2
.7174	.5193	.9976	.1296
0	2	1	1
.7688	.8471	.0246	.5836
0	3	1	1
.7713	.1415	.0471	.7838

```

dt = 0.05;
t = 0:dt:10;
y = step(Fs,t);
dy = diff(y)/dt;

[m,p] = max(dy);

yi = y(p);
ti = t(p);
L = ti-(yi/m);
Ta = ((y(end)-yi)/m)+ti-L;

figure(1)
plot(t,y,'b',
      [0 L L+Ta t(end)],[0 0 y(end) y(end)],'r',
      ti,yi,'ok')
grid on, axis([0 6*Ta 0 1.2*y(end)])

title('Respuesta al escalon')
ylabel('Amplitud')
xlabel('tiempo (s)')
legend('Exacta','Aproximacion Lineal')
    
```

Figura 2. Fragmento de código para determinar L y T a partir de la recta tangente.

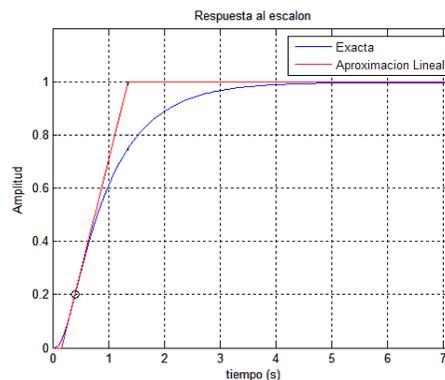


Figura 3. Modelo de Ziegler-Nichols para determinar los parámetros de tiempo de respuesta y pendiente de la recta tangente (L y T).

```

t = 0:0.01:10;
y = step(num,den,t);
plot(t,y,'b'), grid on, hold on

t25 = input('t25 = ');
t75 = input('t75 = ');

K = 1;
T = 0.9101*(t75-t25);
tm = 1.2617*t25-0.2617*t75;

num = [0 K/T];
den = [1 1/T];

sys = tf(num,den);
sys.outputd = tm

y = step(sys,t);
plot(t,y,'r')
    
```

Figura 4. Fragmento de código para determinar  $\tau$  y  $t_m$  a partir de un modelo de primer orden.

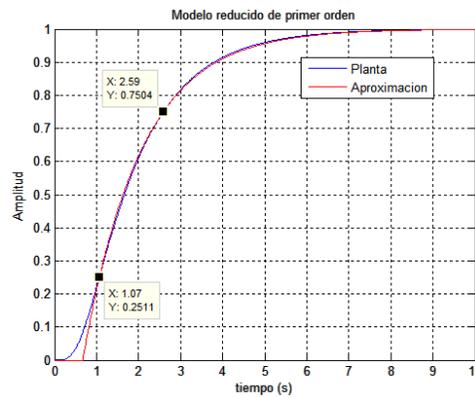


Figura 5. Grafico del modelo reducido de primer orden a partir de dos puntos sobre la curva de reacción del proceso.

$$K_p = 1.2 \cdot \frac{T}{K \cdot L} \tag{2}$$

$$T_i = 2.0 \cdot L \tag{3}$$

$$T_d = 0.5 \cdot L \tag{4}$$

Una vez que se ha determinado el modelo de la planta y se han calculado los parámetros para sintonizar el PID, se procede a introducir la función de transferencia  $G(s)$  al lazo cerrado de control, esta es conectada en cascada con el controlador, tal como se muestra en la figura 6.

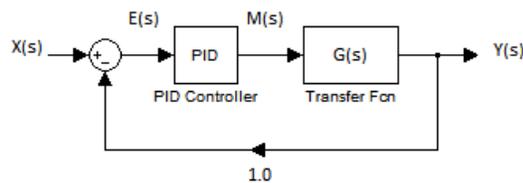
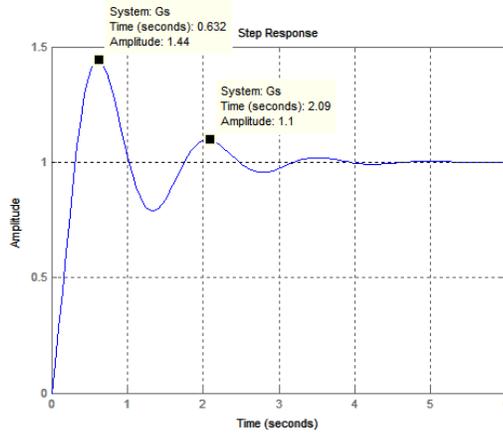


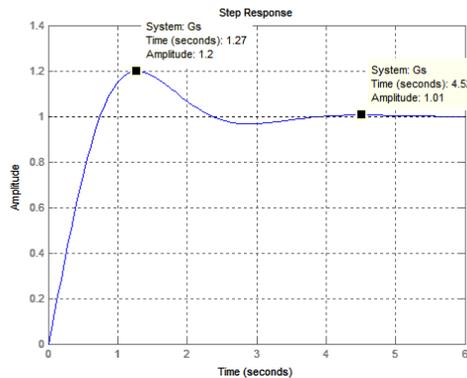
Figura 6. Lazo cerrado de control para el modelo de prueba sometido a la acción del controlador PID.

En las figuras 7 y 8 observamos el resultado de la acción del controlador PID sobre la planta usando como parámetros  $L$  y  $T$  obtenidos a partir de la recta tangente al punto de inflexión, así como  $\tau$  y  $t_m$  obtenidos de un modelo de orden reducido del mismo sistema. Es evidente que la respuesta con los datos obtenidos del modelo reducido, ingresados directamente como parámetros del PID usando la regla de Ziegler-

Nichols, no cumplen con el índice de desempeño fijado, y por tanto la respuesta obtenida difiere considerablemente del resultado esperado. Surge entonces la pregunta, ¿Qué modificaciones a las reglas de Ziegler-Nichols tendrían que realizarse para poder ingresar de forma directa los parámetros obtenidos a partir de un modelo de primer orden, manteniendo el criterio de desempeño?



**Figura 7. Respuesta del sistema retroalimentado bajo la acción del controlador PID según el criterio de Ziegler-Nichols.**



**Figura 8. Respuesta del sistema retroalimentado bajo la acción del controlador PID usando directamente los parámetros de un modelo de orden reducido.**

*A. Diseño*

Con los datos de la muestra de 20 plantas generadas en forma aleatoria, se procede a ordenar tal como se mostró en la tabla I. Usando un algoritmo de ajuste de curvas, procedemos a determinar la regla que nos permitirá usar los parámetros del modelo reducido, para conseguir un resultado similar al obtenido mediante la aplicación del método de Ziegler-Nichols. En las figuras 9 y 10 se muestran las gráficas de los datos recolectados, además se han considerado las identidades mostradas en 5 y 6.

$$L = f(t_m) \tag{5}$$

$$T = f(\tau) \tag{6}$$

A partir de la aplicación del algoritmo de mínimos cuadrados se construyen el par de ecuaciones mostradas en 7 y 8, se ha optado por una aproximación lineal con el fin de mantener un criterio de cómputo simple.

$$f(t_m) = 0.7345 \cdot t_m - 0.002031 \tag{7}$$

$$f(\tau) = 1.3860 \cdot \tau + 0.1858 \tag{8}$$

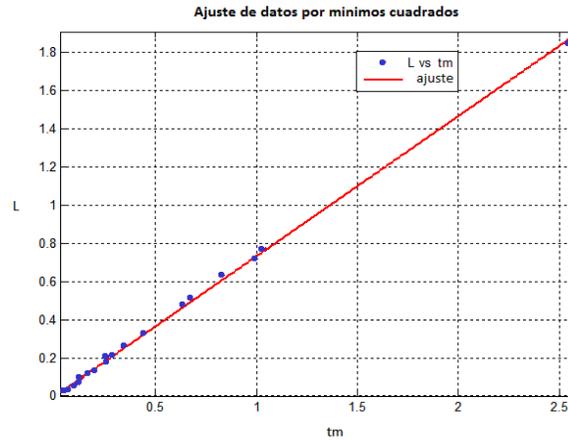


Figura 9. Ajuste lineal para el grupo de datos de tiempo de respuesta contra retardo de transporte. L vs.  $t_m$ .

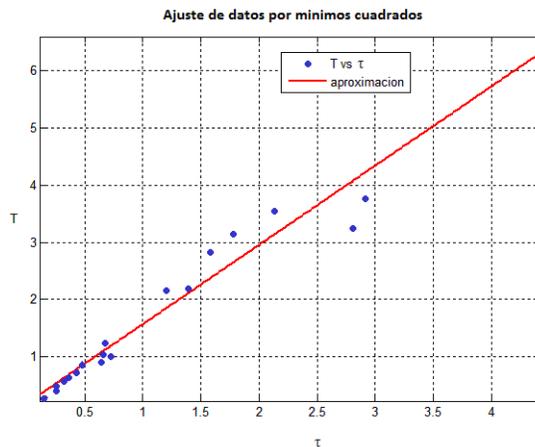


Figura 10. Ajuste lineal para el grupo de datos pendiente contra constante de tiempo modelo reducido. T vs.  $\tau$ .

Finalmente se combinan las ecuaciones 7 y 8 con las ecuaciones de Ziegler-Nichols mostradas en 2, 3 y 4, lo cual da como resultado las ecuaciones modificadas mostradas en 9, 10 y 11. Estas ecuaciones formaran las reglas de sintonización del control PID que se usaran a partir de los parámetros que se obtienen de un modelo de primer orden mas tiempo muerto.

$$K_p = \frac{1.6632 \cdot \tau + 0.2229}{K \cdot (0.7345 \cdot t_m - 0.0020)} \tag{9}$$

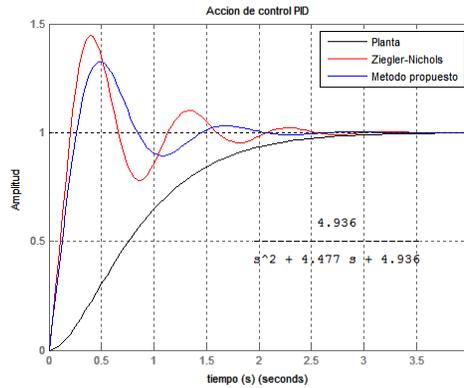
$$T_i = 1.4690 \cdot t_m - 0.0040 \tag{10}$$

$$T_d = 0.3672 \cdot t_m - 0.0010 \tag{11}$$

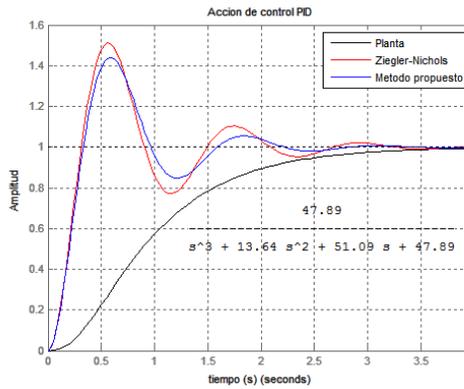
B. Resultados

Observando los resultados en las gráficas de la figura 11, podemos apreciar que el índice de desempeño obtenido se aproxima satisfactoriamente al que se consigue mediante el criterio de Ziegler-

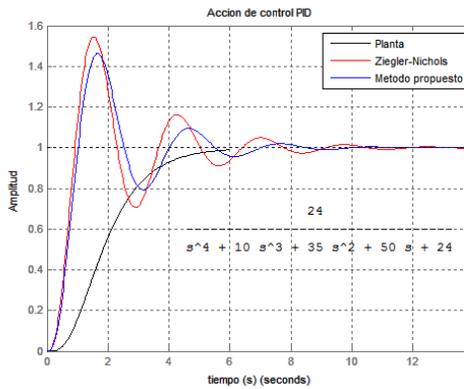
Nichols. Para la prueba de las ecuaciones obtenidas se propusieron 4 modelos con órdenes 2, 3, 4 y 5. Dichos modelos fueron generados nuevamente de forma aleatoria, de tal manera que no formaron parte del conjunto inicial de datos.



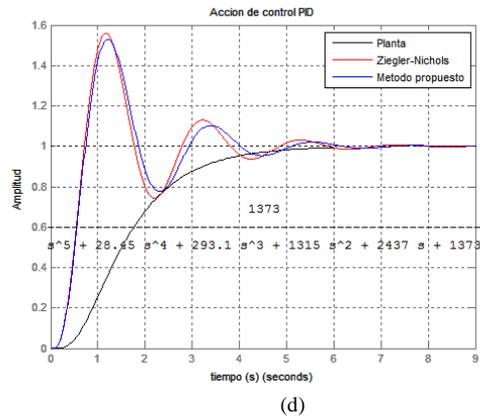
(a)



(b)



(c)



**Figura 11. Grupo de sistemas de prueba para validar las ecuaciones modificadas. Sistemas de orden 2, 3, 4 y 5 respectivamente mostrados en (a), (b), (c) y (d).**

### III. CONCLUSIONES

De forma general podemos concluir que el criterio de desempeño buscado es satisfactorio usando las ecuaciones modificadas. Para el caso de modelos de segundo orden, como puede apreciarse en la figura 11(a), la respuesta esperada difiere de la respuesta usando el método de Ziegler-Nichols, en todos los casos para sistemas de orden 2, se observó un sobreimpulso de menor magnitud y un tiempo de establecimiento ligeramente más rápido. A medida que el orden del sistema aumenta, la respuesta mostrada usando las ecuaciones modificadas, se aproxima notablemente a la respuesta usando Ziegler-Nichols. A futuro se pretende aumentar el orden de los polinomios generados por el método de mínimos cuadrados a orden 2, e investigar si vale la pena en términos de precisión aumentar la complejidad de las ecuaciones de sintonización. Otra opción interesante sería la de buscar algún modelo de red neuronal artificial y hacer un análisis comparativo entre métodos o bien, considerar un modelo aproximado de la planta de orden más alto.

### REFERENCIAS

1. Ziegler, J. G. & Nichols, N. B, "Optimum Settings for Automatic Controllers", ASME Transactions, Vol. 64, Pag. 759-768, 1942.
2. VanDoren, V. J, "Ziegler & Nichols Methods Facilitate Loop Tuning", Control Engineering, August 1998.
3. Bickley, G, "Modern Control Started with Ziegler y Nichols Tuning", Control Engineering, 1990.
4. Alfaro, V. M, "Métodos de Sintonización de Controladores PID que Operan como Reguladores", Ingeniería, Vol. 12, Pag. 21-36, 2002.
5. Alfaro, V. M, "Identificación de Modelos de Orden Reducido a Partir de la Curva de Reacción del Proceso", Ciencia y Tecnología Vol. 24, Pag. 197-216, 2006.
6. Åström, K. J. & Hägglund, T, "Control PID Avanzado", Pearson Prentice Hall, España, 2009.
7. Shaw, J. A, "The PID Control Algorithm, how is work, how to tune it and how to use it", Process Control Solution, Ed. 2, 2003.

# Optimización del proceso metalúrgico de aleación Pb-Sb mediante el método Taguchi

J.F. Magallanes-Armendáriz<sup>1</sup>, R.A. Herrera-García<sup>2</sup>, G. García-Legaspi<sup>1</sup>, L.I. Cháirez-Acosta<sup>1</sup>, M.P. Serrano-Ruiz<sup>2</sup>, T.E. Rascón-Escajeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Torreón, BCarretera Antigua Torreón San Pedro Km 7.5 Torreón, Coahuila. Tel: (871) 750-71-98 / (871) 750-71-99

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Torreón. Carretera Torreón-Matamoros Km10, El Águila, 27400 Torreón, Coahuila. Tel: (871) 7297400

**Resumen**—Se presentan los resultados que se obtuvieron al aplicar un Diseño de Experimentos por el método Taguchi en el proceso de afinación para la producción de la aleación de plomo (Pb) y antimonio (Sb) a nivel laboratorio. El objetivo de este diseño fue obtener la mayor reducción del contenido de arsénico en la aleación para definir los niveles óptimos a los que se deben operar los factores de consumo que intervienen en el proceso de producción, como son la cantidad de sosa cáustica utilizada, el tiempo de dosificación de sosa y el tiempo de agitación. Se determinaron los niveles óptimos de los factores a operar: consumo de sosa (330 gramos), tiempo de dosificación (66 minutos) y tiempo de agitación (120 minutos), lo que representa un ahorro en el consumo de sosa y una reducción en los tiempos de agitación y dosificación.

**Temas claves**— Arsénico, Diseño de Experimentos, Método de Taguchi, Plomo, Sosa Cáustica.

**Abstract**— The following results were obtained after applying an experimental design based on the Taguchi method, in the tuning process for the lead (Pb) - antimony (Sb) alloy production at lab level. The objective was to obtain the highest reduction of arsenic in the Pb-Sb alloy, and determine the optimal levels that the consumption factors involved in the production process should operate with; such as the amount of caustic soda used, caustic soda dosing and stirring time. After the experimental design, optimal levels of these factors were determined as follows: soda consumption (330 grams), soda dosing time (66 minutes) and soda stirring time (120 minutes), representing savings in soda consumption and a reduction in dosing and stirring time.

**Keywords** – arsenic, experimental design, Taguchi method, lead, caustic soda.

## I. INTRODUCCIÓN

Muchas estrategias de optimización y de mejora continua, y en particular el diseño de experimentos, embonan en el llamado *ciclo de Deming*, el cual representa una estrategia a seguir para mejorar continuamente cada producto o proceso, y consiste en los cuatro pasos: *planear, hacer, verificar o estudiar y actuar* [1].

El Diseño de Experimentos es el proceso de plantear, ejecutar y analizar el experimento de manera que los datos apropiados sean recolectados, tengan validez estadística y poder obtener conclusiones válidas y útiles y se puede aplicar a problemas o situaciones en las que se quiere investigar y/o probar conjeturas en las que se comparan dos o más situaciones para las causas o factores involucrados [2].

El saber diseño de experimentos y otras técnicas estadísticas, en combinación con conocimientos del proceso, sitúan al responsable del mismo como un observador perceptivo y proactivo que es capaz de proponer mejoras y de observar algo interesante (oportunidades de mejora) en el proceso y en los datos donde otra persona no ve nada [1]. Al respecto diversos estudios se han realizado aplicando estas técnicas en la industria metalúrgica [3]-[5] y en diferentes tipos de empresas [6]-[9].

La calidad de un producto debe ser medida en términos de abatir al mínimo las pérdidas que ese producto le trae a la sociedad, desde que inicia su fabricación hasta que concluye su ciclo de vida; estas

pérdidas sociales se traducen en pérdidas de la empresa en el mediano y largo plazos. El método Taguchi de parámetros tiene como meta lograr productos y procesos robustos frente a las causas de la variabilidad, que hacen que las características funcionales de los productos se desvíen de sus valores óptimos provocando costos de calidad [10].

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. Algunos problemas típicos que pueden resolverse con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes:

1. Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
2. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
3. Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
4. Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
5. Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
6. Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
7. Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales. [11].

En el caso de la industria metalúrgica el proceso de producción tradicional de la aleación de plomo (Pb) y antimonio (Sb) comprende las siguientes etapas:

**Fusión:** El Pb llega en barras y es cargado a una paila para ser fundido a una temperatura de 450-500 °C, el nivel de llenado de la paila debe quedar entre 10 y 15 cm de vacío, una vez alcanzado el nivel se introduce un agitador con campana y se agita el contenido por un tiempo de 20 minutos. Transcurrido este tiempo se retira el agitador y se procede a retirar las impurezas o residuos de fierro formado.

**Afinación:** En esta etapa se procede a colocar de nueva cuenta el agitador y se comienza la dosificación de la sosa cáustica (660 g) en un tiempo de 100 minutos a la paila, después que se termina de adicionar la sosa se deja agitando por 180 minutos para que esta reaccione, una vez transcurrido este tiempo se procede a retirar de nueva cuenta las impurezas y residuos del cáustico generado. Este proceso se repite hasta lograr un contenido de arsénico del 1%.

**Cristalización:** Una vez terminado el proceso de afinación y obtener el contenido deseado de arsénico (1%) se procede a bajar la temperatura a 350 °C, esto para que se generen cristales de antimonio y estos sean retirados, una vez retirados los cristales se procede a subir la temperatura para iniciar el moldeo.

**Moldeo:** Teniendo la paila una temperatura de 400-500 °C se procede a colocar la bomba y tubería para iniciar la etapa final de moldeo [12]-[13].

El método Taguchi establece tres etapas para el desarrollo del experimento:

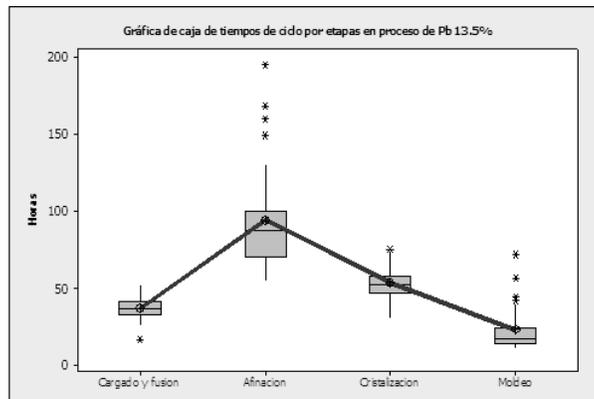
1. Diseño del sistema.
2. Diseño de los factores.
3. Diseño de los niveles.

Este trabajo muestra la aplicación del diseño de experimentos por el método Taguchi para establecer los niveles óptimos de operación de los factores a considerar en un proceso metalúrgico de producción, en este caso de aleación.

El objetivo del estudio fue establecer los niveles óptimos a los que se deben operar los factores de consumo de sosa cáustica en gramos, el tiempo de dosificación de sosa en minutos y el tiempo de agitación en minutos para reducir los contenidos de arsénico.

## II. METODOLOGÍA

De acuerdo a la información histórica de operación, experiencia y conocimiento en el proceso del área operativa y a los resultados de un estudio realizado por el personal del área de Ingeniería Industrial de los tiempos de ciclo por etapas en la producción de la aleación de plomo-antimonio (Pb-Sb), la etapa de afinación es la que mayor tiempo y variación tiene (Figura 1). El objetivo de esta etapa es eliminar o reducir al mínimo el contenido de arsénico (As) y las principales actividades dentro de ésta son la cantidad de sosa agregada, el tiempo de dosificación de sosa y el tiempo de agitación para que reaccione la sosa y elimine o arrastre el As.



**Figura 1. Tiempos de ciclo por etapas de la aleación Pb-Sb (estudio Ingeniería Industrial)**

Los factores que impactan fuertemente en el proceso de producción, además de la factibilidad de ser controlados en esta etapa son: el consumo de sosa por la alta cantidad que es utilizada, tiempo de adición de sosa y tiempo de agitación. No existe alguna evidencia que indique que los niveles a los que actualmente se operan estos factores (Tabla I) sean los óptimos o sean los que impliquen un mejor aprovechamiento de los recursos, por lo tanto se decidió enfocarse en estos tres factores, así como tomar el contenido de As como trazador pues este elemento al final del proceso de agitación debe estar cercano a cero, en el caso del proceso actual de aleación el contenido de arsénico fluctúa alrededor de un 2%.

**TABLA I  
FACTORES Y NIVELES ACTUALES DE OPERACIÓN.**

Factores	Niveles
Sosa Añadida (gr.)	660
Tiempo de Agitación (min.)	180
Tiempo de Dosificación (min.)	100

## III. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Para establecer el diseño de los factores y sus respectivos niveles se tomaron en cuenta los niveles actuales de operación mostrados en la Tabla I, de la información histórica de operación se observaron otros niveles a los que se llegó a operar y se obtuvieron bajos consumos de sosa así como en tiempos de agitación y dosificación. Estos niveles de operación siempre fueron realizados a prueba y error sin llegar en ningún momento a oficializar que fueran mejores a los que se opera actualmente, por lo cual basados en esas pruebas realizadas y con el conocimiento y experiencia en el proceso se establecieron los niveles para cada factor, según se muestra en la Tabla II.

**TABLA II  
DISEÑO DE FACTORES Y NIVELES**

Factores	Código	Niveles		
Sosa Añadida (gr.)	A	330	500	660
Tiempo de Agitación (min.)	B	60	120	180
Tiempo de Dosificación (min.)	C	66	100	200

## IV. APLICACIÓN DEL METODO

Con los arreglos ortogonales se pueden estudiar muchas variables en pocos experimentos lo cual es factible cuando el realizar un experimento es demasiado costoso. Taguchi [10] definió uno de los arreglos ortogonales como L<sub>9</sub> (Tabla III) este arreglo permite estudiar factores con tres niveles (9 corridas en un diseño de hasta 4 factores a tres niveles); dado que este diseño experimental satisface el diseño establecido en la Tabla II, se consideró apropiado para este caso.

En este estudio se tuvieron tres factores, por lo cual según lo que se muestra en la Tabla III es necesario tomar solo las columnas 1, 2 y 3 para el desarrollo del experimento, adicional a esto se decidió realizar solo una réplica esto debido al costo y disponibilidad de materia prima (Pb), consumo de recursos y los tiempos previos en que se incurre para llevar a cabo todo el proceso de Afinación. Esta decisión fue por consenso del área operativa y apoyada por la Gerencia.

TABLA III  
ARREGLO ORTOGONAL L<sub>9</sub>

Arreglo L <sub>9</sub>				
No. Corrida	No. Columna			
	1			
2				2
3				3
4				3
5				1
6				2
7				3
8				3
9				1
2 factores: columnas 1, 2.				
3 factores: columnas 1, 2, 3.				
4 factores: columnas 1, 2, 3,				

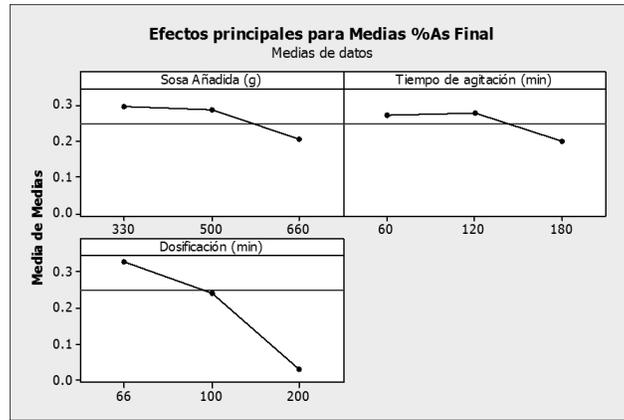
Los resultados de la experimentación a nivel laboratorio bajo el diseño L<sub>9</sub> se muestran en la Tabla IV. En ella se presentan los resultados de cada una de las corridas tomando como variable de respuesta el porcentaje de reducción de As. Cabe mencionar que la realización de estas corridas fue de manera aleatoria aun y cuando Taguchi no enfatiza la necesidad de correr el experimento de esta forma.

TABLA IV  
RESULTADO DE LOS ARREGLOS ORTOGONALES L<sub>9</sub>

No. Corrida				% Reducción de As
1				0.000
2				0.285
3				0.225
4				0.333
5				0.255
6				0.000
7				0.365
8				0.000
9				0.030

Con los resultados de la Tabla IV se puede determinar que las corridas 7 (A1 B3 C3) y la corrida 4 (A3, B2, C1) son las que presentan una mayor reducción en el contenido de arsénico en el proceso de afinación con valores de 0.365 y 0.333, respectivamente; sin embargo con la finalidad de corroborar estos resultados se realizó un análisis estadístico con el software MINITAB, el cual muestra otra manera de identificar los mejores niveles de operación, es decir, indica en base a la respuesta de las medias, cuáles niveles son los óptimos de cada factor, adicional a esto ayuda a identificar de mejor manera cuáles factores tienen mayor influencia, pues muestra la clasificación de cada uno de estos.

En la Figura 2, se puede observar que el factor que tiene mayor influencia sobre la respuesta en la disminución del contenido de arsénico es el tiempo de dosificación, seguido de la cantidad de sosa añadida y el tiempo de agitación. La Tabla V muestra los resultados del análisis estadístico del MINITAB para cada factor y nivel.



**Figura 2. Efectos principales para medias de medias para contenido de arsénico final.**

TABLA V  
TABLA DE RESPUESTAS PARA MEDIAS OBTENIDA CON EL SOFTWARE MINITAB.

Nivel	Sosa Añadida (g)	Tiempo de agitación (min)	Tiempo de Dosificación (min)
1	0.29500	0.27000	0.32667
2	0.28500	0.27750	0.24000
3	0.20500	0.19750	0.03000
Delta	0.09000	0.08000	0.29667
Clasificar	2	3	1

De acuerdo a lo anterior se concluye que los mejores niveles de operación son A1, B2 y C1, los cuales muestran las mejores relaciones para obtener una mayor reducción de As.

## V. CONCLUSIONES

El uso de esta metodología, mostró más efectividad que realizar pruebas de los diferentes factores y seleccionar al azar sus niveles, como se mencionó anteriormente se realizaban experimentos a prueba y error sin saber si se lograba obtener algún beneficio.

El tratar de buscar algún beneficio, ya sea en el proceso o económico realizando pruebas al azar sin ningún fundamento, ocasiona un alto desperdicio de recursos materiales, humanos y económicos.

Esta metodología es considerada como una herramienta de mejora la cual debe ser utilizada con más frecuencia pues brinda más altos niveles de entendimiento de los procesos en donde se aplica y por ende alcanzar más altos rendimientos de éstos.

Con los resultados obtenidos se logró un mejoramiento del proceso al fijar los niveles óptimos de operación de los factores, además fue posible observar lo que ocurre con otros niveles los cuales no logran el objetivo de maximizar la reducción de As.

Además de establecer los niveles óptimos de cada factor se logró disminuir el consumo de sosa en un 50%, el tiempo de agitación en 60 minutos, así como el tiempo de dosificación en 34 minutos, estas

disminuciones son comparándolas con los consumos y tiempos mencionados en la etapa de afinación del proceso.

Se recomienda seguir utilizando esta metodología en otros procesos, con otras problemáticas y en otras empresas y así se adopte sin importar el tamaño y tipo de la empresa.

## REFERENCIAS

- [1] Gutiérrez P., H y De la Vara S., R (2008). "Análisis y Diseño de Experimentos", 2ª edición, Mc Graw Hill, (México) 322 p.
- [2] Montgomery D., C. (2004) "Diseño y Análisis de Experimentos". Wiley (Estados Unidos).
- [3] Barros Ch., D.J.; Valencia O., G. y Vargas H., L. (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. *Scientia et Technica* Año XIX, Vol. 19, No. 2. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8949/5791>
- [4] Caicedo S., N. y Pons M., R. (2011). "Optimización del Proceso de fabricación de Alambres de Aleación 6201 T-81". *Revista INGE CUC* Vol. 7 No. 1 pp 207-216. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4869031>
- [5] Meseguer V., J. L., Martínez C., E. y Portolés, A. (2014). "Optimización de las uniones soldadas en la aleación de aluminio 7010-t76 aplicando el método de taguchi." In: XVIII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos, Alcañiz, España. pp 890-902. Disponible en: [http://aeipro.com/index.php/es/repository/congresos/congresos\\_alcaniz2014/congresos\\_alcaniz2014\\_03/OPTIMIZACION%20DE-LAS-UNIONES-SOLDADAS-EN-LA-ALEACION%20DE-ALUMINIO-7010-T76-APLICANDO-EL-METODO-DE-TAGUCHI/CIDIP2014\\_0890\\_0902.pdf](http://aeipro.com/index.php/es/repository/congresos/congresos_alcaniz2014/congresos_alcaniz2014_03/OPTIMIZACION%20DE-LAS-UNIONES-SOLDADAS-EN-LA-ALEACION%20DE-ALUMINIO-7010-T76-APLICANDO-EL-METODO-DE-TAGUCHI/CIDIP2014_0890_0902.pdf)
- [6] Bernal G., S. y Trejo V. R. (2001). "Caracterización de un Proceso Químico Mediante la Técnica de Taguchi". *Conciencia Tecnológica* 16 pp. 29-32. Disponible en: [www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401706](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401706)
- [7] Cruz R., E.A.; Restrepo C., J.E. y Medina V., P.D. (2008). Comparación de las metodologías clásica y Taguchi del diseño experimental en un ingenio azucarero del valle del cauca. *Revista Tecnura* 12 (23) :46-59. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020605006>
- [8] Hernández R., M.A.; Santillán G., S.; Sabelkin, V. y López P., M. (2003). Caso de aplicación del Método Taguchi en el diseño de herramientas de muestreo de hidrocarburos. *Ingeniería Mecánica* vol 1 pp 91-101. Disponible en: [http://revistasomim.net/revistas/1\\_3/art3.pdf](http://revistasomim.net/revistas/1_3/art3.pdf)
- [9] Salazar F., M. H.; Perdomo O., O. E. y Soto F., J. A. (1993). Diseño estadístico de experimento aplicado a refractarios Técnica Taguchi: dos ejemplos sencillos. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, Vol. 12, N° 1 Y 2, pp 85-88. Disponible en: [www.rlmm.org/archives.php?f=.../RLMM%20Art-92V12N1-p85.pdf](http://www.rlmm.org/archives.php?f=.../RLMM%20Art-92V12N1-p85.pdf)
- [10] Taguchi, G. (2005). *Taguchis Quality Engineering Handbook*. New York. Wiley. 1662 p.
- [11] Kavanaugh C.F. (2002). "Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos". *Conciencia Tecnológica* 19. 5 p. J. J. Barrera S. (Trad.). Disponible en : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401906>
- [12] Kalpakjian S. y Schmid S.R. (2002). *Manufactura. Ingeniería y Tecnología*. (4ta ed.) México, D.F. Prentice Hall. Pearson Educación pp: 102-150, 261-278.
- [13] Morral F.R., Jimeno E., y Molera P. (2004). *Metalurgia General* Tomo II. Barcelona. Reverte. 1442 p.

# Modelado de cables de potencia para estudio de inducción electromagnética en pantalla electrostática

E. Guerrero-Arriaga<sup>1</sup>, F.S. Sellschopp-Sánchez<sup>1</sup>, R. Loera-Palomo<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Czda, Cuauhtémoc S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

**Resumen**— En el presente artículo se realiza el modelo de cables de potencia para diversos fenómenos dependientes de la frecuencia. El modelo incluye la representación de los cables subterráneos y submarinos que componen la red eléctrica y la preparación de los datos de entrada al programa computacional PSCAD/EMTDC para estudiar el comportamiento transitorio. Además se aborda la importancia que se tiene sobre la calidad de la energía en los sistemas eléctricos. Finalmente se realiza una simulación sobre un circuito subterráneo para observar el efecto que tiene una sobretensión sobre la pantalla electrostática del cable.

**Temas claves**—Cables de potencia, Calidad de la energía, PSCAD/EMTDC, Sobretensión.

**Abstract**— in this paper a power cable modeling considering different frequency dependent phenomena is presented. The modeling includes undersea and underground cables from the electric system and the input data preparation to the PSCAD/EMTDC, in order to analyze the transient behavior. Further, the importance power quality in electrical systems is discussed. Finally, a simulation of an underground cable system is done to observe the effect of overvoltage on the sheath cable.

**Keywords**— Power cables, Energy quality, PSCAD/EMTDC, Overvoltage.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cables subterráneos y submarinos de tipo coaxial se componen alternadamente por capas de materiales conductores y dieléctricos. La combinación de estos elementos hace que los parámetros electromagnéticos del cable sean altamente dependientes de la frecuencia. Por lo cual, se debe realizar un proceso diferente al de líneas aéreas, aunque basados en los mismos fundamentos eléctricos, para determinar los parámetros electromagnéticos que conforman al sistema eléctrico, los cuales son mostrados en el presente artículo.

Actualmente existe una gran tendencia a realizar instalaciones subterráneas, por lo cual es importante realizar diferentes estudios de los fenómenos eléctricos a los cuales pueden estar sometidos, ya que cualquier daño provocado en alguna cubierta de un cable, podría ocasionar el mal funcionamiento del cable o podría ocasionar el corte de suministro eléctrico al usuario. Estos estudios deben ser llevados de la mano con la calidad de la energía eléctrica, debido a que un sistema operando en condiciones óptimas, prolonga su vida útil y evita posibles daños que limiten la operación del circuito.

Una razón más para poner interés sobre la calidad de la energía es la economía. Existe un impacto económico tanto en la empresa suministradora de energía como en los usuarios. La calidad de la energía puede tener un impacto económico directo en algunos usuarios industriales. Se ha tenido un gran énfasis en una industria revitalizante con más automatización y equipos más modernos. Esto usualmente significa control electrónico, equipos energéticamente eficientes que a menudo son más sensibles a las variaciones en el suministro de tensión que sus antecesores electromecánicos. Por lo tanto, los usuarios industriales están conscientes de la importancia de tener menos disturbios en el sistema de potencia. Además, se tiene una gran cantidad de dinero asociado con los problemas de calidad de energía eléctrica.

## II. MODELADO DE CABLE

### A. Comportamiento transitorio

Las líneas y cables contienen parámetros distribuidos, es decir, se dividen en pequeñas secciones con cierto valor de impedancia y admitancia. Después de transcurrir  $\Delta t$  tiempo, cierta longitud  $\Delta x$  ha sido cargada. Si la capacitancia  $C$  está dada en  $F/m$ , una carga  $Q = CV\Delta x$  habrá sido impartida en la línea. Como la corriente es la variación de la carga con respecto al tiempo tenemos

$$I = CV \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde  $\Delta x/\Delta t$  es la razón a la cual el disturbio se propaga por la línea o el cable, es decir,  $I = CVv$ .

Una fuerza electromotriz, f.e.m., igual a la razón de cambio del flujo,  $\lambda$ , se induce entre los conductores y el frente de onda, por lo tanto:

$$\lambda = LI\Delta x = L CVv \Delta x \quad (2)$$

$$f. e. m. = \frac{d\lambda}{dt} = L CVv \frac{\Delta x}{\Delta t} = LCVv^2 \quad (3)$$

La ecuación (3) se puede reescribir como  $V = LCVv^2$ , para poder obtener (4) que es la velocidad a la cual se propaga la onda viajera a través de la línea o cable:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Por lo cual dependerá de la geometría y las propiedades de los materiales electromagnéticos de la línea o el cable.

También es importante calcular el valor de la impedancia característica del sistema,  $Z_0$  debido a que determina que tanto tendrá variación de amplitud de la onda al atravesar por esa sección, partiendo de (1) obtenemos [1]:

$$\frac{v}{I} = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z_0 \quad (5)$$

El comportamiento de ondas viajeras puede ser descritas por las ecuaciones de onda:

$$-\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = LC \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \quad (6)$$

$$-\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = LC \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \quad (7)$$

La ecuación (6) describe la tensión y (7) la corriente, para determinada longitud de la línea. Estas ecuaciones surgen a partir de un análisis matemático de los parámetros distribuidos del sistema con fundamento en las leyes de Kirchhoff. Luego se determina la solución general para la tensión, dada por la ecuación de D'Alambert:

$$U = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \quad (8)$$

Esta ecuación establece que habrá una función que responderá en dirección positiva de la formación de onda, y otra en dirección negativa,  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente.

Considerando que la corriente está dada por  $I = (-U_1 + U_2)/Z_0$ , tendremos como solución general de la corriente:

$$I = -\frac{1}{Z_0} f_1(x - vt) + \frac{1}{Z_0} f_2(x + vt) \quad (9)$$

### B. Representación del cable

La representación de cables de potencia para simulaciones requiere del cálculo de parámetros del cable a partir de ciertos datos, los cuales son [2]:

- Geométricos
  - Ubicación de cada conductor (coordenadas x-y).
  - Radio interno y externo de cada cubierta del cable.
  - Profundidad del sistema de cables.
- Propiedades de los materiales
  - Resistividad,  $\rho$ , y permeabilidad relativa  $\mu_r$ , de todos los materiales conductores ( $\mu_r$  es la unidad para todos los materiales magnéticos).
  - Resistividad y permeabilidad relativa del medio que lo rodea,  $\rho, \mu$ .
  - Permittividad relativa de cada material aislante,  $\epsilon_r$ .

A partir de estas constantes se realiza el cálculo de las matrices de impedancia y admitancia, que a diferencia de las líneas aéreas, se realiza por medio de las ecuaciones de Pollaczek, las cuales nos proporcionan las matrices de manera Cartesiana de la siguiente forma:

$$Z_{ij} = R_{ij} + j\omega X_{ij} \tag{10}$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + j\omega B_{ij} \tag{11}$$

Z es el valor de impedancia, R la resistencia, X la reactancia, Y la admitancia, G la conductancia y B la susceptancia.

C. Cálculo de matriz de impedancia.

La matriz de impedancia serie de un cable parte de la relación de impedancias de un conductor hueco, para luego reordenarse en una matriz de impedancia que represente las diferentes partes conductoras del cable.

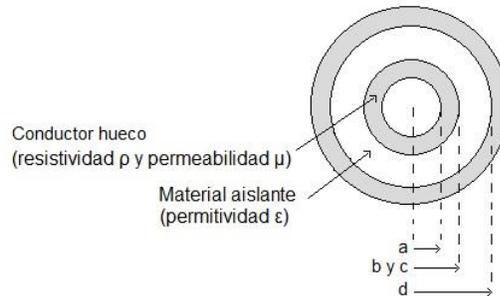


Figura 1. Diámetros de un conductor hueco y material aislante.

Se realiza el cálculo de la impedancia interna del material conductor  $Z_{aa}$  y la parte externa  $Z_{bb}$ .

$$Z_{aa} = \frac{\rho m}{2\pi a} \frac{I_0(ma) K_1(mb) + K_0(ma) I_1(mb)}{I_1(mb) K_1(ma) - K_1(mb) I_1(ma)} \tag{12}$$

$$Z_{bb} = \frac{\rho m}{2\pi b} \frac{I_0(mb) K_1(ma) + K_0(mb) I_1(ma)}{I_1(mb) K_1(ma) - K_1(mb) I_1(ma)} \tag{13}$$

Donde  $m = \sqrt{j\omega\mu/\rho}$

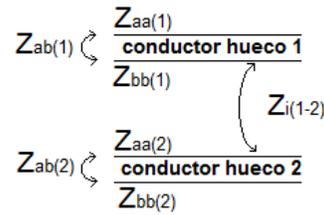
Siendo  $\rho$  y  $\mu$  la resistividad y la permeabilidad del material conductor, respectivamente;  $I_n$  y  $K_n$ , son las funciones modificadas de Bessel de orden  $n$ , del primero y segundo grado, respectivamente;  $a$  y  $b$  son los radios del interno y externo del conductor hueco, respectivamente.

También se requiere obtener la impedancia que está limitada entre las dos superficies mencionadas,  $Z_{aa}$  y  $Z_{bb}$ , con:

$$Z_{ab} = \frac{\rho}{2\pi ab} \frac{1}{I_1(mb)K_1(ma) - K_1(mb)I_1(ma)} \quad (14)$$

Se debe conseguir, además, la impedancia entre dos partes conductoras:

$$Z_i = \frac{j\omega\mu}{2\pi} \ln \frac{d}{c} \quad (15)$$



**Figura 2. Impedancias de un conductor hueco**

Una vez obtenidos estos valores considerando que el cable se compone de tres partes conductoras, el conductor principal, la pantalla electrostática y la armadura, podemos obtener la matriz de impedancia de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Donde

$Z_{11} = Z_{bb(c)} + Z_{i(c-p)} + Z_{aa(p)}$ ,  $Z_{22} = Z_{bb(p)} + Z_{i(p-a)} + Z_{aa(a)}$ ,  $Z_{33} = Z_{bb(a)} + Z_{i(a-tierra)}$ ,  $Z_{12} = -Z_{ab(p)}$ ,  $Z_{23} = -Z_{ab(a)}$  y  $Z_{13} = Z_{23}$ . Considerando que los subíndices entre paréntesis son respectivamente (c) para el conductor, (p) para la pantalla electrostática y (a) para la armadura.

#### D. Cálculo de matriz de admitancia.

En el cálculo de la matriz de admitancias se pueden despreciar las pérdidas del dieléctrico, considerando entonces la admitancia de (11) como  $Y_{ij} = j\omega C_{ij}$ . Por lo tanto, se calcula la capacitancia de una capa aislante entre dos conductores huecos con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{d}{c}} \quad (17)$$

Donde  $\epsilon$  es la permitividad del material aislante;  $d$  y  $c$  son los radios interno y externo del material aislante, respectivamente.

Realizando los cálculos para cada parte del cable, obtenemos la matriz de admitancias:

$$\begin{bmatrix} Y_1 & -Y_1 & 0 \\ -Y_1 & Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ 0 & -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Donde  $Y_1$  es la admitancia entre conductor y pantalla,  $Y_2$  entre pantalla y armadura y  $Y_3$  entre armadura y tierra.

Tanto para la matriz de impedancia, como la de admitancia, el tamaño  $n \times n$  dependerá del número de cubiertas conductoras que contenga el cable, los casos anteriores son de  $3 \times 3$  porque constan de conductor principal, pantalla electrostática y armadura.

#### E. Preparación de datos de entrada al PSCAD/EMTDC.

Para colocar los valores obtenidos del cable en el simulador PSCAD/EMTDC se tiene que considerar cálculos adicionales, ya que el simulador no considera cubiertas semiconductoras, ni otro tipo de cubierta que llegará a requerir; además de que los materiales conductores los considera sólidos, y la mayoría de los cables tienen conductores de alambres trenzados.

El primer cálculo que se debe realizar, es modificar la resistividad del conductor principal, el cual se determina con la siguiente ecuación:

$$\rho_c = \rho_c' \frac{\pi r_1^2}{A_c} \quad (19)$$

Donde  $r_1$  es el radio del conductor,  $\rho_c'$  es la resistividad del material conductor, el cual se puede tomar de la tabla 2 y  $A_c$  es el área de la sección transversal dado por el fabricante.

El segundo cálculo debe considerar el radio las cubiertas semiconductoras y del aislamiento para obtener un nuevo radio  $r_2$ , para la pantalla electrostática. A partir de esto se obtiene una nueva permitividad relativa:

$$\epsilon_{r_1} = C \ln \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \epsilon_0} \quad (20)$$

Donde  $C$  es la capacitancia dada por el fabricante,  $r_1$  es el radio del conductor principal y  $r_2$  es el radio previamente calculado, y  $\epsilon_0$  es la permitividad en el vacío.

El tercer y último cálculo que se debe realizar es con cualquier cubierta que esté compuesta por alambres, ya sea la pantalla electrostática o la armadura. Esto es, obtener un nuevo radio externo,  $r_3$ , de dicha cubierta a partir de su radio interno  $r_2$  y el área uno de los alambres que lo compone  $A_s$ :

$$r_3 = \sqrt{\frac{A_s}{\pi} + r_2^2} \quad (21)$$

### III. CALIDAD DE LA ENERGÍA

Tanto las empresas suministradoras como los usuarios de energía eléctrica están cada vez más preocupados por la calidad de la energía eléctrica. Esto se debe a varios factores entre ellos la nueva generación de equipos de carga que están basados de microprocesadores, controles y dispositivos electrónicos de potencia, que son más sensibles a la degradación de la calidad de la energía que los equipos utilizados en el pasado.

La calidad de la energía, como la calidad en cualquier otro bien y servicio, es difícil de cuantificar. Para ello se tienen estándares para la tensión y otros criterios técnicos que podrían ser medidos, pero la última medida de calidad de energía está determinada por el desempeño y la productividad del equipo del usuario. Si la potencia eléctrica es inadecuada para esas necesidades, entonces la calidad es carente [4].

Entre los diversos problemas de calidad de la energía se encuentran las interrupciones, sags, transitorios por descargas atmosféricas o por maniobras de equipo primario en el sistema eléctrico, armónicos, entre otros.

En condiciones de resonancia, los cables de transporte de energía están sometidos a sobretensiones y al efecto corona que pueden causar fallos del aislamiento. Incluso fuera de esas condiciones, la presencia de armónicos de corriente ocasionará calentamiento adicional con respecto al de la corriente eficaz nominal, debido a los efectos piel y de proximidad; ambos efectos, que dependen de la frecuencia, geometría y sección de conductores, afectan a la resistencia efectiva y, por tanto, a las pérdidas  $I^2R$ .

Para un diseño efectivo del cable es preciso tener en cuenta el sobrecalentamiento debido a los armónicos, lo que se consigue por medio de factores de reducción de la capacidad nominal [5].

Se pueden tener dos tipos sobretensiones en el sistema eléctrico:

- Temporales
- Transitorias

Ambas son elevaciones de tensión, lo que las hace diferentes es su duración. Las sobretensiones temporales tienen una duración relativamente larga, de varios segundos, mientras que las sobretensiones transitorias se encuentran en el rango de los milisegundos o menos. Estas últimas pueden ser generadas por maniobras en el sistema eléctrico o por descargas atmosféricas, las cuales llamaremos por impulso.

Las sobretensiones transitorias se caracterizan por ser variaciones de sobretensión muy rápidas, y pueden provocar graves daños a los diferentes dispositivos eléctricos. Por tanto, los cables de potencia pueden ser sometidos a una gran cantidad de estrés eléctrico en las diferentes cubiertas, y provocar el daño permanente de algunos de ellos.

#### IV. CASO DE ESTUDIO Y RESULTADOS

El estudio que se presenta a continuación es sobre el efecto que se tiene en la pantalla electrostática de un circuito subterráneo debido a la aplicación de un impulso por maniobra. Los datos del circuito se presentan en el apéndice 2. Se realizó la simulación del circuito comparando dos situaciones, con y sin transposición de pantallas electrostáticas. Esta transposición o cruce se realiza a menudo en la práctica, para disminuir las corrientes circulantes en las pantallas electrostáticas.

El circuito fue sometido a un impulso como se muestra en la figura 3, el cual es un impulso de frente lento, debido a una maniobra en el circuito. La amplitud del impulso está dada por norma a 175% de la tensión nominal, y al ser de frente lento se considera con un tiempo de frente de  $250\mu\text{s}$ .

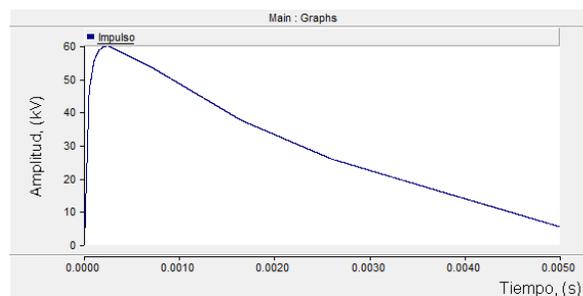


Figura 3. Sobretensión por maniobra en red de 34.5 kV.

Se tomaron los resultados de las tensiones inducidas en las pantallas electrostáticas, en los empalmes donde se realiza la transposición de pantallas. Algunas gráficas obtenidas se muestran en las figuras 4, 5, 6 y 7.

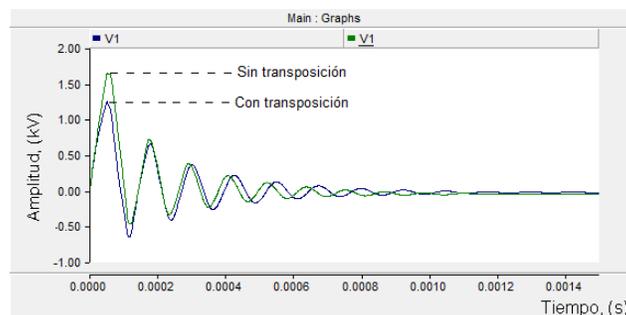
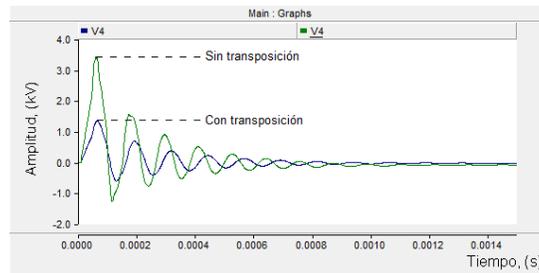
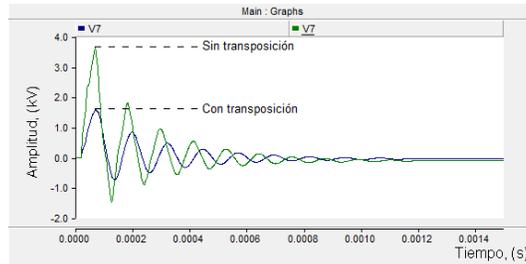


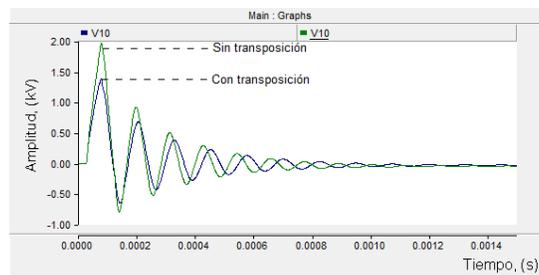
Figura 4. Tensión inducida en pantalla electrostática al principio del circuito.



**Figura 5. Tensión inducida en pantalla electrostática a 1500 metros.**



**Figura 6. Tensión inducida en pantalla electrostática a 3150 metros.**



**Figura 7. Tensión inducida en pantalla electrostática al final del circuito.**

Para tener una visualización de los resultados, se realizó la siguiente tabla.

**TABLA 1. TENSIONES INDUCIDAS EN PANTALLA ELECTROSTÁTICA.**

Distancia (m)	Tensión inducida sin transposición (V)	Tensión inducida con transposición (V)	Reducción de tensión (%)	
0	1641.01	1253.37	3.62	
0	44	2652.52	1532.48	2.23
0	95	3148.69	1746.79	4.52
00	15	3417.43	1340.57	0.77
50	20	3702.34	1562.9	7.79
00	26	3786.59	1663.21	6.08
50	31	3100.59	1610.33	8.06
00	37	2958.33	1656.2	4.02
50	42	2713.32	1660.46	8.80
00	48	2372.94	1386.83	1.56

La tabla 1 refiere al porcentaje que se reduce la tensión inducida en la pantalla electrostática al realizarse la transposición de pantallas electrostáticas.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados nos demuestran que realizar un análisis de la inducción electromagnética en el cable, permite comprender los esfuerzos eléctricos a los que se somete un cable, y que al realizar la transposición de pantallas electrostáticas durante la instalación del circuito, se reduce considerablemente, permitiendo así, darle más tiempo de vida al cable. Se observa una disminución considerable de la tensión inducida en la pantalla electrostática, lo cual refiere a que, dependiendo del gradiente de campo eléctrico del material aislante, esta disminución podrían reducir los esfuerzos eléctricos a los que se somete al aislamiento.

Es recomendable realizar diferentes estudios de calidad de energía, para así poder determinar las condiciones óptimas de operación de un circuito eléctrico, ya que se podrían prevenir diversos daños a equipos, en el caso particular del artículo, se enfoca en el daño producido en los cables potencia. Si el cable de potencia sufre daños, la empresa suministradora podría tardar varios días en resolver el problema, y eso afectaría los procesos de una industria, o dejar sin suministro eléctrico a una ciudad entera.

## VI. APÉNDICE

### Apéndice 1.

Para el cálculo de los parámetros del cable se requiere la resistividad del material conductor dado en ohm-metro.

TABLA 2. RESISTIVIDAD DE MATERIALES CONDUCTORES.

Material	Cobre	Aluminio	Plomo	Acero
$\rho(\Omega \cdot m)$	1.72E-8	2.83E-8	22E-8	18E-8

Así como la permitividad de los materiales aislantes.

TABLA 3. PERMITIVIDAD RELATIVA DE LOS MATERIALES AISLANTES.

Material	X LPE	Impregnada de aceite	Lleno de fluido
Permitividad	2.3	4.2	3.5

### Apéndice 2.

TABLA 4. DATOS DE DIMENSIONES Y MATERIALES DEL CABLE.

Dimensiones y materiales	Valor
Radio conductor principal $r_1$ (m)	0.0116
Radio interno de pantalla $r_2$ (m)	0.021
Radio externo de pantalla $r_3$ (m)	0.0211
Radio total del cable $r_4$ (m)	0.0255
Resistividad del cobre ( $\Omega/m$ )	1.72E-8
Resistividad modificada del conductor principal ( $\Omega/m$ )	1.8177E-8
Permeabilidad relativa entre conductor principal y pantalla	1
Permitividad relativa de aislamiento sobre conductor principal	3.093
Permitividad relativa del aislamiento sobre pantalla	4
Longitud del cable (km)	4.8

Estos datos son la parte subterránea de un circuito con cable subterráneo y submarino a 34.5 kV, el cual, para los fines del estudio solo se tomó la porción subterránea. El cable tiene un tamaño nominal de

400 $mm^2$ , de cobre recocido sin recubrimiento, redondo compacto, para una tensión nominal de 34.5 kV. La pantalla electrostática consta de una cinta de cobre de 0.1 $mm$  de grosor.

### REFERENCIAS

- [1] Greenwood, A. (1991). *Electrical transients in power systems*. Second Ed., Wiley Insrsience, New York.
- [2] Martínez, J. (2010). *Power system transients: parameter determination*. Boca Ratón, Florida.
- [3] Ametani, A. (1980) "A general formulation of impedance and admittance of cables," IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems.
- [4] Dugan, R.; McGranaghan, M.; Santoso, S.; Wayne, H. (2004). *Electrical power systems quality*. Second Ed. McGraw Hill.
- [5] Arrillaga, J. Eugíluz, L. (1994). *Armónicos en sistemas de potencia*. Universidad de Cantabria, Electra de Viesgo.
- [6] Zalani, M. (2009). *Transient behaviour modelling of underground high voltage cable systems*. Master by research thesis, Faculty of informatics, University of Wollongong.

# Análisis del generador síncrono de imanes permanentes ante una falla de una fase usando elementos finitos en 2D

J. González-Domínguez<sup>1</sup>, C. Hernández<sup>1</sup>, M. A. Arjona<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Czda, Cuauhtémoc S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

**Resumen**— En este artículo se presenta el análisis electromagnético de un generador síncrono de imanes permanentes, el cual es un tipo de dispositivo empleado en sistemas eólicos de generación eléctrica. Se propone un caso de estudio en el cual se disminuye la resistencia de uno de los conductores por fase del estator, este es un tipo de falla común en estos sistemas de generación alterna y que llegan a afectar una eficiente conversión de la energía. Se presentan los resultados obtenidos con el software de elementos finitos Flux 2D, el cual permite conocer con precisión la distribución de los campos magnéticos en la máquina así como su comportamiento después de la falla, lo que puede ser de gran utilidad en el posterior diseño y construcción de este tipo de generadores.

**Temas claves**— Análisis Electromagnético, Elementos Finitos, Generador Síncrono de Imanes Permanentes.

**Abstract**—this paper presents the electromagnetic analysis of a permanent magnet synchronous generator which is a type of device used in wind power generation systems. A case study in which the resistance of one of the phase conductors of the stator decreases, this is a common type of failure in these AC generation systems and they affect the efficient conversion of energy. The results are obtained with the software of finite elements Flux 2D, which allows to know precisely the distribution of magnetic fields on the machine and its behavior after failure, which can be very useful in the subsequent design and construction of this type of generators.

**Keywords**— Electromagnetic Analysis, Finite Elements, Permanent Magnet Synchronous Generator.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el incremento de nuevas tecnologías en el campo de las energías renovables ha adquirido un lugar importante en el área de la investigación y desarrollo de dispositivos que permiten una eficiente conversión de energías tales como la del viento en eléctrica. Estos dispositivos en su mayoría incluyen a las máquinas rotativas, las cuales son empleadas en sistemas de generación eléctrica como son los aerogeneradores, los cuales aprovechan el potencial eólico para convertirlo en energía eléctrica y suministrarla después de ser enviada a la red de distribución eléctrica.

Uno de los principales tipos de máquinas eléctricas más empleados en sistemas de generación eólica son los generadores síncronos de imanes permanentes, debido a las ventajas que éstos ofrecen sobre otros tipos de generadores eléctricos usados en estos sistemas; algunas de estas ventajas son: no existen devanados presentes en el rotor, por lo cual se reducen las pérdidas eléctricas, implicando una alta eficiencia y al mismo tiempo no requieren de un costoso sistema de enfriamiento. El generador de imanes permanentes puede lograr una mayor densidad de flujo en el entrehierro [1]- [3].

En este artículo se presenta un análisis electromagnético en un generador síncrono de imanes permanentes, para entender el comportamiento de este tipo de dispositivos ante algunas situaciones comunes en los sistemas eléctricos de potencia interconectados con estas fuentes de generación alterna. Actualmente, uno de los métodos más precisos y eficientes para este tipo de estudio en máquinas eléctricas rotativas es el

método de elementos finitos, conocido como FEM por sus siglas en inglés. Este método permite conocer la distribución exacta del campo magnético en la máquina a partir de las ecuaciones de Maxwell [4].

La máquina analizada es sometida a una condición de falla, a determinado tiempo de simulación, en una de las fases del estator. El entorno en donde es simulado y caracterizado el generador es en el software de elementos finitos Flux 2D [5]. Se muestran las corrientes transitorias así como los voltajes en las fases del estator a determinado tiempo y velocidad constante del generador; también se presenta el mapeo de la distribución de densidad de campos magnéticos en la máquina.

## II. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

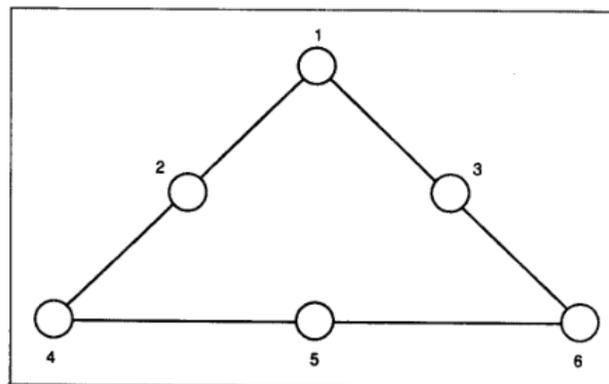
Todos los fenómenos de campos electromagnéticos de bajas frecuencias pueden ser descritos por la ecuación de Poisson (o para regiones en vacío la ecuación de Laplace) o la ecuación de difusión. Para campos estáticos, es decir, donde no existen variaciones en el tiempo, se aplica la ecuación de Poisson. Para problemas en donde ocurren corrientes de Eddy se usa la ecuación de difusión. En principio estas ecuaciones diferenciales pueden ser fáciles de resolver, de hecho muchas de las funciones, cuando son substituidas en estas ecuaciones, se convierten en la solución al problema.

La dificultad consiste en que para una ecuación diferencial que tiene una solución única, se deben satisfacer condiciones de contorno. La mayoría de los dispositivos, tales como máquinas rotativas, tienen límites muy complicados. Además, estos dispositivos utilizan materiales que pueden ser anisotrópicos y no lineales. Fuentes como la densidad de corriente usualmente se distribuyen por superficies de los contornos de las máquinas.

La ventaja de métodos numéricos como el método de elementos finitos es que puede ser usado en formas arbitrarias, condiciones frontera arbitrarias y complicadas fuentes de distribución en las máquinas.

### A. Descripción del método.

Para aplicar el método de elementos finitos se divide el espacio de interés en pequeñas pero finas regiones llamadas elementos, los cuales cubren completamente el espacio pero no lo sobrepasan. Adicionalmente, se requiere que ninguno de estos elementos traspase una frontera del material; las cantidades desconocidas pueden ser descritas por una simple función. Los polinomios se escogen porque las formulaciones implican diferenciación e integración de estas funciones. El orden del polinomio determina el orden del elemento [6].

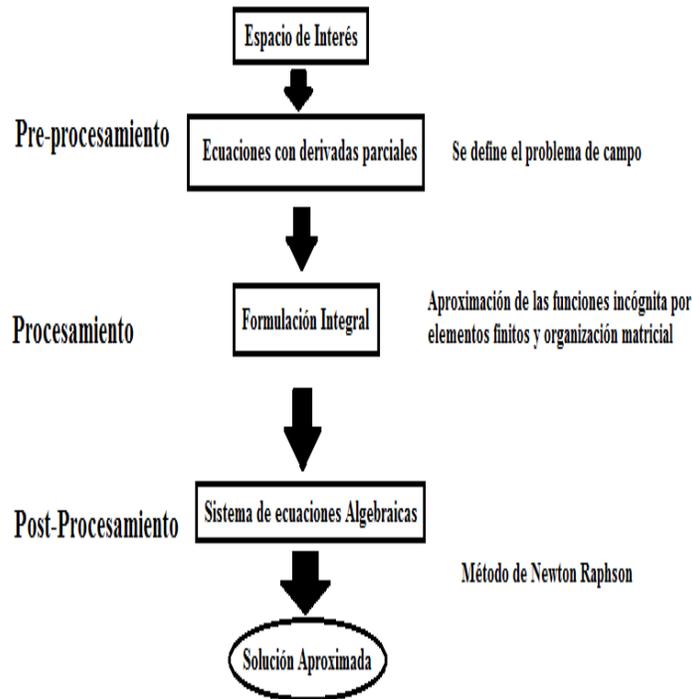


**Figura 1. Elemento triangular de segundo orden.**

En el análisis de la geometría del generador de imanes permanentes empleada en este artículo se utilizan elementos triangulares de segundo orden, como el de la Figura 1. Esto significa que para el cálculo de potencial, éste variará cuadráticamente en cada dirección.

*B. Procedimiento de Análisis.*

El procedimiento para analizar un dispositivo electromagnético, como el generador de imanes permanentes, mediante el método de elementos finitos se puede dividir en tres pasos principales, los cuales se describen en la Figura 2.



**Figura 2. Diagrama de Flujo del procedimiento de análisis**

**III. MODELO EN ELEMENTO FINITO DEL GENERADOR DE IMANES PERMANENTES**

El modelo basado en el método de elementos finitos cubre algunos inconvenientes que presenta el modelo analítico al no representar fenómenos detallados como los campos magnéticos inducidos en el estator y la saturación magnética del material del que se compone la máquina.

Como se mencionó con anterioridad, el método de los elementos finitos permite, a través de las ecuaciones de Maxwell, conocer la distribución exacta de los campos magnéticos en la máquina.

El vector de potencial magnético  $A$  es una función potencial la cual puede construir una condición frontera fácilmente, esto puede hacer posible la obtención de la densidad de campo magnético  $B$ , el vector de potencial magnético es usado para calcular el campo electromagnético en dos dimensiones.

La forma diferencial de la ecuación de Maxwell está dada por:

$$\nabla \times \nu \nabla \times A = J_s - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \sigma \nabla v + \nabla \times H_c \quad (1)$$

donde  $A$  es el vector de potencial magnético,  $J_s$  es la densidad de corriente,  $H_c$  es la fuerza de

coercitividad del imán permanente,  $v$  es la velocidad del objeto en movimiento y  $\sigma$  la conductividad eléctrica [7].

El modelo analizado en 2D es un generador de imanes permanentes de 10 polos salientes con imanes de ferrita, Figura 3; está modelado en el software comercial Flux 2D, el cual se basa en el método de elementos finitos y además hace uso de la condición frontera de periodicidad para analizar únicamente una fracción del generador, equivalente a un polo magnético de la geometría.

El campo electromagnético continuo se transforma a un sistema discreto mediante un mallado compuesto por 17160 nodos y 5720 elementos de segundo orden, como se muestra en la Figura 4. El módulo transitorio del software puede calcular la fuerza contra electromotriz, el flujo magnético y el par de la máquina.

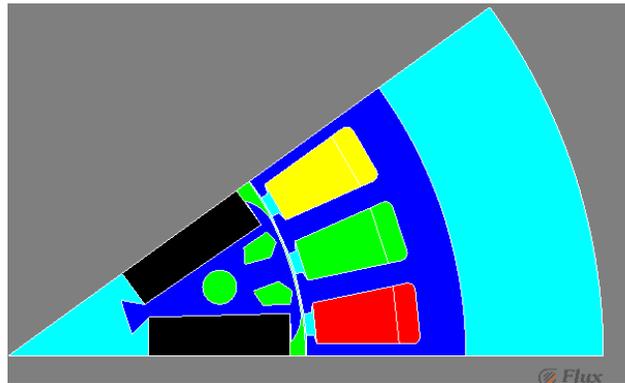


Figura 3. Geometría del generador de imanes permanentes equivalente a un polo de la geometría total de la máquina.

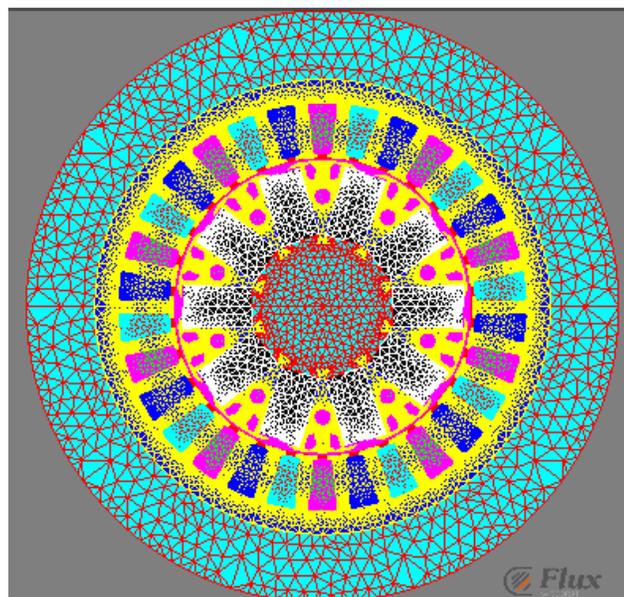


Figura 4. Mallado de la geometría completa del generador de imanes permanentes.

#### IV. SIMULACIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITO DEL GENERADOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES

La geometría del modelo del generador síncrono de imanes permanentes en 2D mostrada en la Figura 3, es acoplada a las fases del estator mediante el circuito equivalente mostrado en la Figura 5. Se simula una falla en uno de los devanados del estator a los 0.3 segundos de simulación, mientras éste se encuentra girando a una velocidad constante de 2600 rpm. La falla, como se muestra en la Figura 6, es obtenida debido a una disminución en el número de vueltas y la resistencia en el conductor de la fase 1 del estator.

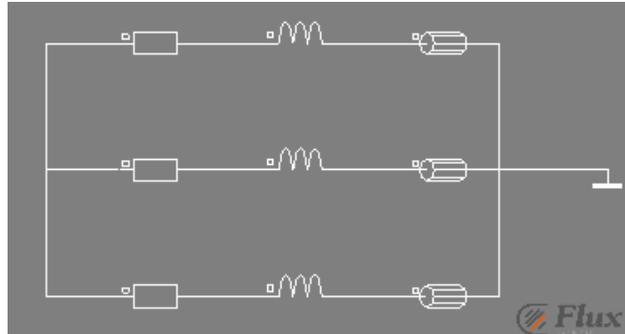


Figura 5. Circuito equivalente del estator del generador de imanes permanentes.

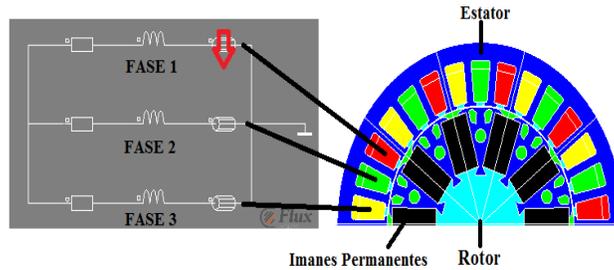


Figura 6. Circuito equivalente con la falla en la fase 1 del estator.

## V. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

### VI.

Se presentan los resultados obtenidos en los voltajes y corrientes en los conductores del estator en las figuras 7 y 8 respectivamente, el par electromagnético en la Figura 9 así como la distribución del campo magnético, Figura 10, en la máquina durante la falla.

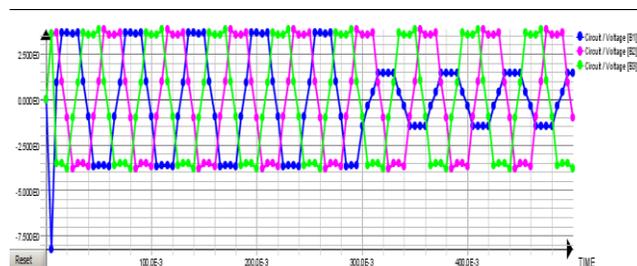


Figura 7. Voltajes en los conductores.

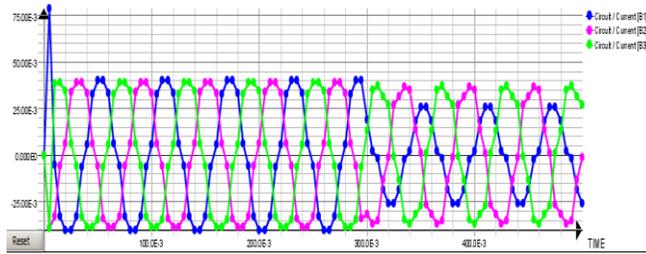


Figura 8. Corrientes en los conductores.

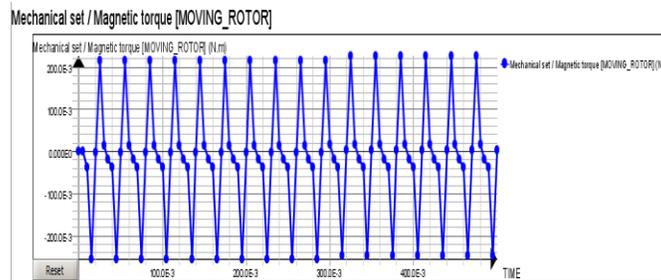


Figura 9. Par electromagnético.

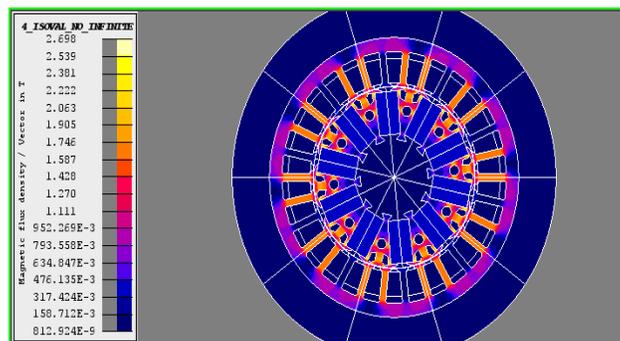


Figura 10. Distribución del campo magnético en el generador a los 0.5 segundos.

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló el análisis electromagnético de un generador síncrono de imanes permanentes el cual fue sometido a una falla empleando un modelo axisimétrico en 2D usando el paquete comercial de elementos finitos Flux. Para la simulación de la falla se consideró la disminución de la resistencia del conductor de una de las fases así como su número de vueltas. En los resultados se pudo observar una clara disminución y desbalance en las señales de voltajes y corrientes en la fase en donde ocurrió la falla. Este tipo de análisis empleando el método de elementos finitos puede ser útil en el diseño óptimo de estos dispositivos empleados en aerogeneradores, sometiendo a diversos modelos a diferentes condiciones de operación y situaciones comunes en los sistemas de generación con una gran precisión antes de su construcción y sin la necesidad de gastar en prototipos reales para las pruebas ya que la simulación mediante este método permite obtener resultados muy cercanos a los obtenidos en la realidad.

## VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, CONACYT, CEMIE-Eólico, IIE, TNM y PRODEP, por el apoyo financiero brindado para realizar este trabajo.

### REFERENCIAS

1. O. Ojo and J.Cox, "Investigation into the performance characteristics of an interior permanent magnet generator including saturation effects," in Proc. 31st IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 1996, pp.533-540.
2. Spooner and A. C. Williamson, "Direct Coupled, Permanent-Magnet Generators for Wind Turbine Applications," IEE Proceedings, Part B, Vol. 143, No. 1, pp. 1-8, January 1996.
3. Li and Z. Chen, "Overview of different wind generator systems and their comparisons," IET Renewable Power Generation, 2008, vol. 2, No. 2, pp. 123-138
4. K. Hameyer and R. Belmans, Numerical Modelling and Design of
5. Electrical Machines and Devices, UK: WITPRESS, 2001.
6. Flux 2D/3D, Manual de usuario. 2014
7. S. J. Salon, "Finite element analysis of electric machinery," IEEE
8. Trans. Computer Applications in Power, vol. 3, no. 2, pp. 29-32, April 1990.
9. Duan, H. Wang, H. Guo, G. Gu, "Direct Drive Permanent Magnet Wind Design and Electromagnetic Field Finite Element Analysis," IEEE Trans. On Applied Superconductivity, vol. 20, no.3, June 2010.

# Máquina Inyectora de Tinta Catalítica para la Fabricación de Celdas Tipo PEM

V. E. Manqueros-Aviles<sup>1</sup>, J. Ortíz-Pinto<sup>1</sup>, A. Gamez-Vargas<sup>1</sup>, F. De la Cruz-Valdez<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo  
Km. 14.5, C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo.

**Resumen**— El presente trabajo muestra el diseño electromecánico e implementación de un sistema de posicionamiento en dos ejes para un aerógrafo, que aplica una solución de tinta catalítica sobre membranas de intercambio protónico para la fabricación de celdas de hidrogeno. Actualmente dicho proceso se realiza de forma manual y se desea automatizar para homogenizar las características en ellas obteniendo con ello reproducibilidad así como disminución de los tiempos de producción. El proyecto se divide en dos áreas: Diseño y construcción del mecanismo y diseño del control electrónico para el posicionamiento del mecanismo.

**Temas claves**—Tinta catalítica, Motor a Pasos, PEM, Diseño mecánico, Microcontrolador, Solid Works, CAD.

**Abstract**— this work shows the electromechanical design and the implementation of a system of two-axis positioning for an airbrush, applying a catalytic ink solution on proton exchange membrane cells for hydrogen production. Currently this process is performed manually and be automated to homogenize the characteristics in them thereby obtaining reproducibility and decreased production time. The project is divided into two areas: design and construction of machinery and electronic control design for positioning the mechanism.

**Keywords**— Catalyst ink, Stepping Motor, PEM, Mechanical Design, Microcontroller, Solid Works CAD.

## I. INTRODUCCIÓN

La Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo desde su creación, tiene como objetivo desarrollar tecnologías y conocimientos que resuelvan necesidades en diferentes ámbitos donde se vean involucradas la investigación, la ingeniería y la técnica llevando a cabo proyectos que impacten y solucionen en dichas necesidades.

El presente trabajo trata sobre el diseño, fabricación, ensamble y control de una mesa que se desplaza en dos ejes para posicionar a una membrana de intercambio protónico, la cual es parte esencial de las celdas de combustible tipo PEM (Proton Exchange Membrane), y hacerle un depósito de tinta catalítica en su superficie mediante un aerógrafo. Dicho proceso se desarrolla actualmente en el instituto de Investigaciones eléctricas específicamente por el grupo de hidrogeno y celdas de combustible, quien es un referente a nivel nacional sobre la tecnología de celdas de hidrogeno.

El proyecto consta de las siguientes etapas:

Diseño mecánico, en esta etapa se describe los elementos que componen el mecanismo para el posicionamiento de la membrana ante el aerógrafo, apoyándose en el empleo de herramientas como el diseño asistido por computadora (CAD).

La etapa de diseño mecánico arroja los datos necesarios para la fabricación de las piezas, por lo que la siguiente fase es la manufactura de componentes. Los componentes diseñados fueron fabricados dentro del

ITSL por personal que opera las máquinas de CNC.

Una vez hechos los componentes mecánicos, se procede al ensamblaje del mecanismo para realización de pruebas con el fin de detectar anomalías de los componentes al desplazarse en uno, dos o ambos ejes, y poder efectuar alguna modificación.

En el diseño electrónico intervienen tres aspectos fundamentales como lo son la potencia para poder proporcionar la corriente necesaria a cada motor a pasos, el circuito de control para efectuar las secuencias requeridas por los pasos del motor, la captura de información para la generación de una trayectoria específica.

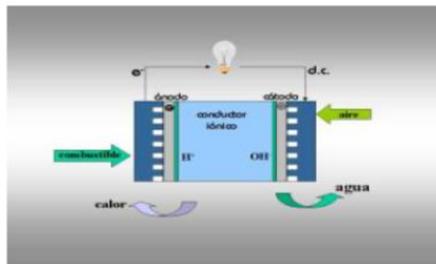
## II. CELDAS DE COMBUSTIBLE.

Las celdas de combustible se han convertido en una tecnología de generación de electricidad con grandes beneficios, ofrecidos por el hecho de ser altamente eficientes y limpias comparadas con tecnologías convencionales de combustión interna. Cuando el combustible utilizado es hidrógeno, sus beneficios se multiplican ya que en éste caso las emisiones son solamente calor y agua pura. *Ejemplo de Subsección*

La sección puede tener tantas subsecciones como sea conveniente.

### A. Principio de Funcionamiento.

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico en el cual la energía química de un combustible es convertida en electricidad sin ninguna combustión. Las celdas de combustible se parecen a una pila ya que sus principales componentes son dos electrodos (ánodo y cátodo) separados por un conductor iónico (electrolito). La diferencia básica entre una celda de combustible y una pila es que ésta última contiene internamente el material reactivo o “combustible”, mientras que a la celda de combustible se le alimenta externamente y de manera continua. Esta característica hace posible considerar a las celdas de combustible como generadores de electricidad continuos que no requieren recarga como en el caso de pilas secundarias. A medida que el combustible es alimentado a la celda de combustible, aquel será oxidado en el ánodo generando una corriente de electrones o electricidad la cual circulará externamente, aprovechándose así para realizar algún tipo de trabajo. El retorno de tal corriente eléctrica ocurre del lado del cátodo, en donde los electrones transforman el oxígeno del aire para que éste forme junto con el hidrógeno oxidado agua 100% pura.



**Figura 1. Principio de funcionamiento de las celdas de combustible.**

A diferencia de las máquinas de combustión interna en donde la energía química es extraída mediante la “quema” del combustible y convertida en diversas formas de energía antes de ser aprovechada, las celdas de combustible no queman un combustible sino que lo transforman electroquímicamente, generando electricidad, agua y calor.

Se ha determinado al hidrogeno como el combustible de las celdas debido a que este alcanza grandes eficiencias al generar energía eléctrica y presentar cero emisiones contaminantes.

### B. Tipos de Celdas.

Las celdas se tipifican en base al electrolito que empleen para llevar cabo la combustión. Según lo

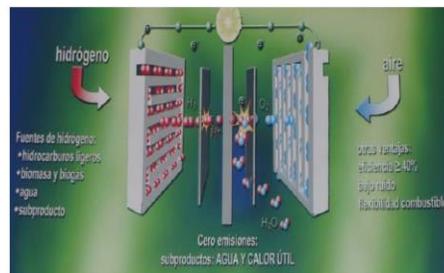
anterior se tienen diversos tipos de celdas las cuales son:

- Celda de Membrana de Intercambio protónico (PEM, por sus siglas en ingles).
- Celda de ácido fosfórico (PAFC).
- Celda de carbonato fundido (MCFC).
- Celda de óxido solido (SOFC).

Se centrará la atención en las celdas PEM.

### C. Celdas de Combustible PEM.

Las celdas de combustible PEM (membrana de intercambio protónico) deben su nombre a que la parte que lleva a cabo la reacción electroquímica es una membrana polimérica que conduce protones, en este caso ella será el electrolito. Los componentes básicos de una celda de combustible tipo PEM pueden ser resumidos como: dos electrodos impregnados con electrocatalizador (típicamente platino), la membrana polimérica conductora de protones (electrolito) y finalmente las placas colectoras de corriente.

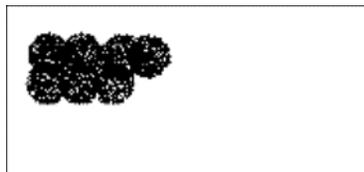


**Figura 2. Celda PEM.**

La *membrana polimérica conductora de protones* es probablemente el elemento más especial de las celdas PEM. Esta tiene como función el transporte de carga iónica en el circuito de la celda electroquímica formada. Esta membrana tiene la apariencia de un plástico transparente y delgado, y es impregnada con una tinta catalítica. La tinta catalítica (electro catalizador) es una mezcla de varios agentes catalizadores que actúan en sinergia y se encuentran uniformemente distribuidos dentro del volumen de dicha capa y se están disueltos en una solución alcohólica para facilitar su aplicación sobre la membrana por los dos lados. La función primordial de la tinta catalítica es la de “atrapar” el hidrógeno y posteriormente contribuir al transporte de los protones  $H^+$  hasta la membrana donde se llevará a cabo la conducción protónica.

### D. Descripción del Proceso.

Actualmente el proceso consta en realizar la inyección de tinta catalítica en la membrana de intercambio protónico de la celda de combustible, todo ello en una mesa de trabajo que se desplaza en los ejes x-y de forma manual. Posteriormente una vez que se consigue la ubicación de donde se va a hacer la inyección se hace actuar (de forma manual) un aerógrafo, que es el que inyecta dicha solución. El aerógrafo tiene como entradas a la tinta catalítica por un lado y por otro lado una determinada presión neumática para inyección. La figura 3 muestra como es el rastro de la inyección sobre la membrana.



**Figura 3. Rastro de la deposición/inyección de tinta catalítica sobre la membrana.**

Como se observa en la figura anterior, el aerógrafo al inyectar tinta deja un rastro o patrón circular sobre la membrana, y con él se pretende cubrir a la membrana en su totalidad de tinta catalítica. Los movimientos que se tienen que realizar en la mesa x-y para lograr la cobertura se describe con la figura

siguiente:

*E. Procedimiento.*

Básicamente consta de los siguientes pasos:

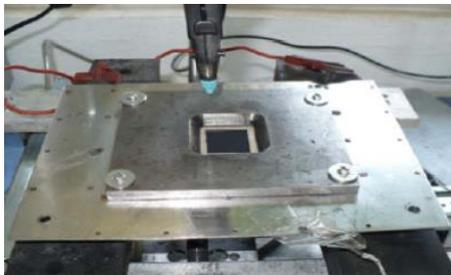
1. Colocación de la membrana.
2. Sujeción por vacío.
3. Sujeción mecánica.
4. Calentamiento.
5. Inyección de la tinta catalítica.

Se coloca la membrana en placa de sujeción de la mesa, en seguida se le aplica vacío con el fin de evitar pliegues en la membrana. Posteriormente se calienta la membrana, aproximadamente a 70 grados centígrados, también con el fin de no dejar pliegues ello mediante una resistencia eléctrica que está dentro de la placa de sujeción. La resistencia se calienta por medio de un variac y la temperatura se monitorea por medio de un termopar y un multímetro. Una vez dadas estas condiciones finalmente por medio de manivelas se mueve a la mesa de trabajo en los ejes (X-Y) para posicionar a la membrana y hacerle la inyección de la tinta catalítica mediante el aerógrafo. La siguiente figura trata de ilustrar lo anterior. A continuación se muestran una serie de imágenes del sistema actual. En la figura 4 se puede apreciar la serie de dispositivos con los cuales se lleva a cabo actualmente la inyección de tinta catalítica en las membranas. Se observa un mecanismo montado en una placa de aluminio y sobre de ella elementos de desliz que son puestos en movimiento mediante la rotación de un tornillo sin fin accionado por manivelas, esto por cada eje, por lo que se encuentran montados de manera ortogonal. Un transformador variable se emplea para alimentar a la resistencia eléctrica que produce el calor necesario para operar a la membrana. El aerógrafo se encuentra en la parte superior del dispositivo y con el lleva a la tinta catalítica además de una línea de aire a presión para inyectar a la solución catalítica.



**Figura 4. Sistema actual de mesa "x-y" para deposición de tinta catalítica.**

En la figura siguiente se muestra una membrana montada sobre la placa lista para realizar deposición del agente catalítico, Se observan también las terminales de la resistencia eléctrica y el aerógrafo.



**Figura 5. Membrana preparada para deposición de tinta catalítica.**

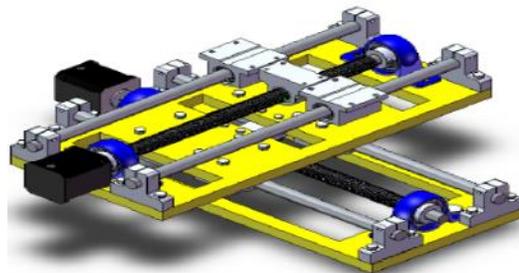


**Figura 6. Placa de Orificios.***F. Mejoras del Proceso.*

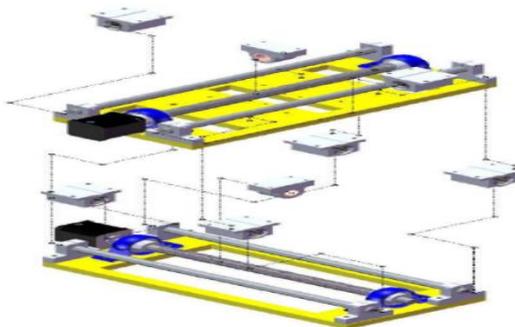
La mejora del proceso consiste en automatizar el posicionamiento de la membrana a través de un nuevo diseño mecánico de la mesa que porta a la membrana. Incluyendo a los ejes motores a pasos para el desplazamiento de la misma.

*G. Mejoras del Proceso al Diseño Mecánico.*

Es realizado mediante el uso de paquetería CAD para la elaboración de piezas como lo es el SolidWorks. Lo cual representa una ventaja ya que dicho software proporciona la información necesaria para proceder al maquinado numérico de las diferentes piezas que componen al mecanismo. La figura 7 muestra el nuevo diseño de la mesa

**Figura 7. Mesa de trabajo propuesta.**

El mecanismo consta de dos plataformas de aluminio montadas en forma ortogonal las cuales se desplazan a través de tornillos sin fin y chumaceras en los extremo animadas por motores a pasos para lograr el desplazamiento x-y. En la siguiente figura se muestra el ensamblaje cada una de las piezas que componen la mesa.

**Figura 8. Ensamblaje de la mesa.***H. Mejoras del Proceso al Diseño Electrónico.*

En este apartado se involucran las etapas de control, potencia y la interfaz de usuario.

*Etapas de control*

Si se tiene la correcta conmutación de las bobinas de los motores, estos ofrecen la ventaja de conocer exactamente su posición durante el tiempo, mediante el conteo del número de pulsos que la bobina conmuta en determinado tiempo. Por lo que no hace necesario la retroalimentación de la posición y por ende simplifica el diseño del control y del algoritmo para el microcontrolador.

Debido a que la carga no ofrece una gran exigencia de torque a los motores no se requiere implementar rampas de aceleración y desaceleración. Si son deseables pero con las pruebas que se han hecho al momento el sistema no pierde referencia por dicha cuestión.

La etapa de control está conformada básicamente por un microcontrolador PIC16F877 el cual se encarga de lo siguiente:

- Mover a home cada eje
- Posicionar en home cada eje.
- Protección contra movimiento fuera de límite.
- Calcular el número de líneas para el eje “x” así como el eje “y”.

Cada eje debe de encontrar su posición de home antes de iniciar el desplazamiento dado. Los motores se deberán de desplazar para buscar la posición de home la cual se encuentra por medio de los sensores inductivos que mandan la señal al PIC16F877.

La siguiente tarea es el cálculo del número de líneas, el microcontrolador computa el número de pasos que tiene que dar cada motor enviando la secuencia de pulsos según sea la dirección de línea.

Para realizar el cálculo de número de líneas, encontrar la posición de home y la protección contra desplazamientos fuera de límite, el microcontrolador contempla un programa que lleve a cabo esas funciones, además de datos como el avance lineal del tornillo sin fin por revolución, pulsos por revolución del motor a pasos.

Las siguientes son las formulas empleados para los cálculos para el desplazamiento del sistema mecánico.

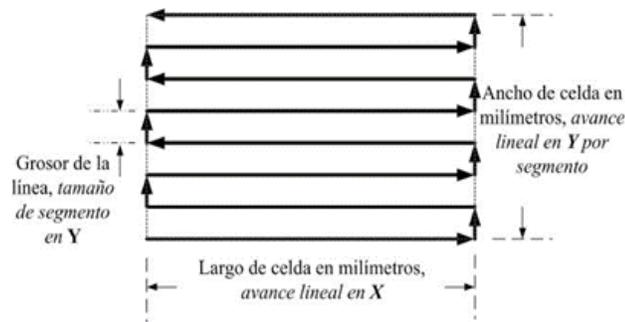
- 
- $AVr = Dr / Rev$  (1)
- $App = AVr / nPRev$  (2)
- $Pul = AV / App$  (3)

• Donde:

- 
- $AVr$  Es el avance lineal de la placa por una revolución del sinfín.
- $Dr$  Distancia lineal recorrida.
- $Rev$  Revolución, un giro de 360° sobre su eje.
- $App$  Avance lineal por paso.
- $nPRev$  Número de pulsos por revolución.
- $Pul$  Pulsos para recorrer  $AV$ .
- $AV$  Avance lineal para cualquier lado de la celda.

Con el número de pasos que el microcontrolador calculó, lo siguiente es determinar hacia donde se mueve cada motor, para lograr una trayectoria predeterminada.

Un dato importante es el grosor de la mancha de tinta catalítica que deja el aspersor, ya que este determinará el número de líneas horizontales y el número de segmentos verticales. En la siguiente figura se muestra la trayectoria predeterminada, para la cual el microcontrolador está programado, cabe mencionar que muy probablemente se tengan que probar diferentes tipos de trayectorias, y esto se determinará en base a la homogeneidad de la tinta catalítica sobre la membrana, en posteriores pruebas de desempeño de la celda PEM.



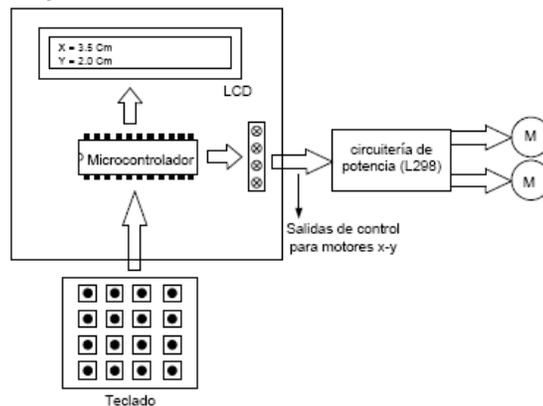
**Figura 9. Trayectoria Programada.**

*Etapa de potencia.*

El Objetivo de la etapa de potencia es servir de interfaz entre las señales de control provenientes del microcontrolador y los motores a pasos. En ella se emplean circuitos integrados L298 que contienen transistores en arreglo de “puente H” para proporcionar la potencia a los motores. Además de los circuitos integrados L6210 que contienen diodos Schottky, los cuales son empleados en aplicaciones con motores a paso.

*Interfaz de usuario.*

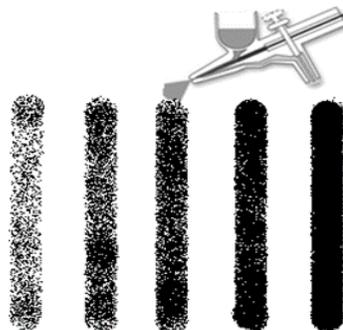
La interfaz de usuario está compuesta por un teclado matricial y un LCD. El teclado sirve para ingreso de las dimensiones de la membrana. En el LCD se muestran mensajes del menú y además el avance en centímetros de la mesa para ambos ejes.



**Figura 10. Esquema del diseño electrónico propuesto.**

*I. Resultados Logrados.*

Debido a que la aplicación de la tinta se lleva a cabo por medio de un aspersor la mancha de tinta la cual tiene un diámetro de aspersión de 5 milímetros, según los datos proporcionados para el diseño, se busca que el rastro quede de forma idónea tal y como se muestra en la quinta línea de izquierda a derecha de la figura siguiente.

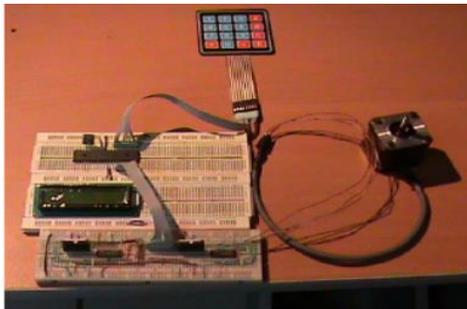


**[7] Figura 11. Rastros de aspersión.**

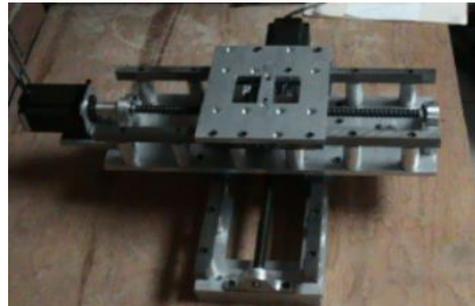
Debido a esto los parámetros que arrojó el diseño fueron los siguientes:

- Diámetro de aspersión = 5 mm
- Avance lineal = 10 mm/seg
- Avance lineal por paso = 0.02 mm
- Dimensiones máximas de la celda a fabricar 190 mm por 190 mm
- Dimensiones mínimas de la celda a fabricar 5 mm por 5 mm.

Las figuras siguientes muestran los resultados de los diseños implementados físicamente. En la figura 14 se muestra el prototipo del diseño electrónico. En ella se puede observar a los componentes tales como el microcontrolador, el LCD, el teclado y la circuitería de potencia. Este diseño en su conjunto se encuentra funcionando de manera individual, es decir, solamente se tiene el movimiento de los motores sin estar montados estos últimos en la estructura del diseño mecánico propuesto.

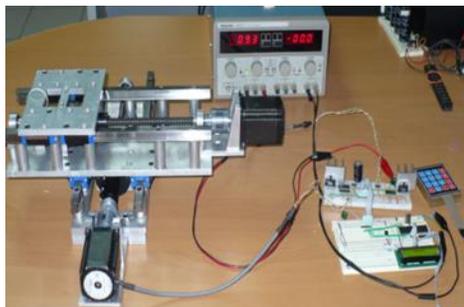


**Figura 12. Diseño electrónico propuesto realizado.**



**Figura 13. Diseño mecánico propuesto terminado.**

Por último en la figura 14 se muestra tanto el diseño mecánico y electrónico del prototipo.



**Figura 14. Sistema mecánico y electrónico del prototipo****III. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la confianza que el instituto de investigaciones eléctricas tubo hacia el personal de ITSL.

**REFERENCIAS**

- [1] Cano C., U. 1999. Las celdas de Combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. Boletín iie pp 208-215.
- [2] Saudemont C., Cambonne J.P., Hautier J.P. 1998. Method for conceiving the electrotechnical system control axis. Power Electronics and Variable Speed Drives. Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 456).
- [3] Palacios, Enrique. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos. 3ra edición. Editorial Alfaomega.
- [4] Bates, Martin P. Programming 8 bit Pic Microcontrollers in C. Editorial Newnes.
- [5] Predko, Mike. Programming and Customizing The PIC. 3ra edición. Editorial McGraw-Hill.
- [6] Gardner, Nigel. PIC C and Introduction to Programming The Microchip PIC in C. Custom Computer Services Inc.

# Acondicionamiento y Aplicación de Señales Mioeléctricas con Arduino

D. Rojas-Balbuena<sup>1</sup>, C. E. Grajeda-Soto<sup>2</sup>, L. O. Alpizar-Garrido<sup>1</sup>, M. Galindo-Mentle<sup>1</sup>,  
M. A. Islas-Salas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, Av. Universidad Tecnológica N° 1000. Col. Tierra Negra. Xicotepec de Juárez, Puebla, México. C.P. 73080.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Av. Tecnológico No. 80, Col. 5 de Octubre. Huauchinango, Puebla. México. C.P. 73173.

**Resumen**— El presente trabajo describe el desarrollo de un acondicionamiento de señales mioeléctricas usando una de las tarjetas que se ha hecho muy popular en los últimos años “Arduino”. Las señales mioeléctricas se ocupan para muchas aplicaciones biomédicas, pero en particular el tema que nos interesa es la manipulación dispositivos electro mecánicos con fines de rehabilitación o prótesis semi/totalmente automatizadas. Este proyecto está orientado al procesamiento de las señales mioeléctricas principalmente, en una determinada área del antebrazo humano, utilizando electrodos de plata superficiales para su detección, una tarjeta comercial que amplifica y filtra el ruido electrostático y la tarjeta Arduino, la cual se encarga de procesar la señal obtenida para poder mover y controlar un gripper de tres dedos como actuador.

**Temas claves**—señales mioeléctricas, Arduino, electrodos, acondicionamiento, prótesis, mano robot.

**Abstract**— This paper describes the development of a myoelectric signal conditioning using one of the cards has become very popular in recent years "Arduino ". The myoelectric signals involved for many biomedical applications, but particularly the topic that interests us is the electro mechanical handling devices for rehabilitation, semi or fully automated prosthesis. This project is oriented mainly processing of myoelectric signals in a specific area of the human forearm , using silver surface electrodes for detection, a business card that amplifies and filters the electrostatic noise and Arduino board , which is responsible for processing the signal obtained to move and control a three-finger gripper.

**Keywords**—myoelectric signals, Arduino electrodes, prosthetics , robot hand.

## I. INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano, genera diferentes tipos de señales eléctricas, dependiendo de la parte que la genere, estas pueden clasificarse en oculográficas, electroencefalográficas, electrocardiográficas y electromiográficas. Estas últimas generadas por la contracción de los músculos del cuerpo, en brazos, piernas, abdomen, etc. y son producidas por el intercambio de iones a través de las membranas musculares. A la detección de estas señales, se la conoce como electromiografía y este es el propósito de este trabajo, detectar señales para utilizarlas como medio de control de dispositivos electro-mecánicos o para tener una comunicación hombre máquina [1].

El órgano principal para la manipulación física del medio son las manos, en donde la punta de los dedos contiene algunas de las zonas con más terminaciones nerviosas del cuerpo humano, son la principal fuente de información táctil sobre el entorno, por eso el sentido del tacto se asocia inmediatamente con las manos.

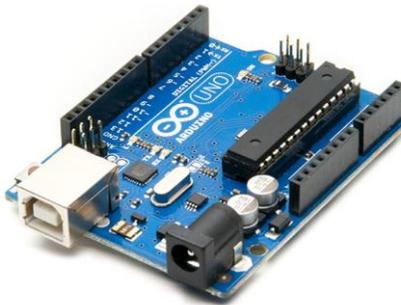
Según Sarmiento en la mano ha sido la compañera fundamental del cerebro para convertir el pensamiento en acción, en ella, las ideas se traducen mecánicamente en acciones, creando representaciones jerárquicas para configurar los procesos necesarios en el control de movimientos. Infortunadamente desde tiempos atrás algunos seres humanos han vivido la falta de una parte funcional de su cuerpo como los

miembros superiores debido al efecto de una amputación, donde amputar según el diccionario de la Real Academia Española, “es la acción de cortar y separar enteramente del cuerpo un miembro o una porción de él”.

Este contexto ha generado la necesidad de diseñar prótesis las cuales son dispositivos que intentan complementar la imagen corporal y simular la funcionalidad de esta parte del cuerpo. Para lograr este objetivo la mecánica jugó un papel primordial en sus primeros diseños, por esta razón se les dio el nombre de prótesis mecánicas o convencionales (gancho y mano mecánica). Más adelante con el avance tecnológico y más específicamente en el área de la robótica y la electrónica, se lograron desarrollar prótesis mejoradas en sus sistemas de control y adaptación hasta lograr una prótesis controlada con impulsos musculares, a la cual se le dio el nombre de prótesis Mioeléctrica (mio= músculo, eléctrica= electrónica) [2].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del presente trabajo se utilizaron electrodos superficiales de cloruro de plata-plata (Ag-Ag Cl) con pasta de cloruro [3], kit de sensores musculares V3 (tarjeta comercial) [4], un plug de audio con cables especiales para electrodos, tela de plata, una batería de 6volts, una tarjeta Arduino UNO R3, IDE de Arduino, una laptop o CPU, un cable USB, jumpers, programa PXL-DAQ y un gripper con servomotor.



**Figura 1. Tarjeta Arduino UNO R3.**

### *A. Electrodo superficiales*

Los electrodos superficiales son colocados sobre la piel, estos electrodos son principalmente superficies de metal, sin embargo, debido al estar en contacto directo con la piel hay que tomar ciertas consideraciones: la piel es un tejido conductor cuyo material intracelular y extracelular está compuesto de soluciones electrolíticas, en la cual la corriente es transportada por iones; mientras que el metal es un material altamente conductor, en el cual la corriente es transportada por electrones, en consecuencia, la interfaz electrodo piel es en sí muy ruidosa.

Existen varios tipos de electrodos de superficie, estos se dividen principal mente en dos grandes grupos: electrodos secos y electrodos húmedos. Los electrodos húmedos son aquellos en los que entre la placa de metal y la piel se encuentra una sustancia electrolítica o gel conductor, esto se hace con el fin de minimizar el ruido intrínseco que se genera entre el contacto de la piel y el metal, este gel conductor mejora la conductividad y el flujo de la corriente y por esa razón se determinó que en este proyecto se utilizaran electrodos húmedos [5].

### *B. Kit de sensores musculares V3*

Este sensor mide la actividad eléctrica filtrada y rectificada de un músculo mediante electrodos superficiales; la salida 0-Vs Voltios dependiendo la cantidad de actividad en el músculo seleccionado, donde Vs significa el voltaje de la fuente de alimentación.



**Figura. 2. Tarjeta V3 para sensores musculares.**

Con esta tarjeta se obtiene la señal eléctrica del antebrazo con un rango de valor de voltaje de 40mv hasta 3400mv aproximadamente eso quiere decir que la tarjeta comercial está amplificando la señal obtenida. La señal amplificada contiene una mezcla de señales biológicas, por ejemplo, se encuentran inmersas las señales de ECG, respiración y dependiendo del lugar se podrían encontrar rastros de EEG.

Es por esta razón que para tener registros claros de EMG es necesario depurar o filtrar la información; esto se logra usando amplificadores operaciones con los cuales se construyen filtros analógicos para obtener registros únicamente de EMG, estas señales se presentan en el rango de frecuencia de 10 a 500Hz lo cual la tarjeta comercial está diseñada para filtrar esas frecuencias.

### *C. Arduino*

Podemos describir a Arduino como la integración tres cosas, como:

- Una placa de hardware libre.
- Un software gratis, libre y multiplataforma.
- Un lenguaje de programación libre.

Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

Un software (más en concreto, un “entorno de desarrollo”) gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que deseamos que este empiece a ejecutar. Es decir: nos permite programarlo.

La manera estándar de conectar nuestro computador con la placa Arduino para poder enviarle y grabarle dichas instrucciones es mediante un simple cable USB, gracias a que la mayoría de placas Arduino incorporan un conector de este tipo.

Un lenguaje de programación libre. Por “lenguaje de programación” se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas.

Concretamente dentro del lenguaje Arduino, encontramos elementos parecidos a muchos otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, etc.), así como también diferentes comandos –asimismo llamados “órdenes” o “funciones” – que nos permiten especificar de una forma coherente y sin errores las instrucciones exactas que queremos programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos los escribimos mediante el entorno de desarrollo Arduino.

### D. Gripper

Se le llama gripper a todos los sistemas de manipulación que están sujetos al brazo del robot y que permiten tomar piezas, manipularlas o sostener las herramientas que realizaran el trabajo [6].

Al realizar una investigación acerca de los gripper se encontró en la web una simple y gran idea [7], la cual consta de que a un popote se le recorta en partes específicas y la punta la unes a un hilo o cordón funciona como una articulación mecánica, el cual es la base para el gripper que se utilizó.

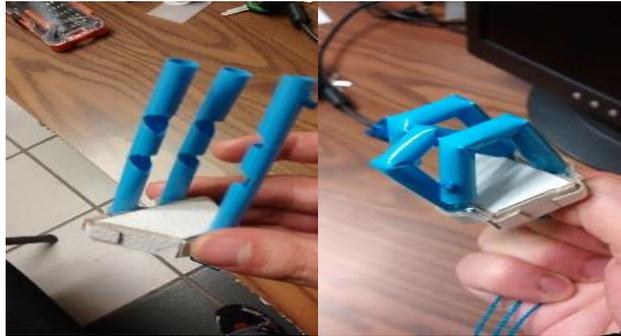


Figura 3. Prototipo inicial del gripper.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ya que se trabaja con voltajes muy pequeños cuando el músculo del antebrazo está en reposo, el ADC de 10 bits con el que cuenta Arduino nos ayuda a codificar la señal que es obtenida de la tarjeta comercial V3. Para hacer la programación en el IDE de Arduino que controla el gripper, primero fue necesario conocer los valores de la señal eléctrica del antebrazo y para ello se utilizó un programa llamado PLX\_DAQ, el cual hace que interactúen Excel y Arduino de tal manera que todos los valores que detecte Arduino en microsegundos los envía en tiempo real a una hoja de Excel para su captura y su posterior análisis. Se ocuparon cinco rutinas diferentes para el antebrazo y mano, tomando 54 muestras por rutina y registrando 3000 muestras por cada tarea. De las rutinas realizadas se obtuvieron datos del músculo del antebrazo colocando la mano en diferentes posiciones:

- De mano abierta a mano cerrada lentamente.
- De mano cerrada a mano abierta lentamente.
- De mano abierta a mano cerrada rápidamente.
- De mano cerrada a mano abierta rápidamente.
- De mano abierta a mano cerrada a mano abierta normalmente.

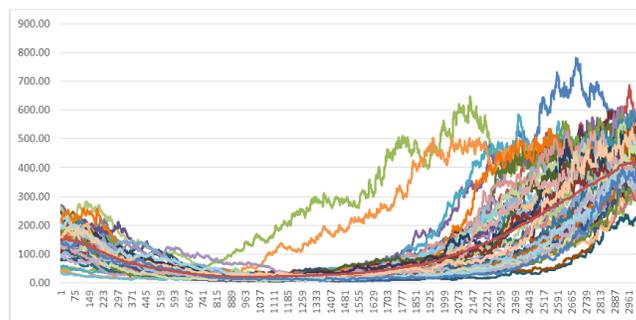
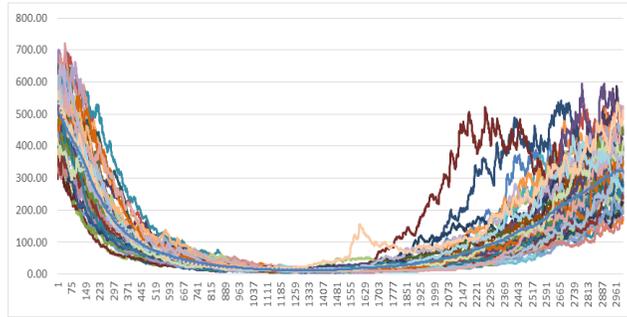
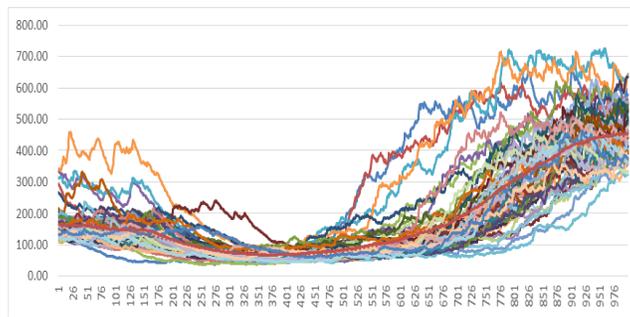


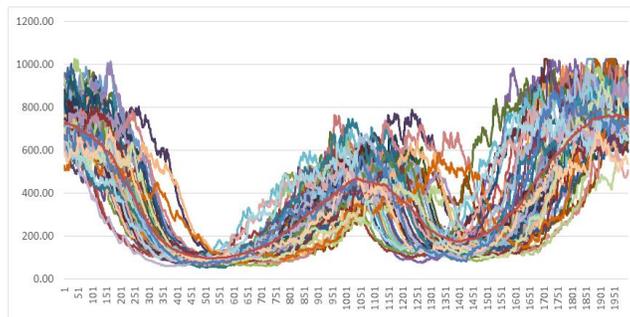
Figura 4. Rutina mano cerrada a mano abierta [mV vs muestras].



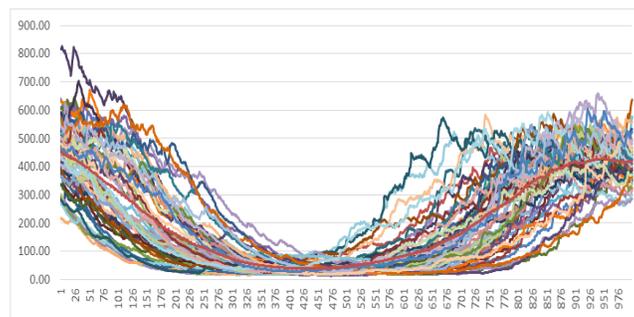
**Figura 5. Rutina mano abierta a mano cerrada [mV vs muestras].**



**Figura 6. Rutina de mano cerrada a mano abierta con movimientos rápidos [mV vs muestras].**



**Figura 7. Rutina de mano abierta – cerrada – abierta [mV vs muestras].**



**Figura 8. Rutina de mano abierta a mano cerrada con movimientos rápidos [mV vs muestras].**

El total de registros realizados es superior a los 500,000 pero con el programa PLX\_DAQ es una manera más sencilla de poder realizar esta tarea. Todos los datos registrados obtenidos de la tarjeta comercial

V3 y la interfaz con fueron procesados mediante el siguiente código para poder hacer la manipulación del gripper.

Arduino cuenta salidas PWM las cuales son muy útiles para controlar los servomotores, el programa anterior dice que cuando Arduino detecte una señal de voltaje en la entrada analógica 0 tiene la indicación de sumar 50 veces los datos y sacar el promedio, ese promedio es necesario ya que el músculo donde se obtiene la señal de entrada constantemente manda varios pulsos aun estando el músculo en reposo, después del promedio se colocan condiciones y que compare la señal de entrada con valores específicos analizados y obtenidos de las gráficas de registro del músculo del antebrazo, si cumple las condiciones entonces se le da la indicación de que debe mandar los grados correspondientes a la señal obtenida del músculo. Al tener ya la señal amplificada, los valores del músculo y el programa que de una entrada analógica lo convierta a salida digital, solo hace falta un actuador, el cual es el resultado final de este proyecto al poder manipular una mano robótica (gripper).



**Figura 9. Mano robot de 3 dedos.**

Se logró realizar una manga con electrodos de tela de plata y otra más con tachuelas de cobre con las cuales se obtienen las señales mioeléctricas que son filtradas y amplificadas mediante el uso de amplificadores de instrumentación. Posterior al acoplamiento de las señales se utilizó Arduino para poder hacer el procesamiento de las mismas y darle una aplicación en una mano robótica.



**Figura 10. Mangas con electrodos de tela de plata y tachuelas.**

Nuestro actuador final (Fig. 9) es un gripper manipulado por un servomotor conectado mediante un hilo de caña, ligas y tornillos que al moverse el servo sobre un eje central gira y enrolla el hilo de caña jalando los dedos y haciendo que se doblen y se desdoblen cuando el servo regresa a su estado inicial y las ligas estiran nuevamente los dedos.



**Figura 11. Manipulación del gripper usando Arduino y la tarjeta V3.**

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos superaron las expectativas de los objetivos planteados al inicio de nuestro proyecto y muestran una mejora considerable en el uso de electrodos comerciales, ya que para las personas con necesidad de una prótesis deben de estar colocando electrodos diariamente. El uso de una manga con electrodos de plata facilita el uso de las prótesis y mejora la interacción entre la piel y el aparato receptor, sin embargo cabe mencionar que es importante que no tenga pelo abundante en el área de los electrodos ya que esto impide el paso de la corriente eléctrica del cuerpo.

El beneficio-costo de las prótesis que se proponen realizar con esta investigación son significativos con respecto a los que se encuentran comercialmente. Se espera que en un futuro próximo ir mejorando el desempeño de cada uno de los elementos utilizados en este proyecto, así como, desarrollar una prótesis de bajo costo y que use el sistema desarrollado del presente trabajo. Se pretende también encontrar materiales que puedan ser ocupados como electrodos y poder mejorar el desempeño que se tiene con los actualmente comerciales.

#### V. APÉNDICE A: PROGRAMA MANO ROBOT

El código que se implementó posterior al filtrado y que hace que la mano robot se mueva de acuerdo a la señal mioeléctrica recibida es el siguiente.

```
#include <Servo.h>
Servo motor;
int dig, val, almacen, media;
float mul=4.8;
float final;
void setup()
{ motor.attach(10);
  Serial.begin(9600);}
void loop(){
  for (i=0,almacen=0;i<50;i=i+1) {
    val=analogRead(dig);
    almacen=almacen + val; }
  media=almacen/50;
  final=media*mul;
  Serial.print(final);
  Serial.println("mv--promedio");
  if (final>950) {
    motor.write(140); }
  else if (final>273 && final<849) {
    motor.write(110); }
  else if (final>200 && final<260) {
    motor.write(90); }
  else if (final>140 && final<190) {
    motor.write(70); }
  else if (final>80 && final<135) {
    motor.write(50); }
```

```
else if (final>50 && final<80) {  
  motor.write(35); }  
else if (final>20 && final<45) {  
  motor.write(30); }  
delay(20); }
```

---

Código 1. Procesamiento de señales y manipulación del gripper.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez por el apoyo brindado al desarrollo del presente proyecto y por el financiamiento del mismo.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art36.pdf>, último acceso: 22 09 2014.
- [2] <https://uametodologia.files.wordpress.com/2011/05/articulo-metodologia2.pdf>, último acceso: 14 10 2014.
- [3] <ftp://ftp.uady.mx/pub/tmp/smagana/TESIS%20FINALIZADA.pdf>, último acceso: 22 10 2014.
- [4] [http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product\\_id=769](http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=769), último acceso: 24 10 2014.
- [5] <http://www.robotec.cl/faq.php>, último acceso: 24 10 2014.
- [6] McRoberts, M. (2010). Beginning Arduino, Ultrasonic Rangefinders, Apress, New York.
- [7] Oser J. (2009). Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware Technology in Action Apress Series Technology in Action Pressbook, Editorial Apress, USA.

# Diseño y simulación de una máquina cortadora para tiras de otatillo “*Rhipidocladum Racemiflorum*”

O. Hernández-Alvarado<sup>1</sup>, L.E. Ramos-Velasco<sup>2</sup>, C. Chávez-Olivares<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Carr. Huejutla Chalahuiyapa Col. Tepoxteco, Huejutla de Reyes Hgo.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Pachuca.

**Resumen**— El objetivo del presente trabajo consiste en el diseño y simulación estática de los elementos mecánicos, mediante el método de elemento finito de una máquina cortadora para tiras de otatillo, capaz de optimizar el tiempo de obtención de tiras. La metodología implementada para el desarrollo tecnológico fue la investigación de campo para conocer el proceso de obtención de tiras y la aplicación de las teorías de diseño mecánico como es la teoría del esfuerzo cortante máximo- Línea de Soderberg, y la simulación por el método de elemento finito, para la obtención de un diseño confiable en cuanto a requerimientos de funcionalidad, garantizando una vida útil a más de 20 años de servicio.

**Temas claves**— Corte en tiras, Método de elemento finito, MSST- Soderberg, Tiras de otatillo.

**Abstract**— The objective of this work is the design and static simulation of the mechanical elements, using the finite element method of a cutting machine for strips Otatillo able of optimizing the time-to-strips. The methodology used for technological development field research was to understand the process of obtaining strips and applying mechanical design theories such as the theory of shear maximum- Soderberg line and simulation element method finite , for obtaining reliable design requirements in terms of functionality , guaranteeing a service life more than 20 years of service .

**Keywords**— Finite element method, MSST- Soderberg line, cut into strips, strips Otatillo.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades del sector agropecuario en la región de la Huasteca Hidalguense, es la tecnificación de las actividades que se desarrollan, principalmente las actividades artesanales entre las que destaca la cestería. La cestería consiste en el trabajo de fibras duras de un tipo bambú conocido como otatillo (*Rhipidocladum Racemiflorum*) para la elaboración de artesanías, a partir del tejido de las tiras de hasta 6 mm de ancho y 1.5 mm de espesor con longitudes de hasta 7 metros [1] [2]. Actualmente la obtención de las tiras se realiza de manera manual utilizando herramientas rusticas, tales como el cuchillo, lo que trae como consecuencia la obtención de tiras no homogéneas en cuanto a dimensiones y un proceso lento (45 a 65 minutos). Para tecnificar el proceso de producción de la cestería, se requiere del conocimiento de cada una de las etapas de producción de la tira, caracterización del otatillo y la maquinaria existente en el mercado. La hipótesis del trabajo de investigación es: La máquina cortadora constará de 3 etapas de corte para el otatillo en tiras, distribuidas en una mesa de 1200 mm de longitud, con una velocidad de avance del otatillo entre 20 y 25 mm/s hacia los cortadores, con lo cual se estima que mejorará el proceso de corte de otatillo en tiras en un 300% el tiempo de corte con respecto al proceso rústico actualmente utilizado por los artesanos. Por lo tanto el objetivo del trabajo es diseñar y simular estáticamente los elementos mecánicos de la máquina cortadora para tiras de otatillo mediante el método de elemento finito, para mejorar la calidad de corte de otatillo, y el tiempo de obtención de las tiras, eliminando los riesgos a accidentes por la manipulación de herramientas. Este trabajo tendrá su alcance hasta el modelo virtual.

Bajo este contexto, el diseño de máquinas juega un papel importante, para explotar al máximo las economías de las regiones rurales de la Huasteca hidalguense. Se han diseñado una gran variedad de

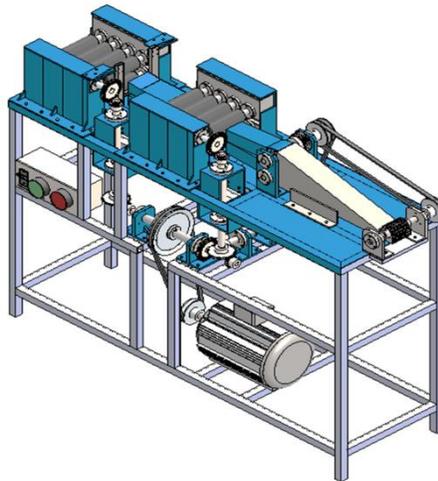
máquinas para el corte en tiras de bambú, principalmente en China, pero ninguno cumple con los requerimientos de corte de las tiras de la *Rhipidocladum Racemiflorum*, el cual conlleva la necesidad de diseñar una máquina para cortar tiras de otatillo. Durante la concepción de cualquier tipo de máquina se usan herramientas computacionales de modelado y de simulación numérica de los componentes para agilizar el proceso de concepción del modelo y la validación del diseño.

#### A. *Características de la Rhipidocladum Racemiflorum*

Es un tipo de bambú regionalmente conocido como otatillo. Su hábitat natural es bosque mesofólicos de montaña o bosques de encino, en barrancas húmedas o a orillas de ríos o arroyos. Generalmente prefieren suelos fértiles y bien drenados a altitudes de 300 a 1750 msnm. Alcanzan en su etapa madura hasta un diámetro de 5 cm en su base y longitudes de hasta 7 metros con diámetros en su culmo de 1 cm. Cuenta con 2 ramas o yemas laterales de hasta una longitud de 50 cm.

#### B. *Estructura de la maquina propuesta*

El diseño de la máquina se presenta en la figura 1, el cual está integrado de 3 etapas de corte. En la etapa 1 está integrado por un sistema de rodillos, por un cortador fijo 1 y un ducto guía para la segunda etapa de corte. En esta primera etapa el otatillo se corta en dos secciones semicirculares, el cual se elimina la parte donde se encontraba las ramas laterales. La etapa 2 está integrada por un segundo sistema de rodillos de impulso como la descrita en la etapa 1, por 2 cortadores (superior e inferior) y un ducto guía hacia los cortadores. Los cortadores tienen una geometría convexa con 15 filos o gavilanes para retirar la fibra celulosa del otatillo, ambos cortadores se montan ejes que son sincronizados mediante 2 engranes de dientes rectos. La etapa 3 está integrada por un ducto guía para el cortador de discos 3, el cortador de discos 3, y unos soportes que sostiene al eje del cortador 3.



**Figura 1. Modelo virtual de la máquina cortadora para tiras de otatillo.**

#### B. *Fundamentos teoricos del diseño mecanico.*

En los últimos años tanto el equipo de cómputo como el software para modelado, simulación y análisis de esfuerzos han experimentado un desarrollo acelerado que han hecho cada vez el proceso de diseño de maquinaria sea cada vez más rápido, realizando cálculos más complejos en menor tiempo. La implementación de algoritmos tales como el Método de Elemento Finito (MEF) son utilizados para el diseño de máquinas. Este método es una técnica numérica para analizar diseños de ingeniería y está aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y compatibilidad para ser implementado en computadoras. El MEF divide (discretiza) el modelo en numerosas piezas pequeñas de formas simples llamadas "elementos", que reemplazan eficazmente un problema complejo por muchos problemas simples que deben ser resueltos de manera simultánea [4]. El método consiste en

tres fases: Pre proceso, proceso y pos proceso. Los 3 procesos mencionados no se pueden llevar de manera independiente ya que están interrelacionados. En cada elemento se crea una matriz de rigidez que va en función del número de nodos que tiene el elemento. La matriz de rigidez se expresa mediante la ecuación (1) que posteriormente estas matrices se ensamblan para solucionar el modelo.

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\{F\}_{sistema} = [K]_{sistema} \{u\}_{sistema} \quad (2)$$

La carga sobre el eje puede ser de varias combinaciones de flexión (casi siempre fluctuante); de torsión (fluctuante o no); de cortante de choque, axial, normal o transversal [5]. El cambio de sección transversal provoca concentradores de esfuerzos que se atribuyen a numerosos factores tales como; deformaciones críticas, cambios de temperatura y corrosión [6]. La teoría de la energía de la distorsión (DET) es también conocida como el criterio de Von Mises, postula que la falla es causada por la energía elástica asociada con la deformación cortante. Esta teoría es válida para materiales dúctiles que están sujetas a cargas estáticas y predice la fluencia bajo cargas combinadas con mayor exactitud que cualquier otra teoría reconocida [7]. La *DET* predice la falla si

$$\frac{16}{\pi d^3} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \geq \frac{S_y}{n_s} \quad (3)$$

La MSST predice la falla si se cumple la condición

$$\frac{32\sqrt{M^2 + T^2}}{\pi d^3} \geq \frac{S_y}{n_s} \quad (4)$$

Las cargas cíclicas varían durante todo un ciclo en vez de permanecer constantes, como las cargas estáticas. El proceso de fatiga en los materiales dúctiles puede ser gobernado por 2 mecanismos. El primero se refiere a la deformación plástica local cerca de los extremos críticos y la segunda por las precipitaciones no metálicas y otros defectos micros estructurales. [8]. Los concentradores de esfuerzos, por la geometría compleja que presentan es recomendable analizarlo mediante el método por elemento finito, que es un método que sigue una ruta de soluciones numéricas, y es muy importante para la validación de soluciones numéricas [9]. Con la línea de soderberg y la MSST, se crea la ecuación que predice el diámetro seguro más pequeño para un factor de seguridad específico, se escribe como.

$$d = \left[ \frac{32\eta_s}{\pi S_y} \sqrt{\left( M_m + \frac{S_y}{S_e} K_f M_a \right)^2 + \left( T_m + \frac{S_y}{S_e} K_{fs} T_a \right)^2} \right]^{1/3}$$

En esta ecuación incluyen los concentradores de esfuerzo y los factores modificadores del límite a la fatiga; estos concentradores de esfuerzos, son sitios de deformaciones unitarias y son los principales causantes de la iniciación y crecimiento de las grietas. La dirección de la propagación de la grieta están relacionados por el factor de intensidad de esfuerzos y que es muy susceptible la falla por fatiga [10].

De todos los tipos, el engrane recto es el más sencillo, razón por la cual se usará para desarrollar las relaciones cinemáticas básicas de la forma de los dientes. Cuando los engranes se usan para transmitir movimiento entre ejes que se intersectan, se requiere los engranes cónicos. Aunque por lo general estos engranes se hacen para un ángulo del eje de 90°. Las cargas que actúan en el diente de engranes cónicos

rectos, son las cargas tangenciales, axiales y radiales. La carga tangencial se puede obtener a través de la potencia y la velocidad en la línea de paso y viene expresado como:

$$W_t = \frac{60\,000\,H}{\pi d \omega} \quad (6)$$

El esfuerzo de flexión se expresa mediante la ecuación:

$$\sigma_F = \frac{1\,000W^t}{b} \frac{K_A K_v}{m_{et}} \frac{Y_x k_{H\beta}}{Y_\beta Y_J} \quad (7)$$

La ecuación del esfuerzo de flexión permisible es

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F\lim} Y_{NT}}{S_F K_\theta Y_Z} \quad (8)$$

Los engranes normalmente están sometidos a ciclos altos de impacto que se encuentran en el rango de 550 MPa 790 MPa, con el cual muestra que el que el comportamiento de la deformación y la amplitud del cambio de deformación plástica provoca falla prematura en el material por la formación de grietas en la superficie del diente [11]. Las transmisiones por tornillo sin fin se caracterizan por su elevada relación de transmisión, alta capacidad, pero su principal desventaja es el alto deslizamiento en la zona del engranamiento, lo cual es la razón esencial para su baja eficiencia [12] [13].

Los sistemas de transmisión por bandas permiten la flexibilidad en el posicionamiento. Un adecuado diseño de los sistemas de transmisión por bandas suministra alta eficiencia, la limpieza y la baja interferencia, que no necesita lubricación y requiere de muy bajo mantenimiento [14]. Las fuerzas de fricción generadas en la polea impulsora e impulsada juegan un papel importante para la eficiencia en la transmisión, además de las fuerzas centrífugas [15]. Esta relación se puede representar matemáticamente mediante la ecuación de Euler modificado que se derivar como sigue:

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\mu d \phi / \sin \beta} \quad (9)$$

Los rodamientos rígidos de bolas radican en que el rozamiento inicial de arranque no es mucho mayor que en funcionamiento y además en que el coeficiente de rozamiento, salvo para valores extremos, varía poco con la carga y con la velocidad, lo cual no ocurre con los cojinetes. Se define como vida útil para rodamiento como el número total de revoluciones que soporta o el número total de horas de trabajo que aguanta a una velocidad constante, necesarias para que aparezcan fallos en el funcionamiento [16].

$$L = \left[ \frac{C}{P} \right]^p \times 10^6 \text{ revoluciones} \quad (10)$$

## II. DESARROLLO

En esta sección se describe el trabajo realizado. Se pueden mostrar ecuaciones, tablas y figuras. La sección puede tener subsecciones de la siguiente manera.

### C. *Análisis del acoplamiento del tornillo sinfín y corona.*

Cada rodillo transmitirá una carga tangencial de **197.63 N**, para la tracción del otatillo hacia el cortador 1, generando un torque de 4.34 Nm. La velocidad de deslizamiento en el diámetro medio del sinfín  $V_g = 143.37 \text{ mm/s}$  y las velocidades tangenciales del tornillo sinfín  $V_w = 142.9 \text{ mm/s}$  y el engrane  $V_g = 15.15 \text{ mm/s}$ . El coeficiente de fricción en la línea de deslizamiento del sinfín y el

engrane para una velocidad de deslizamiento de 143.37 mm/s es de 0.074. La eficiencia de la transmisión  $\epsilon_w = 0.66$ . La fuerza tangencial transmitida del engrane  $W_G^t$  se relacionarse con la potencia de salida  $H_o = P$ , la potencia del sistema es 3.04 W.

$$W_G^t = \frac{n_d * H_o * K_a}{V_G * \epsilon} = \frac{1.5 * 3.04 * 1.3}{0.01515 * 0.66} = 592.85 \text{ N} \quad (11)$$

Por lo tanto la fuerza tangencial del tornillo sinfín es de;

$$W_w^t = W_G^t \frac{\cos \phi_n \sin \lambda + f \cos \lambda}{\cos \phi_n \cos \lambda - f \sin \lambda} = 139.67 \text{ N} \quad (12)$$

La norma AGMA relaciona la fuerza tangencial permisible en el diente del engrane del tornillo sinfín  $W_{perm}^t$  [17]. La carga permisible es 1 817 .6 N. Los esfuerzos de flexión debido a la transmisión de carga, en los engranes helicoidales está dado por la adaptación de Buckingham de la ecuación de Lewis. El factor de forma de Lewis y está relacionado con el paso circular. Para;  $\phi_n = 20$  ,  $y = 0.125$ ;

$$\sigma_G = \frac{W_G^t}{p_n F_G y} = 59.54 \text{ MPa} \quad (13)$$

El engrane cónico piñón transmitirá una carga tangencial de  $W_{t_p} = 173.93 \text{ N}$ , una carga radial de

$$W_{r_p} = W_{t_p} \tan \varphi \cos \gamma = 173.93 \text{ N} \tan 20^\circ \cos 26.565^\circ = 56.6 \text{ N}$$

y una carga axial de

$$W_{a_p} = W_{t_p} \tan \varphi \sin \gamma = 173.93 \text{ N} \tan 20^\circ \sin 26.565^\circ = 28.3 \text{ N}$$

El esfuerzo de flexión en el impulsado es

$$\sigma_{Fg} = \frac{1000 W_t}{b} \frac{K_A K_V}{m_{st}} \frac{Y_x K_H \beta}{Y_\beta Y_j} = \left[ \frac{1\ 000 (173.9 \text{ N})}{38} \frac{0.00275 (1.02)}{2.1} \frac{0.5043(1)}{1(0.23)} \right] = 13.15 \text{ MPa} \quad (14)$$

El esfuerzos de flexión permisible mediante un acero recomendado por la AGMA es de

$$\sigma_{Fperm} = \frac{\sigma_F \text{ limit} * Y_{NT}}{SF * K_\theta * Y_Z} = \frac{150 \text{ N/mm}^2 * 2.7}{2 * 1 * 1} = 202 \text{ MPa} \quad (15)$$

Está integrado por 3 sistemas de corte; el primero consta de cortador fijo para retirar las yemas laterales del bambú y cortarlos en 2 semicírculos (figura 2a), es guiado hasta este cortador mediante un conjunto de rodillos con forro de neopreno, impulsados mediante el acoplamiento del mecanismo tornillo sinfín y corona, que a su vez es impulsado por acoplamiento de engranes cónicos montados en el eje principal como se muestra en la figura 5. El segundo consta de 2 cortadores circulares cóncavos para retirar la fibra interna celulosa del bambú (figura 2b) y el tercero 3, es un cortador integrado con discos cortadores distribuidas a una distancia de acuerdo al ancho de las tiras que se requieren (figura 2c). Estos últimos 2 cortadores son impulsados mediante bandas y poleas en V.

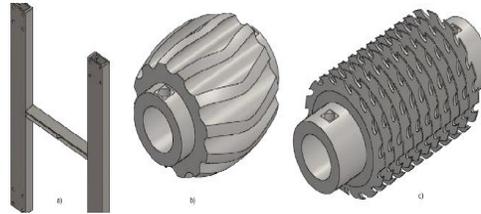


Figura 2. Cortadores de los sistemas de corte de la máquina cortadora para tiras de otatillo.

### III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

El comportamiento mecánico de la corona del sinfín mediante las ecuaciones de AGMA señalan que el carga en el diente es de 592.8 N, mientras que la carga permisible es de 1817.6 N Lo que se comprueba que la carga permisible en el diente del engrane es mayor que la carga real que se presenta en el diente del engrane por lo que el factor de seguridad es de 3.06. Mediante la simulación por FEM los resultados se describen a continuación.

El esfuerzo más alto ocurre en la raíz del diente y tiene una magnitud de 53 MPa muy cercano al que se obtuvo por la ecuación de esfuerzo por flexión modificada de AGMA que es de 58.41 MPa. El desplazamiento más alto ocurre con una magnitud de 0.0035 mm en el diente del engrane, mientras que la holgura (espacio) entre el diente del sinfín y del engrane es de 0.2794 mm (0.011 pulgadas) lo que indica que este desplazamiento no provocara ninguna interferencia entre los dientes. Para el acoplamiento de engranes cónicos el esfuerzo de flexión del engrane y piñón es de 13.15 MPa y 10.65 MPa, y para el material propuesto el esfuerzo permisible es de 202 MPa.

El factor de seguridad por comparación directa son: 15.36 para el engrane y 18.96 para el piñón. La figura 3 (a) muestra los resultados del análisis de esfuerzo por von mises donde la carga critica ocurre en la raíz del diente del engrane con una magnitud de 13.59 MPa y una deflexión máxima del diente con un desplazamiento de 0.0009 mm. Mientras que para el Piñón 3 (b), el desplazamiento máximo es de 0.0007 mm, mientras que la holgura entre dientes es de 0.4572 mm permitiendo la no interferencia o auto bloqueo en el diente del engrane.

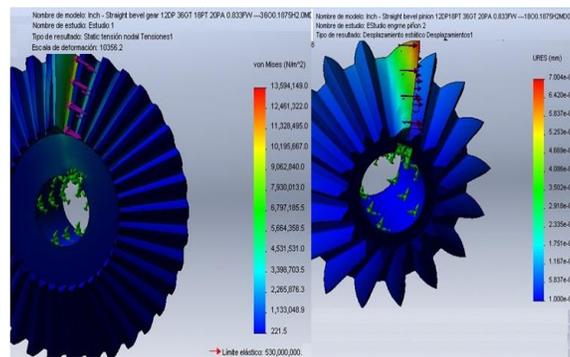
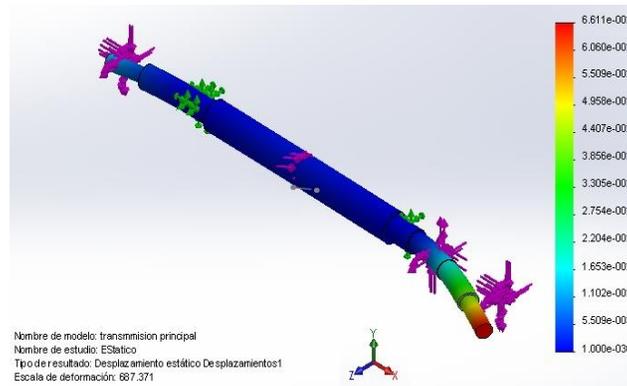


Figura 3. Análisis de esfuerzos engrane cónico impulsado y desplazamientos de piñón del sistema de acoplamiento.

En el eje de transmisión principal, los factores de seguridad se muestran en la tabla 1 indican que los 3 concentradores de esfuerzos críticos del eje para la transmisión principal se encuentran protegidos, por lo que los diámetros son adecuados, con un acero AISI-SAE 1020. La deflexión máxima ocurre en el punto de ensamble del engrane piñón hacia el conjunto de rodillos de Neopreno 2 con un desplazamiento de 0.06 mm y en el acoplamiento de engranes cónicos para los cortadores 2 y 3 de 0.02 mm lo que indican que este desplazamiento no provocara interferencia de dientes en el acoplamiento de los engranes ya que la holgura es de 0.45 mm (figura 4). El factor de seguridad es de 14 encontrado mediante el criterio de Tresca. El esfuerzo flexionante máximo es de 23.57 MPa. Los rodamientos propuestos mediante el cálculo son los rodamientos FAG 6004 que proporcionan una vida útil en horas de **1 689 474.4 horas**.



**Figura. 4. Deflexiones presentes en el eje para transmisión principal por la acción de las cargas de transmisión.**

De esta forma se concluye que: Todos los elementos que conforman la máquina cortadora para tiras de (bambú) otatillo están diseñados bajo parámetros y criterios que permiten a la máquina un mejor desempeño, rendimiento fiabilidad. Además de que son de fácil mantenimiento y control. La simulación en el programa *Solid Works* facilitó comprobar los resultados de los cálculos y análisis por métodos analíticos de algunos variables fundamentales para el correcto funcionamiento de la máquina como son esfuerzos en elementos, factores de seguridad y desplazamientos para no bloquear el acoplamiento de los engranajes. Para el ensamble es importante la alineación correcta de los elementos de transmisión, ya que la mala ubicación de los mismos provoca un incremento en el torque del motor ocasionando su sobrecalentamiento.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan el agradecimiento a CONACYT, por la beca en la modalidad de posgrados con la industria otorgada para la realización de esta investigación y a la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense por las facilidades otorgadas.

#### REFERENCIAS

- [1] Sulekic, A; Rúgulo de agrasar Zulma y G. Clark, L. (1999). El género *Rhipidocladum* (poaceae, bambuseae) en la argentina. En: *Darwiniana*. Vol. 37 pp. 315-322.
- [2] BAMBUMEX. (2005). El bambú en México. En Artículo de revista electrónica *Bio Bambú*. Consultado el 15 de marzo del 2014. Disponible en <http://www.bambumex.org/paginas/ARTESANIAS.pdf>
- [3] Hidalgo López, O. (1974). Bambú su cultivo y aplicaciones en papel, construcción, ingeniería, artesanía. Cali, Colombia. *Estudios Técnicos Colombianos, Ltda*. pp. 214-223.
- [4] Budynas, R. (1999). *Advanced strength and applied stress*. China. Ed. Mc Graw Hill.
- [5] L. Mott, R. (1995). *Diseño de elementos de máquinas*. México. Ed. Pearson Educativa.
- [6] Dieter, G.E. en Farley J. et al. (2010). Low cycle fatigue simulation and fatigue life prediction of multilayer coated surfaces. En: *Wear* Vol. 269. pp. 639-646.
- [7] Hamrock J, B; Jacobson, B. y Schmid, S. (2000). *Elementos de máquinas*. México. Ed. Mc Graw Hill.
- [8] Socha, G. (2003) Experimental investigations of fatigue cracks nucleation, growth and coalescence in structural Steel. En: *International journal of fatigue*. Vol. 23. pp. 139-147.
- [9] Sandor, I. B. (1999). *Mechanical Engineering Handbook*. USA. Ed. Frank Kreith.
- [10] Akgul, M. et al. (2014). Investigation of distortion-induced fatigue cracked welded details using 3D cracked propagation analyses. En: *International journal of fatigue*. Vol. 64. pp. 54-66.

- 
- [11] Mo ko W. (2014). The influence of stress-controlled tensile fatigue loading on the stress- strain characteristic of AISI 1045 steel. En: Material and desing. Vol. 58. pp. 145-153.
- [12] G. Budynas, R. y Nisbett K, J. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México. Ed. Mc Graw Hill.
- [13] Soto Berumen L. et al. (2007). La importancia del correcto diseño de las transmisiones por tornillo sinfín para lograr una adecuada eficiencia. En Actas del congreso Iberoamérica de ingeniería mecánica (pp. 1-8). Pontificia U. de Perú.
- [14] De Almeida A; Greenberg S. (1995). Technology assessment: energy – efficient belt transmissions. En: Energy and buildings. Vol 22. pp. 245-253.
- [15] Shieh, C-J; Chen, W-H. (2002). Effect of angular speed on behavior of a V-belt drive system. En: International journal of mechanical sciences. Vol 44, pp. 1879-1892
- [16] FAG. (2000). Manual de rodamientos y caracterización técnica de FAG, catalogo WL 41 520/3 SB. (Edición 2000).
- [17] ANSI/AGMA. (1992) Practice for Enclosed Cylindrical Wormgear Speed-Reducers and Gear Motor y Design Manual for Cylindrical Wormgearing, 6034-B92s y 6022-C93

## **Registro de Ubicación de Sensores Remotos de Presión**

J.I. Vega-Luna<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, M.A. Lagos-Acosta<sup>1</sup>, V.N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>, F.J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, Azcapotzalco, México D.F. MEXICO. Teléfono (55)-53189552.

**Resumen**— en este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sistema de registro de ubicación de medidores remotos de presión. El objetivo principal fue diseñar y construir un sistema que indique y registre, con cierta precisión, en una computadora personal la ubicación de sensores de presión, ubicados remotamente, así como los valores de presión entregados por los sensores para poder ser reportados a autoridades certificadoras que así lo requieren.

**Temas claves**— Arduino, GPS, presión, sensor, ZigBee.

**Abstract**— this paper presents a pressure sensor location and record system design. This system record and display in a personal computer the pressure value and sensor location to generate a report to audit and environment authorities.

**Keywords**— Arduino, GPS, pressure, sensor, ZigBee.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las variables que se encuentra presente en diferentes aplicaciones y procesos industriales, en laboratorio de investigación y desarrollo, e inclusive en hospitales, es la presión. En muchas de estas aplicaciones, es necesario controlar, o por lo menos monitorear los niveles de presión alcanzados, ya que si se sobrepasan ciertos niveles umbral, la presión se convierte en una variable de alto riesgo. Los sensores de presión son dispositivos que tienen la capacidad de traducir las variaciones de presión en señales eléctricas, mismas que pueden ser procesadas después por un sistema digital construido con un microprocesador o un microcontrolador.

Muchas instalaciones o industrias, además de que deben cumplir con estándares de funcionamiento, monitoreo, medición y mantenimiento, por parte de organismos gubernamentales o privados, son auditados periódicamente para poder ser certificadas. Un requisito importante, que con el avance de la tecnología se ha incorporado recientemente a estas auditorías, es que las empresas o industrias que cuentan con sistemas de medición y monitoreo de presión de fluidos y gases, indiquen la ubicación exacta de los sensores usados en sus instalaciones mediante lecturas proporcionada usadas por Sistemas de Posicionamiento Global o GPS (Global Positioning System).

El GPS es un sistema de navegación que permite determinar en el planeta la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros. El GPS está basado fundamentalmente en una red de 24 satélites llamada NAVSTAR. Los satélites están situados en una órbita geoestacionaria a unos 20,200 Km. de la tierra y son usados por receptores GPS para determinar una posición en el planeta. La red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América y es administrada por el Departamento de Defensa (DoD). El GPS tiene básicamente tres divisiones: espacio, control y usuario. La división espacio incluye la red de satélites NAVSTAR y los cohetes Delta que lanzan los satélites desde Cabo Cañaveral, en Florida. Los satélites GPS tienen una inclinación de 55° para asegurar la cobertura de las regiones polares. La energía la proporcionan celdas solares, por lo que los satélites se orientan continuamente dirigiendo los paneles solares hacia el Sol y las antenas hacia la Tierra. Cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos. La división control incluye la estación de control principal en la base de la Fuerza Aérea Falcon, en Colorado Springs, y las estaciones de observación situadas en Falcon AFB, Hawaii, en la isla de Ascensión en el Atlántico, en Diego García en el océano Índico y en la isla Kwajalein en el Pacífico Sur. Las divisiones de control usan las medidas tomadas por las estaciones de observación para predecir el comportamiento de las

órbitas y relojes de cada satélite. Los datos de predicción se conectan a los satélites para transmitirlos a los usuarios. La división control también se asegura que las órbitas de los satélites GPS permanezcan entre los límites y que los relojes no se alejen demasiado del comportamiento nominal. La división usuario es tal vez la más grande y diversa, ya que incluso antes de que todos los componentes de los satélites estuvieran en órbita, los investigadores utilizaban el GPS para adelantar días o semanas los métodos oficiales de investigación. Las aplicaciones del GPS son muy diversas, se utilizan en sistemas de navegación de aviones, barcos, sistemas de aproximación en puertos, aeropuertos, seguimiento de flotillas de transporte de productos y personal, entre otras.

El funcionamiento básico del sistema GPS se basa en el hecho de que cada satélite usa dos tipos de datos: 1).- Las Efemérides, que son la posición exacta en el espacio y la hora atómica exacta o UTM (Universal Time Coordinated), y 2).- Los datos del Almanaque, que es la información anterior y órbitas de los otros satélites de la red, incluyendo su salud (para indicar si debe o no ser considerado para la toma de la posición). Cada satélite transmite continuamente esta información por medio de señales de radio a la Tierra. Al activarse un receptor GPS portátil, recibe las señales de los satélites, iniciando por la más fuerte, de manera que puede empezar a calcular la distancia exacta hasta ese satélite y ubicar otros satélites en el espacio. De esta forma, se obtiene la distancia entre el receptor y el satélite por medio del retardo temporal entre que el satélite envía la señal hasta que el receptor la recibe. Cada satélite tiene la ecuación de un esferoide, donde la intersección de todos estos esferoides indica la posición del usuario. Los satélites transmiten dos señales a la misma frecuencia. Estas señales son moduladas en fase (BPSK) por diferentes códigos pseudo-aleatorios y el receptor GPS calcula la correlación entre el código recibido y el código del satélite cuya señal pretende detectar. De esta forma, se pueden separar las señales de los diferentes satélites, y finalmente se obtiene el retardo temporal. Al calcular el retardo temporal entre 3 satélites y el usuario se obtiene la posición deseada ( $X_i, Y_i, Z_i$ ), ya que al cortarse tres esferoides se puede definir un punto o posición, sin embargo, se usan 4 satélites para tener una precisión muy buena y una gran estabilidad de los relojes, tanto en el satélite como en el receptor. Se sincroniza el reloj del receptor GPS con el reloj atómico del satélite. Así, mediante la trilateración se determina la posición del receptor, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Obteniendo información de dos satélites se determina una circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas en algún punto de la cual se encuentra el receptor.
- Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud).

Por otra parte, existe una gran variedad de sensores de presión. La presión es una fuerza aplicada sobre un área determinada y es medida en unidades de fuerza por unidad de área [1]. Esta fuerza se puede aplicar a un punto en una superficie o distribuirse sobre la misma. Cada vez que se ejerce esta fuerza, se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión. La medida de presión puede ser desde valores muy bajos, que se consideran un vacío, hasta miles de toneladas por unidad de área. Los principios que se aplican a la medida de presión se utilizan también para medir temperatura, flujo y nivel de líquidos. Para medir la presión se usan sensores dotados de un elemento sensible a la presión y que emiten una señal eléctrica al variar la presión. En el sistema internacional de medidas, la presión está estandarizada en Pascales y en los países de habla inglesa se utiliza PSI. Un PSI es igual a 6.895 KPascal. Existen diferentes métodos usados para medir la presión, entre los que se encuentran: la columna de líquido, el sensor diferencial y el tubo de Bourdon.

#### A. La columna de líquido

Es un manómetro en forma de "U" y un sistema de medición absoluto que no depende de calibración. La ecuación usada en este dispositivo de columnas es la siguiente:  $p_1 = \rho gh + p_2$ . Si la columna de fluido en el nivel superior está abierta a la atmósfera ( $p_2 =$  presión barométrica) se tendrá que  $p_1$  es una presión relativa. Si la columna es sometida a vacío ( $p_2$  es cero absoluto), entonces  $p_1$  es la presión absoluta (teniéndose un barómetro). Esta ventaja lo hace un artefacto muy común, pero su desventaja principal es la longitud de los tubos necesarios para una medición de presiones altas y, desde el punto de vista de la instrumentación de procesos, no es trivial transformarlo en un sistema de transmisión remota de información sobre presión. Este

dispositivo mide la presión relativa a la presión atmosférica (aunque  $p_1$  y  $p_2$  en el manómetro en "U" podrían ser parte de un proceso). Sin embargo, en muchas aplicaciones es necesario determinar la presión relativa entre dos puntos y los dispositivos que pueden hacerlo se conocen como sensores (o manómetros) de presión diferencial.

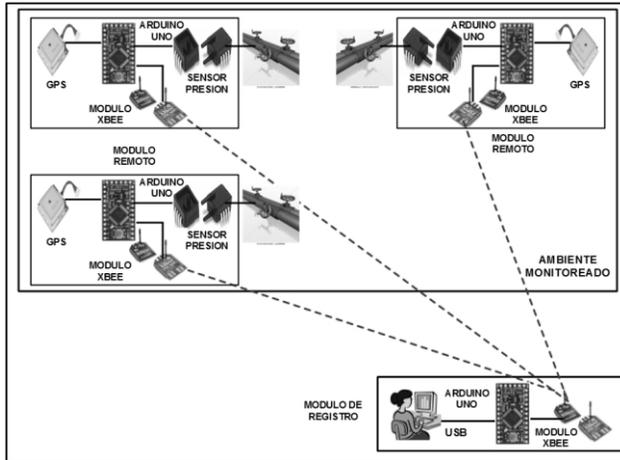
### *B. Los tubos de Bourdon*

El método más común para medir la presión es usando el barómetro de Bourdon, el cual consiste de un tubo plano de bronce o acero en forma de arco. Conforme se aplica presión al interior del tubo, éste tiende a elongarse, transmitiendo este movimiento a una caratula por medio de un mecanismo amplificador adecuado o a un sistema de variación de resistencia o campos eléctricos o magnéticos. Los tubos de Bourdon para altas presiones se fabrican de acero. Puesto que la exactitud del aparato depende en gran parte del tubo, sólo deben emplearse tubos fabricados de acuerdo con las normas más rigurosas y envejecidos cuidadosamente por el fabricante. Los manómetros en uso continuo, y especialmente los sometidos a fluctuaciones rápidas y frecuentes de presión, deben verificarse repetidas veces. Un procedimiento cómodo para hacerlo consiste en tener un manómetro patrón exacto que pueda conectarse en cualquier punto de la tubería en la que está unido el manómetro regular y efectuar comparaciones. A intervalos regulares debe confrontarse el manómetro patrón con el manómetro de peso directo o contrapesos. El manómetro de Bourdon es completamente satisfactorio para presiones hasta de unas 2000 ATM, siempre que sea suficiente una exactitud de 2 a 3 %. El manómetro de Bourdon depende de la elasticidad de los materiales utilizados en su construcción. Hoy en día, existen diferentes fabricantes de sensores de presión, los cuales proporcionan en su salida una señal digital, lo cual, además de simplificar el desarrollo de interfaces y aplicaciones, tienen mejores tiempos de respuesta [2]. Es el caso del sensor de presión usado en este trabajo.

Por otra parte, las tecnologías inalámbricas han hecho que la forma de usar de muchos dispositivos sea más fácil, segura, cómoda y rápida. Actualmente existen tres principales tecnologías de transmisión de datos: WiFi, Bluetooth y ZigBee [3]. La tecnología WiFi es el estándar usado en el protocolo de comunicaciones en redes de computadoras WLAN y consume mucha potencia en las aplicaciones de monitoreo remoto como la realizada en el trabajo aquí presentado [4]. La tecnología Bluetooth es mejor que WiFi en lo referente a consumo de energía y distancia alcanzada, sacrificando velocidad de transmisión de datos y es limitada en términos de la cantidad de nodos que soporta. Finalmente, la tecnología ZigBee (IEEE 802.15.4, grupo de trabajo 4 del IEEE 802.15), a pesar de ser de la misma familia de Bluetooth (802.15 WPAN-Personal Area Network), es de bajo consumo de energía, relativamente sencilla de usar, alcanza distancias grandes, soporta una gran cantidad de dispositivos conectados en red, pero no alcanza grandes velocidades de transmisión. Además de leer datos desde dispositivos remotos, con este protocolo se les puede enviar también comandos a estos dispositivos para la realización de aplicaciones de automatización y monitoreo que incluyan implantar redes de hasta 65,000 dispositivos ZigBee [5]. Los transceptores ZigBee trabajan a una frecuencia de 900 MHz. a 2.4 GHz. y a una velocidad serie máxima de 250 Kbps. [6].

## **II. DESARROLLO**

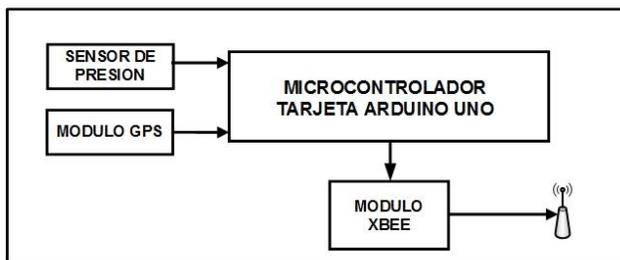
La metodología seguida es este trabajo consistió en dividir el sistema completo en dos etapas, la primera etapa fue la construcción de un módulo de medición remoto, ubicado en el proceso en el cual se realiza la medida de presión, y la segunda etapa consistió en la construcción de un módulo de registro, ubicado en una oficina central de monitoreo. El sistema se usará en principio en un centro de datos donde existe una red de tuberías que transportan el agua de los sistemas de ventilación y enfriamiento. En una primera versión del sistema se construyeron cinco módulos remotos, cada uno instalado en una ubicación geográfica diferente en la red de tuberías. Estos módulos se encargan de recibir tanto de un módulo GPS la ubicación de un sensor de presión como el valor que mide el mismo sensor. En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques del sistema construido y sus principales componentes cuya función se explicará a continuación.



**Figura 1. Diagrama de bloques del sistema**

*C. El módulo remoto*

Para construir el módulo remoto en la primera fase de la metodología, se consideraron básicamente tres aspectos para seleccionar sus componentes. El primer aspecto fue que el líquido transportado en la tubería es agua, un líquido no corrosivo, y que la presión máxima alcanzada es de 2 PSI. Tomando estos parámetros como base, se seleccionó el sensor ASDXLDO, cuyas características principales se presentarán más adelante en este documento. El segundo aspecto que se consideró fue que no debería instalarse cableado adicional ya que todo el cableado en un centro de datos es estructural, el cual cumple con estándares sumamente estrictos y el modificarlo o incluir en él líneas de transmisión de datos es un proceso muy complejo, por lo que la transmisión de datos desde los módulos remotos al módulo de registro debería ser inalámbrica. El tercer punto tomado en cuenta fue que la distancia más grande entre la estación de monitoreo y un sensor de presión es de 80 metros. Tomando en cuenta estos dos últimos requisitos, se decidió seleccionar como transmisor de RF un módulo XBee, el cual presenta además las ventajas de la tecnología ZigBee ya indicadas en la introducción de este trabajo. El último paso para diseñar el módulo remoto, fue interconectar el sensor de presión, el transmisor de RF y el receptor GPS, que proporciona las coordenadas geográficas del módulo. Para lograr esto se utilizó una tarjeta Arduino Mini, ya que es una tarjeta de código abierto, con una amplia variedad de bibliotecas y de precio accesible. La Figura 2 muestra un diagrama de bloques del módulo remoto.

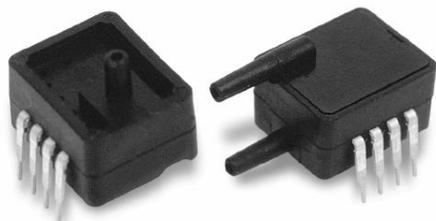


**Figura 2. Diagrama de bloques del módulo remoto**

A continuación se describirán las características principales de los componentes del módulo remoto para posteriormente explicar su funcionamiento.

La tarjeta Arduino Mini usada contiene un microcontrolador ATmega328 de 8 bits. Los principales recursos con los que cuenta este microcontrolador son los siguientes: 14 líneas digitales de entrada/salida, 32 KB de memoria RAM, 2 KB de memoria RAM, un puerto serie USART y un adaptador USB, suficiente para los requisitos del módulo remoto.

El sensor de presión utilizado es el modelo ASDXLDO [7]. Es un dispositivo fabricado por Honeywell. Calibrado y compensado en temperatura, es fabricado en formato DIP (Dual In-line Package) y listo para insertarse en una placa de circuito impreso. En la Figura 3 se muestra un módulo de un sensor ASDXLDO. Este sensor está diseñado para usarse con fluidos no corrosivos cumpliendo con los estándares ISO 9001. Puede medir una presión máxima de 3 PSI. Se alimenta con una fuente de 4.75 Vdc a 5.25 Vdc, consume (típicamente) 6 mA, trabaja en ambientes de -20 °C a 105 °C y su tiempo de respuesta es de 8 ms. La salida de este sensor es compatible con el protocolo I<sup>2</sup>C, lo cual le permite comunicarse de manera sencilla con un microcontrolador u otro dispositivo de procesamiento de información, sin la necesidad de adicionar circuitería adicional. El bus I<sup>2</sup>C usa dos líneas, fue inventado en 1980 por Philips Semiconductors para ser utilizado en la comunicación entre circuitos integrados y desde entonces se ha convertido en el bus serie estándar usado por muchos fabricantes de circuitos integrados y aplicaciones. Las dos líneas del bus I<sup>2</sup>C del sensor son las siguientes: entrada de reloj serie (SCL-Serial Clock Line) y salida de datos serie (SDA-Serial Data Line). El sensor ASDXLDO proporciona la medida de presión a través de un número de 12 bits no signado por medio de su salida SDA.



**Figura 3. Sensor de presión ASDXLDO usado**

El receptor GPS usado es el módulo EM-506 de USGlobalSat [8]. En la Figura 4 se muestra el receptor GPS EM-506.



**Figura 4. Receptor GPS EM-506 usado**

Este módulo cuenta con regulador de voltaje, memoria RAM respaldada por batería, antena integrada, indicador de led y cable de conexión de 6 terminales. El módulo GPS entrega información usando el formato estándar NMEA 2.3. Un ejemplo de una trama NMEA entregada por el receptor GPS se muestra a continuación:

```
$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1,0,9.0,M,-34.2,M,,0000*18
```

Algunos de los campos más importantes de la trama NMEA son los que se muestran en la Tabla I.

TABLA I. CAMPOS DE UNA TRAMA NMEA

Nombre	Eje mplo	Descripción
Identificador del Mensaje.	\$GP GGA	Encabezado el protocolo GGA.
Hora UTC.	161 229.487	hhmmss.sss
Latitud.	372 3.2475	ddmm.mmmm
Indicador N/S.	N	N=Norte o S=Sur
Longitud	121 58.3416	dddmm.mmm m
Indicador W/E.	W	W=Oeste o E=Este

El transmisor RF empleado es un circuito XBee Serie 2, configurado como ruteador [9] y operando en modo AT, donde la información recibida por su línea de entrada digital serie lo envía por su antena, a través de una señal de RF. Este dispositivo es compatible con el protocolo ZigBee 802.15.2, cuenta con antena integrada que puede transmitir información inalámbrica a una distancia máxima de 300 pies en interiores, trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz. y usa los protocolos de red y ruteo del estándar ZigBee.

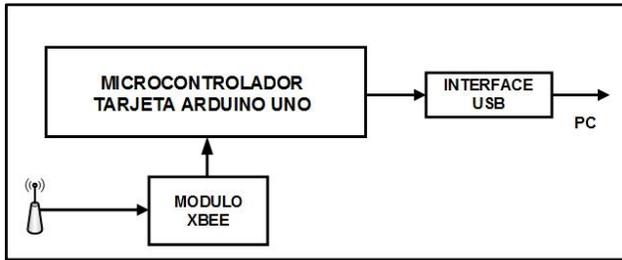
La manera de cómo trabajan conjuntamente los componentes del módulo remoto es la siguiente: la terminal SCL del sensor se conectó a una línea de salida digital del microcontrolador ATmega328 de la tarjeta Arduino Mini y la terminal SDA del sensor a una línea de entrada digital del microcontrolador. La salida serie TXD del módulo GPS módulo EM-506 se conectó a una línea de entrada digital del microcontrolador. La salida serie del puerto USART del microcontrolador se conectó a la entrada serie del módulo XBee.

La programación de microcontrolador se realizó para que periódicamente se encuentre leyendo tanto el valor de presión entregado por un sensor como la posición geográfica proporcionada por el receptor GPS. El microcontrolador entrega también esta información al transmisor de RF XBee. Al final de este módulo, el transmisor de RF XBee envía inalámbricamente el valor de la presión y posición del sensor al módulo de registro [4]-[6]. Cada trama de información entregada por el receptor GPS contiene campos separados por comas y termina con un checksum. Cada uno de los campos es extraído por el microcontrolador de la tarjeta Arduino para enviarlos al transmisor RF.

#### A. El módulo de registro

La metodología usada para la construcción de este módulo fue similar a la usada en el módulo remoto, ya que se necesitaba contar con un receptor de RF que recibiera la información enviada por el transmisor de RF del módulo remoto y que esa información fuera entregada, por un puerto USB, a la computadora personal. De esta manera, se construyó el módulo de registro usando también una tarjeta Arduino Mini, un circuito XBee Serie 2 como receptor de RF y un convertidor TTL-USB. En este módulo el receptor de RF fue configurado como coordinador y operando en modo AT (transparente).

La información que recibe el receptor de RF la entrega, por medio de la salida digital de su puerto serie, al microcontrolador ATmega328 de la tarjeta Arduino Mini. A una salida digital del microcontrolador de la tarjeta Arduino se conectó el convertidor TTL-USB. La Figura 5 muestra un diagrama de bloques del módulo de registro.



**Figura 5. Diagrama de bloques del módulo de registro**

La programación del microcontrolador fue realizada para que periódicamente lea la información que entrega el receptor de RF y la entregue a la computadora personal. Esta programación se implantó usando funciones de comunicación serie proporcionadas por las bibliotecas de Arduino.

La interface de usuario de la computadora personal fue realizada en lenguaje Visual C, la cual se encuentra recibiendo y registrando, en un archivo de texto generado cada día, tanto el valor de presión enviado por cada sensor como su posición geográfica. Los archivos generados, son los que la empresa entrega a las autoridades que la auditan. La velocidad entre la tarjeta Arduino y la computadora personal y velocidad usada en la transmisión inalámbrica entre los dispositivos XBee es de 9600 bps.

### III. CONCLUSIONES

Antes de entrar en operación el sistema aquí desarrollado, se realizó una cantidad importante de pruebas, las cuales consistieron básicamente en ubicar los módulos remotos en distintas posiciones geográficas dentro de las instalaciones del centro de datos, así como variar la presión de las tuberías de agua monitoreadas. Estas pruebas implicaron realizar algunos ajustes menores de programación del sistema. Los resultados de las pruebas mostraron que la distancia máxima de transmisión de información desde un módulo remoto al módulo de registro, fue aproximadamente 90 metros con línea de vista, un poco menor a la especificada por el fabricante de los dispositivos XBee. En cuanto a la velocidad de transmisión de los dispositivos XBee, los cuales pueden transmitir hasta 156 Kbps., se realizaron pruebas con velocidades de 9,600 bps. y 19,200 bps. sin presentarse ningún problema, viendo que 9600 bps. fue suficiente para esta aplicación ya que no son grandes cantidades de información a transmitir. Una alternativa que se tuvo fue usar para la transmisión inalámbrica, transceptores Bluetooth, pero su alcance es más pequeño comparados con la tecnología ZigBee, además que Bluetooth es una comunicación punto a punto.

Por otra parte, el utilizar dispositivos de tecnología ZigBee permitirá crecer mucho más la red de medidores, si es necesario en el futuro, sin que el tráfico en la red represente un problema, ya entre más dispositivos ZigBee se encuentren en la red existirán más rutas de transmisión hacia el módulo de registro.

La aplicación en este trabajo uso sensores de presión, pero se pueden emplear sensores o medidores de otro tipo de variables, sin modificar significativamente el sistema construido, cumpliéndose el principal objetivo para lo cual fue realizado: entregar la posición geográfica obtenida con un receptor GPS.

Finalmente, el resultado de este trabajo fue un sistema sencillo y compacto, pero debe considerarse que se necesitó que fuera confiable y de fácil instalación y operación. Sería recomendable como una mejora o continuación de este trabajo, adicionarle al módulo de registro un gateway XBee, con lo cual este módulo se podría conectar a un segmento de red público y que el monitoreo de la posición geográfica y medida proporcionada por los medidores de presión sea realizada desde cualquier computadora conectada a Internet.

### REFERENCIAS

- [1] Dan, L. y Ting, L. A. (2011) "Monolithic Piezoresistive Pressure-Flow Sensor With Integrated Signal-Conditioning Circuit" in *IEEE Sensors Journal*. (Volume: 11, Issue: 9). Page(s): 2122-2128.

- 
- [2] Ee-Lim, T. y Pereles, B.D. (2010) "A Wireless Embedded Sensor Based on Magnetic Higher Order Harmonic Fields: Application to Liquid Pressure Monitoring" in *IEEE Sensors Journal*. (Volume: 10, Issue: 6). Page(s): 1085-1090.
- [3] Nugroho, R. y Susanto, E. (2014) "Wireless sensor network for prototype of fire detection" in *2014 2nd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*. Page(s): 469-474.
- [4] Li, J. y Zhu X. (2010) "Study on ZigBee network architecture and routing algorithm" in *2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*. (Volume:2 ). 5-7 July 2010. Page(s): V2-389-V2-393 E-ISBN: 978-1-4244-6893-5 Print ISBN: 978-1-4244-6892-8.
- [5] Chen C. y Lin H. (2012) "Power management system based on ZigBee" in *2012 International Conference on Security and Identification (ASID)*. 24-26 Aug. 2012. Page(s): 1-5. ISSN: 2163-5048 E-ISBN: 978-1-4673-2143-3 Print ISBN: 978-1-4673-2144-0.
- [6] Onunka, C. y Bright, G. (2013) "Investigating the choice factors on the use of XBee/Bluetooth as the communication scheme in EEG sensor networks" in *2013 6th Robotics and Mechatronics Conference (RobMech)*. Page(s): 52-57.
- [7] Honeywell Co. (2014) *ASDXL DO Series Data Sheet*. <http://www.honeywell.com/sensing>.
- [8] Globalsat Technology Corporation. (2014) *GLOBALSAT GPS Module Hardware Data Sheet EM-506*. <http://www.globalsat.com.tw>.
- [9] Digi International Inc. (2014) *XBee®/XBee-PRO® ZB SMT RF Modules Data Sheet*. <http://www.digi.com>

# Sistema DAQ Remoto para Mediciones de Flujo en Canales

J. Martínez Navarro

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnauac 8532 Col. Progreso Jiutepec Morelos.

**Resumen**— Existen Sistemas de Adquisición de Datos para medición de flujo aplicados en presas, con tecnología de punta, vía comunicación satelital, sensores ultrasónicos y controlados por un software. La infraestructura de este sistema aplicado en el campo requiere de un derrame económico fuerte. A otro nivel en canales y ríos los aforos se realizan por medio de un operador auxiliándose de unos audífonos y una pila. El objetivo de este trabajo fue realizar un Sistema de adquisición de datos inalámbrico, preciso, amigable y más económico que la primera relación mencionada, con posibilidad de aplicarlo en presas, canales y ríos. Eliminando el error de operación humana y el mantenimiento requerido del extranjero. El funcionamiento del sistema consiste en instalar el equipo de medición junto con su transmisor, receptor, capturar los parámetros necesarios para realizar el aforo y en diez o veinte segundos se puede obtener la velocidad y gasto de una sección con mayor precisión.

**Temas claves**—Medidor de flujo mecánico, Sistema de Automatización basado en Labview, Aforo de ríos.

**Abstract**— At present, water is increasingly scarce, so it requires a constant infrastructure for the operation and distribution of the resource, however, also requires a water control spending by measurements which are performed different types of electrical, electromechanical and ultrasonic.

The objective of this study was to perform a data acquisition system wireless, accurate, friendly and cheaper than the first-mentioned relationship, with the possibility to apply to dams, canals and rivers. Eliminating human error operation and maintenance required from abroad. For all the above requires better measurement systems, this paper presents a data acquisition system and economic dynamic that allows gauging measurements wirelessly, processing the captured parameters needed to calculate a gauging, as well as the pulses give us the velocity meter model Price, and later get the speed and spending real time with the ability to store or print.

**Keywords**— Mechanical flow meters, LabVIEW based automation system, testing laboratory, Capacity of rivers.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua representa en la actualidad un factor importante para la humanidad. La medición del suministro a todos los sectores no deja de ser menos importante, sobre todo con una población en crecimiento constante. Por lo que se requiere también de la misma forma, de una programación del desarrollo de infraestructura en todo el país, así como un control estadístico de medición.

Las mediciones se llevan a cabo por medio de diferentes tipos de instrumentos nacionales y extranjeros, estos últimos con tecnología sofisticada, dependiendo de los mismos, para cualquier reparación o mantenimiento.

El trabajo presenta el diseño de una herramienta de medición de aforos (que es la medición del gasto o caudal del agua que conduce el canal o río). Es un sistema inteligente que va a procesar la información que recibe, proporcionando el gasto en tiempo real. El sistema es económico, preciso y dinámico.

En el sistema de adquisición de datos aquí propuesto, los temas necesarios a tratar son los siguientes: los diferentes tipos de áreas transversales a los puntos de medición, la selección del tipo de instrumento de medición, determinar la frecuencia de transmisión y equipo de comunicación, así como la técnica de adquisición de datos Sistema Internacional (S.I.) de unidades.

## II. DESARROLLO DEL SISTEMA

En Los aspectos considerados para el desarrollo fueron: una revisión de las áreas transversales a considerar, se encontró de tipo [4] rectangular con contracciones laterales, trapezoidal y de forma heterogénea. En todos excepto el rectangular es necesario aplicar la ecuación (1) para determinar el tirante promedio de cada sección.

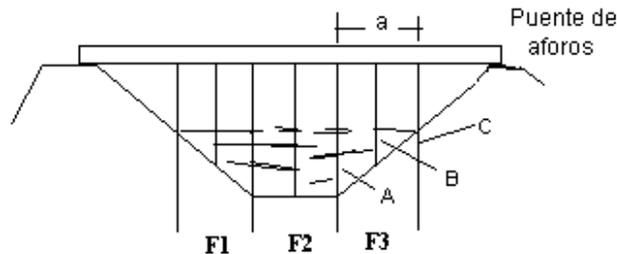


Figura.- 1 Sección Transversal

$$D = (A + 2B + C) \div 4 \quad (1)$$

D = Tirante promedio  
 A = tirante inicial (extremo)  
 B = tirante central  
 C = tirante final (extremo)

Calcular el área de la franja (A) como el producto del tirante medio (D) y el ancho de la franja (a) se aplica ecuación (2):

$$A = a + D \quad (2)$$

Para calcular el área de la sección transversal aplicar ecuación (3), (At) sumando el área de las franjas (An):

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_n \quad (3)$$

Si el fondo del cauce se aproxima a una parábola el área se puede estimar con ecuación (4):

$$A_t = (2 \div 3)(a + y) \quad (4)$$

At = área de sección transversal (m<sup>2</sup>)  
 a = ancho espejo del agua (m)  
 y = profundidad máxima (m)

La sección puede tener tantas subsecciones como sea conveniente.

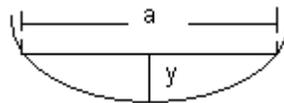
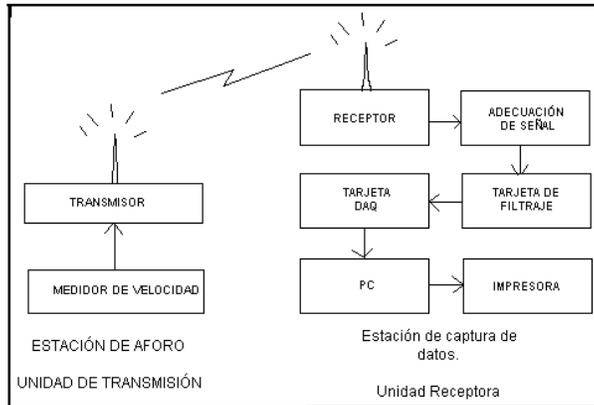


Figura.- 2. Área tipo parabólico

A continuación se presenta una descripción del sistema desarrollado, el cual se encuentra integrado por varias etapas.



**Figura.- 3. Diagrama a bloques del sistema DAQ**

*A Computador (PC)*

- La computadora se encarga de ejecutar un programa elaborado con el software de National Instrument llamado Labview, procesando las señales del medidor necesarias para llevar a cabo los cálculos del aforo plenamente la referencia en cuestión.

*B Tarjeta de DAQ*

La adquisición de datos consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas, de manera que se puedan procesar en una computadora. Las características de la tarjeta son las siguientes:

- P
- CI 6071E 1
- 6 A 64 Entradas Analógicas 8
- Canales de I/O D
- os contadores de tiempo 24 bit, 20 MHz.

*C Interface acondicionadora de señal*

La Interface acondicionadora de señal, es una etapa de acondicionamiento, que realiza la adecuación de la señal a niveles compatibles, con el elemento que hace la transformación a señal digital.

*D Interface de recepción*

- 
- La Interface de recepción de señal [1], se encarga de recibir los pulsos y por medio de un transductor transforma esa señal a una salida analógica y continua a la tarjeta de adquisición de datos.

*E Receptor*

El receptor se encarga de recibir la señal de RF del transmisor, para proporcionar una señal luminosa que pueda interpretar la interface de recepción.

COMPARACIÓN DE MEDIDORES DE FLUJO

Porcentaje aproximado de población de equipos a nivel nacional	Modelo	Ventaja	Desventaja	Costo en miles de pesos	Rango de velocidad m/s
68.5	Electromecánico	Práctico, robusto, error 2 %	No son estándar sus partes.	10	0.02 a 4
15	Electromecánico	Práctico, robusto, error 2 %	No son estándar sus partes.	6.4	0.07 a 2
3	Horizontal	Práctico, robusto, aerodinámico, menor resistencia al flujo, error 0.1%	No tiene mucha demanda y no son muy prácticos.	14.4	0.02 a 5
2	Horizontal	Práctico, robusto, aerodinámico, menor resistencia al flujo, error 0.1%	Ya no lo fabrican y no es muy práctico.	10	0.07 a 2
0.5	Ultrasónico	No es muy directa la respuesta, preciso, Error 0.001 %	Costo elevado y tecnología extranjera.	107.2	.001 a 4.5
7	Ultrasónico	No es muy directa la respuesta, preciso, Error 0.001 %	Costo elevado y tecnología extranjera.	360	.001 a 15

El medidor de velocidad fue [5] seleccionado de tabla 1 considerando lo siguiente: el costo, con más demanda en el mercado y con un rango de velocidad aceptable. El cual se muestra en la Figura 4 es un instrumento, utilizado en canales y ríos para medir la velocidad, denominado Molinete, modelo Price de copas su funcionamiento es electromecánico, estos medidores vienen calibrados y la ecuación característica es utilizada en el programa desarrollado.



**Figura.- 4. Medidor de velocidad electromecánico modelo Price**

Este medidor se agrupa al transmisor para que los pulsos o interrupciones que tiene el medidor de flujo los pueda enviar al receptor plenamente la referencia en cuestión.

*F Descripción del software*

En la Figura 5 se muestra el Diagrama de flujo donde al Inicio, nos pedirá una clave, en no se sale y en si pasa al Menú principal, en donde cuenta con varias opciones: como Realizar un Aforo, salir a LV para realizar alguna edición o Salir del Sistema.

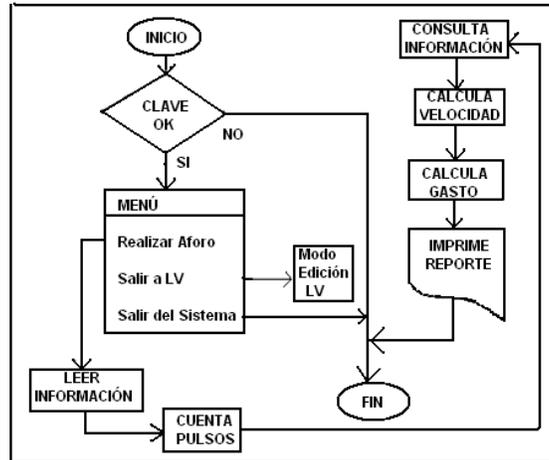


Figura.- 5. Diagrama de flujo del Sistema de medición

Al seleccionar Realizar un Aforo se van introduciendo los parámetros necesarios, al darle que inicie el proceso de conteo, empieza a almacenar la información, para posteriormente realizar los cálculos necesarios con la información que se le proporcionó previamente. Con lo cual termina el proceso y se puede imprimir los resultados.

El software fue desarrollado en Labview versión 9 de National Instrument, consta de tres etapas que son las siguientes:

### III ETAPA DE OPERACIÓN

En esta etapa se presenta una pantalla de introducción y pide una clave de identificación si no es correcta en un tiempo de 20 segundos se sale del sistema, si es correcto en seguida aparece un Menú, en donde se puede seleccionar cualquier opción; Realizar un aforo, Salir a Labview o Salir del Sistema, al seleccionar la primer opción pasa a la etapa dos.

#### *Captura de parámetros*

Aquí se proporcionan los parámetros necesarios siguientes: Ancho del canal, profundidad de lectura, valores de la ecuación característica del Medidor de velocidad, cuantas estaciones serán, cuantos pulsos son requeridos por muestra, profundidad o tirante, profundidad de observación. Así como datos del lugar donde se realiza el aforo como: Estación, Estado, Cuenca, Fecha, Tipo de molinete o serie, nombre del aforador horario de inicio y fin del aforo.

#### *Captura de información del medidor de velocidad*

Al realizar la captura de información, en cada lectura van cambiando los valores de tiempo del pulso y el valor de N, que es una relación revoluciones entre tiempo, velocidad, dato de inicio del aforo, ancho de la estación, Área y número de lectura o estación.

#### *Cálculos necesarios y despliegue de resultados*

Al terminar el número de lectura o estaciones, realiza [2] los cálculos necesarios y despliega todos los datos obtenidos que muestra en la hoja de resultados Figura 6 son: Área total, velocidad promedio y Gasto total.

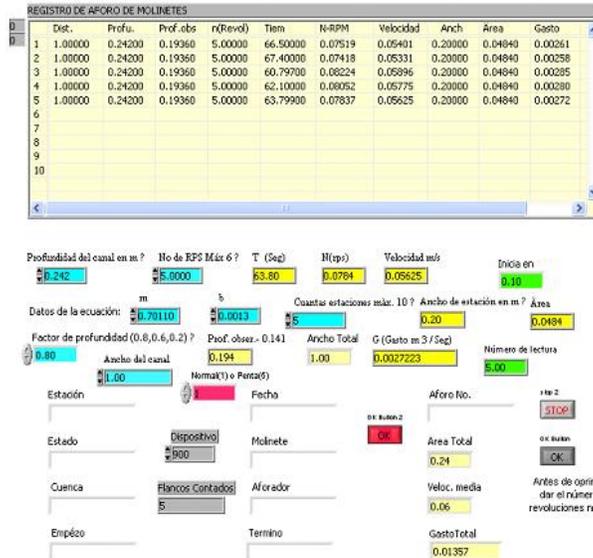


Figura.- 6. Hoja de resultados de un Aforo

La resolución de resultados, es del orden de diezmilésimos suficiente para los datos estadísticos de aforo.

El rango en que opera el sistema cubre las especificaciones del medidor de flujo, para el que fue diseñado que es de 0.2 a 4.5 m/s.

Estos medidores son robustos y de gran aceptación por los usuarios, como se mostro en la tabla 1. A la fecha estos medidores tienen cerca de 86 años en el mercado y aunque han surgido otros con ciertas modificaciones, conservan el mismo principio, el impulso por copas.

*Almacenar o imprimir*

Una vez terminado el proceso, podemos almacenar los resultados o imprimirlos, cabe mencionar que el programa cuenta con un multiplicador, para cuando se realizan aforos con grandes velocidades.

**IV. RESULTADOS**

Las pruebas de diseño permitieron detectar y corregir errores en la etapa de desarrollo del sistema. Se comprobaron las etapas de acceso y de captura, que permanezca la información el tiempo correcto tanto al inicio como al final del proceso, que realice los cálculos de acuerdo a los datos recibidos, en la etapa de recepción debe de recibir los pulsos hasta la entrada de la tarjeta de adquisición de datos.

El programa cuenta con un control de interrupción entre cada lectura, previendo algún cambio dentro del proceso de aforo, como el cambiar los valores de profundidad.

*A. Pruebas del sistema integrado*

Las pruebas finales realizadas se efectuaron para comprobar el funcionamiento simultáneo de cada uno de los elementos que integran el sistema.

Para las pruebas del sistema de adquisición de datos fue en un ambiente de laboratorio Figura 7, que cuenta con un modelo de una presa y su salida es un canal recto, logrando hacer variaciones de velocidad de flujo [3]. Para esto se dividió el ancho en estaciones de 20 cm. colocando el medidor a 1/6 de profundidad.



**Figura.- 7. Pruebas de laboratorio**

Se llevó a cabo la medición en tres rangos diferentes de velocidad de flujo, estos datos fueron los siguientes:

Datos de aforo 1

H = tirante  $(0.052 + 0.049) / 2 = 0.05$  m

Apertura de la válvula 11 medias vueltas

Datos de aforo 2

H = tirante 0.092 m

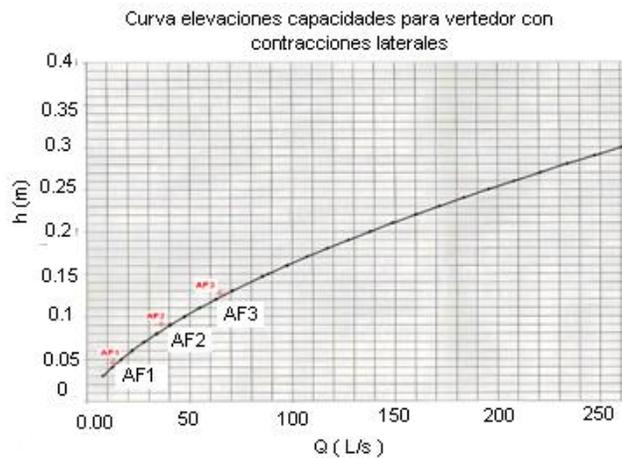
Apertura de la válvula 13 medias vueltas

Datos de aforo 3

H = tirante 0.128 m

Apertura de la válvula 15 medias vueltas

Una vez que se tienen los resultados se colocaron en la Figura 8, para compararlos con lo que se obtuvo de la curva de elevaciones y capacidades obtenida [6] de la ISO -1438 “Hidrometry- Open Channel flow measurement using thin-plate weirs”, de estos resultados los aforos están marcados con rojo, como se aprecia es muy similar a los obtenidos en la curva.



**Figura.- 8. Curva de elevaciones y capacidades ISO -1438**

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó el hardware y el software de un Sistema de adquisición de datos remoto, para mediciones de flujo en canales abiertos. El trabajo que se presenta es un sistema conformado por varias etapas integradas para la medición de flujo, transmisión de la señal del medidor, recepción, adecuación y procesamiento de toda la información. Este sistema puede aplicarse en supervisar en forma periódica el gasto de un canal o río y para obtener mediciones más exactas. La siguiente etapa de este sistema se pretende adaptar un sistema electromecánico, inteligente, por medio de servomecanismos controlados por un PIC que tome decisiones de ubicación de la profundidad y desplazamiento horizontal en las secciones.

## REFERENCIAS

- [1] H M. HOWARD M The 55 timer applications sourcebook, with experiments. 1980. BERLIN, Página 69,
- [2] SARH. Secretaria de Recursos Hidráulicos, Instructivo para aforos de corrientes. Edición. 1957. México. Página 98.
- [3] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, “Instructivo para aforos con molinete”. Anuario 1997. Abr-1997. Páginas 16-18-28.
- [4] Juan Carlos Herrera Ponce, “Instructivo para aforo con molinete” 1999, Páginas 9-49.
- [5] Javier Martínez “Sistema de adquisición de datos para medición de flujo en canal abierto” Tesis de Tesis de Maestría Asesor Víctor Hugo Zarate Universidad del Sol 2010. Páginas 10-15.
- [6] ISO1438 “Hidrometry- Open Channel flow measurement using thin-plate weirs”.

# Monitoreo de la Temperatura del Punto Caliente en un Transformador Empleando LabVIEW

J.M. Fernández-Gallardo<sup>1</sup>, M. A. Arjona<sup>1</sup>, C. Hernández-Flores<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Czada, Cuauhtémoc S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

**Resumen**— El presente artículo tiene como objetivo mostrar el desarrollo e implementación de un sistema que tiene la capacidad de monitorear la temperatura de punto caliente en un transformador trifásico de tipo seco. Para la visualización y procesamiento de los datos se utilizó el software de LabVIEW, debido a su sencilla programación por medio de diagramas de bloques y también por su capacidad de crear una interfaz amigable con el usuario. Para la medición de las variables se utilizaron termopares de tipo J debido a su complejidad robusta y también por el método con el cual se iba a realizar el monitoreo sobre el transformador. Para la adquisición de datos se utilizó la tarjeta NI-USB 6008 la cual ofrece una comunicación sencilla con el software de LabVIEW.

**Temas claves**—Diagrama de Bloques, Instrumento Virtual, LabVIEW, Temperatura de Punto Caliente, Termopares, Transformador tipo Seco.

**Abstract**— this paper shows the development and implementation of a system that has the ability to monitor the temperature of hot spot in a three-phase dry type transformer. LabVIEW software was used for data display and processing, because it is easy to program using block diagrams and also because of its ability to create a friendly user interface. For the measurement of variables, the J type thermocouple was used due to its sturdy construction and because of the method that will be used to conduct the monitoring on the transformer. NI USB-6008 board was used for data acquisition; it provides a simple communication with LabVIEW software.

**Keywords**— Block Diagrams, Dry Type Transformer, Hot Spot Temperature, Thermocouple, LabVIEW, Virtual Instrument.

## I. INTRODUCCIÓN

El transformador es una máquina eléctrica cuya función consiste en transformar la potencia eléctrica mediante la acción del campo magnético. Su uso en la actualidad es bastante común ya que se utiliza casi en cualquier proceso que incluya energía eléctrica. Esta máquina eléctrica se encuentra desde aparatos electrónicos hasta en líneas de transmisión y subestaciones. El hecho de que esta máquina sea indispensable para el suministro de energía eléctrica provoca que sea necesario mantenerla en óptimas condiciones para su desempeño.

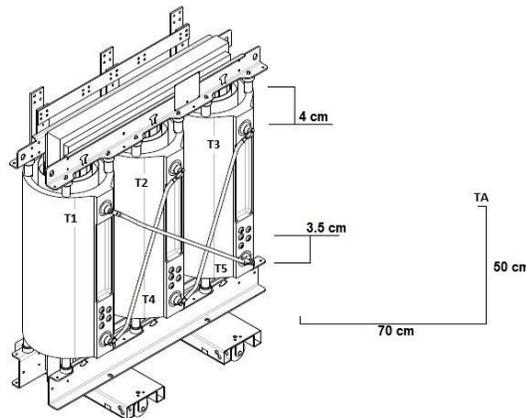
La temperatura en los transformadores es una variable que influye de manera importante en las características de un transformador, ya que a partir de esta variable se puede determinar, desde la vida útil del transformador hasta las fallas internas del mismo. En la actualidad se han diseñado una serie de métodos por los cuales se puede obtener la temperatura de punto caliente; el método de termómetro que consta de medir con un termómetro digital el núcleo y los devanados del transformador (en caso de ser un transformador inmerso en aceite también se toma la temperatura del aceite), el método de resistencia que consiste en medir las resistencias de los devanados en frío y después de un periodo de 4 horas medir las resistencias a carga nominal para determinar la variación de temperatura en función de la resistencia medida y por último el método de detectores internos de temperatura, el cual consta de colocar sensores ya sea después o antes de la construcción del transformador, los cuales pueden ser termopares, sondas, sensores de fibra óptica, entre otros. Estos sensores son elegidos de acuerdo a las necesidades propias de la persona que realizará la prueba [1].

En este artículo, el método utilizado para determinar la temperatura de un transformador de tipo seco

fue el de detectores internos de temperatura. El sistema consta de un conjunto de termopares colocados en secciones del transformador cuidadosamente seleccionadas, éstos mandan una señal que es procesada por un compensador de junta fría y es adquirida por una tarjeta de adquisición de datos de la marca National Instruments; posteriormente los datos son procesados por el instrumento virtual programado en el software de LabVIEW [2]-[4].

## II. SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA

El monitoreo se realizó en un transformador trifásico con una capacidad de 1000 Amperes al cual se le distribuyeron 6 termopares para determinar su temperatura de punto caliente, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Distribución de Termopares**

La distribución de los termopares fue seleccionada tomando en cuenta que la temperatura de punto caliente es la temperatura más alta de los tres devanados. La temperatura más alta se encuentra en la parte superior del devanado debido a que el calor tiende a subir.

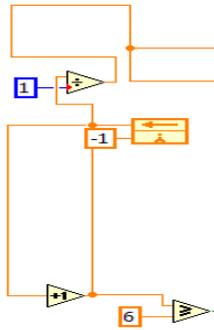
La señal adquirida por los 6 termopares pasa por un circuito compensador de junta fría el cual limpia la señal y realiza la compensación que todos los termopares necesitan forzosamente para obtener una medición real. La señal ya filtrada es mandada a la tarjeta de adquisición NI-USB 6008, la cual manda las señales de los 6 termopares al instrumento virtual.

Instrumento virtual es la denominación otorgada a las interfaces programadas dentro del software LabVIEW. Todos los instrumentos virtuales constan de dos partes: el panel frontal, que es donde se muestran los indicadores y controles que interactúan con el usuario y el diagrama de bloques, el cual constituye el segundo plano del programa y realiza todo el trabajo para que el programa desempeñe sus funciones [5]-[6].

### A. Diagrama de Bloques de Calibración y Lectura

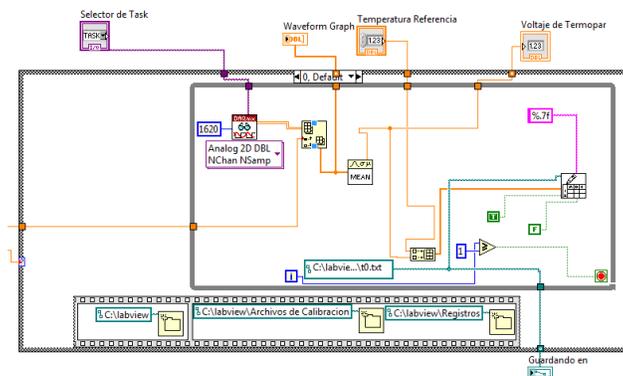
El proceso de calibración se encarga de calibrar el instrumento con una temperatura de referencia introducida por el usuario; la temperatura de referencia se define como la temperatura obtenida de las tensiones adquiridas por el termopar.

El programa inicia con el control que se muestra en la Figura 2, el cual en base a las iteraciones selecciona el proceso de adquisición de datos para cada termopar.



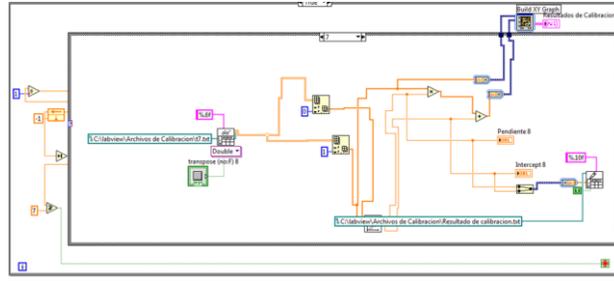
**Figura 2. Control de secuencias**

En la Figura 2 se muestra cómo de la primera salida que aparece en la parte superior sale un número de iteración que va conectado dentro del ciclo while para cambiar de caso y de índice que se asignará a los datos que son adquiridos por la tarjeta. En la parte inferior está la condición de ejecución de los ciclos. El ciclo de adquisición y organización se ejecutará 6 veces, una por cada termopar, de esta manera la calibración se realiza automáticamente para cada termopar. Al principio del programa, el usuario define la temperatura ambiente actual y de esta manera, esta temperatura se asigna automáticamente al termopar 1, 2,3 y así sucesivamente, mientras realiza también los procesos de adquisición y organización de datos.



**Figura 3 Ciclo de adquisición y organización**

En el ciclo de adquisición y organización mostrado en la Figura 3 se observa que de izquierda a derecha, primero está la herramienta “DaqMx Read” que lee las 1620 muestras, y las manda a la herramienta “Index Array” (definida por el control de secuencias mencionado anteriormente), la cual crea un índice de datos. A estos datos se les saca un promedio (aquí es donde se muestra la importancia de tomar la mayor cantidad de datos para una mayor aproximación) y se mandan a un “Write to Spreadsheet” junto con la temperatura de referencia que se introduce de forma manual. Este ciclo se autoejecuta 1 vez para los 6 termopares. Al terminar el proceso de lectura y registro de los 6 termopares, el control que se muestra en la figura 3.3 termina el ciclo. En la parte inferior del ciclo se encuentra un “Flat Sequence”, que se encarga de crear las carpetas donde se guardarán los registros de calibración de temperatura y de tensión. Esta secuencia de generación de carpetas sólo se realiza en el primer ciclo que corresponde al termopar 1. El siguiente ciclo que se activa es el encargado de leer los registros de los datos y de utilizar el método de mínimos cuadrados para lograr la linealidad del instrumento.



**Figura 4 Lectura de registros y ajuste**

El ciclo de la Figura 4 está controlado, como el anterior, con un “Feedback Node”, el cual hace automático el proceso y hace el cambio de caso para cada termopar.

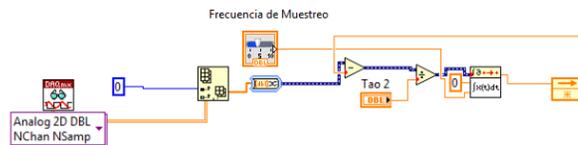
Todos los casos de la secuencia funcionan de la misma manera. Primero leen el registro del termopar correspondiente según el control del “Feedback Node”, después los datos de temperatura y tensión leídos se separan para ser mandados a la herramienta “Linear Fit”, la cual emplea el método de mínimos cuadrados para el ajuste de la señal y se obtiene la pendiente e intercepción, que servirán para transformar los valores de tensión a temperatura más adelante.

Cada termopar tiene su propia pendiente e intercepción, no se puede suponer que todos los termopares sean iguales en su sensibilidad.

En el diagrama de bloques de lectura el ciclo funciona de tal manera que lee la señal de entrada de la tarjeta, luego esa señal es filtrada por un filtro pasivo de primer orden (1).

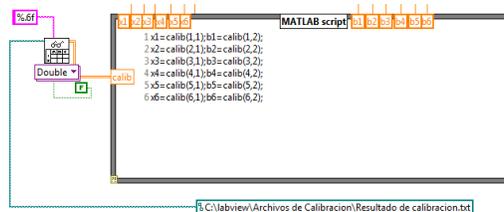
$$Tensión_{salida} = \frac{Tensión_{Entrada} - Tensión_{salida}}{\tau} \quad 1)$$

En la Figura 5 se muestra como se integra continuamente reduciendo los picos y el valor de dt introducido en esta herramienta; se tomó la de la frecuencia de muestreo que es 1560Hz, que en segundos serian 0.000641s.



**Figura 5 Integración continua**

Después de limpiar los datos, se leen los datos del “MathScript” mostrado en la Figura 6, que contienen la pendiente y la intercepción que serán ordenados en forma de matriz.



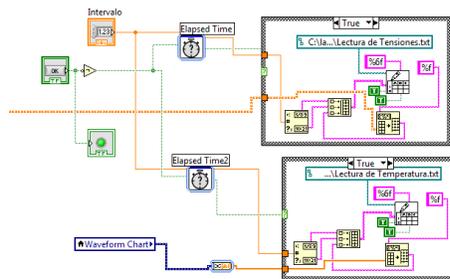
**Figura 6 MathScript**

Estos datos que representan la pendiente e intercepción son introducidos en un sumador y un

multiplicador, para formar la función lineal. Después de esto los datos son enviados a un “Waveform Chart”, el cual grafica la temperatura continuamente.

Durante este ciclo se puede realizar un registro con los datos obtenidos, los cuales se guardan en 2 archivos: uno es contiene las lecturas de tensiones y el otro las lecturas de temperatura. Este registro de datos es realizado por el control mostrado en la Figura 7, que sirve para realizar el registro en un intervalo determinado por el usuario.

La función de registro trabaja de manera que cuando se activa el botón localizado al inicio del diagrama, se activan ambos relojes en cada intervalo que define el usuario. Es decir, la condición será verdadera cuando el tiempo es el seleccionado. El ciclo de la parte superior se encarga de registrar las tensiones recibidas de los termopares, mientras el ciclo inferior se encarga de registrar las temperaturas que se muestra en el waveform chart.



**Figura 7 Función de registro**

*B. Interfaz*

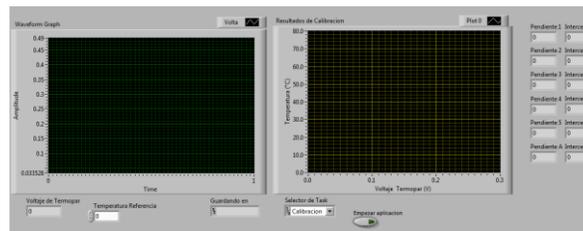
En la Figura 8 se muestran dos gráficas, la de la izquierda corresponde a la tensión censada en cada termopar; conforme se censa, la tensión es mostrada individualmente. Debajo de esta gráfica se muestra, en el indicador “Voltaje de Termopar”, la medida de tensión.

Una de las partes fundamentales de este proceso de calibración es el indicador donde se introduce la temperatura ambiente de referencia, como su nombre lo indica es “Temperatura de Referencia”.

Guardando en, es el indicador encargado de mostrar la ruta de guardado del archivo con extensión .txt, corre

pondiente a la lectura de tensiones de los termopares. Los archivos de texto se generan de forma individual para cada termopar, con su respectiva temperatura de referencia y por defecto se guardan en una carpeta creada en la raíz del sistema, la cual lleva por nombre Labview.

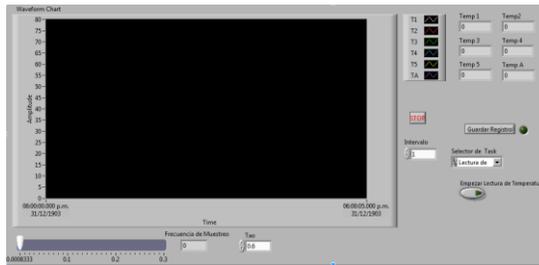
En la gráfica del lado derecho se encuentra la gráfica donde se muestra la recta dibujada. En el lado derecho se muestran los indicadores de la pendiente e intercepción, calculadas individualmente.



**Figura 8 Pestaña de calibración**

En la parte inferior se muestra un indicador que corresponde a la funcionalidad de la tarjeta de adquisición de datos la cual consta de un proceso denominado “Task” en el cual se programa la tarjeta para

recibir cierto rango de tensiones, frecuencia de muestreo y número de muestras.



**Figura 9 Pestaña de resultados**

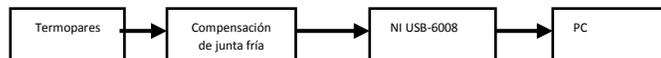
La pestaña de resultados mostrada en la Figura 9 es el proceso más simple, ya que sólo se encarga de recibir los datos, los cuales son expuestos en una sola gráfica para una fácil comparación entre temperaturas.

Las partes con las que interactúa el usuario en esta sección, son el “intervalo” que sirve para determinar el intervalo en segundos para realizar el guardado de registros, y el selector de “Task” que corresponde a la tarea de lectura.

Como se muestra en la Figura 1, los termopares del 1 al 3 fueron introducidos en la parte superior, entre las capas del devanado, a una profundidad de 4cm. Los termopares 4 y 5 fueron colocados en la parte inferior entre las capas del devanado a una profundidad de 3.5 cm, y el termopar correspondiente a la temperatura ambiente, fue colocado a una distancia de 70 cm del transformador con una altura de 50 cm con respecto al suelo.

Para determinar la profundidad de los termopares se realizaron mediciones constantemente sobre los devanados para determinar a qué profundidad se registraba la temperatura más alta. Estas pruebas consistían en colocar dos termopares a diferentes profundidades para determinar a qué distancia se registraba la temperatura más alta.

Ya colocados los termopares dentro de las capas del transformador el sistema es conectado como se muestra en el diagrama de la Figura 10.



**Figura 10 Diagrama de conexión**

La prueba consistió en poner en cortocircuito el transformador del lado de baja tensión, suministrándole al transformador una corriente, que se fue variando para cada prueba con un autotransformador variable. El transformador fue operado a su 20%, 40%, 60%. Se fijó como límite el 60 % para evitar el sobrecalentamiento de los conductores. Las pruebas duraron alrededor de 7 horas a una carga constante. La Tabla 1 muestra las corrientes y tensiones obtenidas de las pruebas al transformador [7].

**TABLA 1**  
Pruebas

Prueba a 20% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 6v
---

6Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	160	209	159	11.5	11.8	11.3
Prueba a 40% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 11v						
11Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	305	404	295	22.5	23	21.4
Prueba a 60% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 15v						
15Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	452	605	437	32.9	33.6	30.5

Los resultados de cada prueba son mostrados en la Tabla 2

TABLA 2  
Temperatura de punto caliente en cada prueba

Prueba a 20% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 6v						
Termopar	1	2	3	4	5	A
Temperatura °C	2.09	3.98	2.11	2.35	2.06	4.57
Prueba a 40% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 11v						
Termopar	1	2	3	4	5	A
Temperatura °C	1,82	8,43	9,77	7,29	7,08	5,79
Prueba a 60% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 15v						
Termopar	1	2	3	4	5	A
Temperatura °C	1.03	3.39	9.75	3.51	6.48	5.55

La temperatura de punto caliente del transformador corresponde a la temperatura más alta de los 3 devanados, en el caso de las tres pruebas la temperatura del termopar 2 fue la temperatura más alta [8]-[10].

### III. CONCLUSIONES

Para obtener la temperatura de punto caliente hay diversos métodos matemáticos: conocer los factores influyentes en la temperatura del transformador, o relacionar la carga con la temperatura, y definir mediante la carga qué temperaturas alcanza el transformador. Pero todo esto puede ser poco fiable debido al error humano. La confiabilidad del instrumento prueba que no sólo es un instrumento de medición sino una herramienta para proporcionar datos. En el manejo actual de la instrumentación, automatización y control, el objetivo es alcanzar un proceso en el que el usuario no tenga la necesidad de intervenir, y este instrumento exceptuando el proceso de colocación de las sondas, mejora el proceso de adquisición y registro de temperatura que no solo se limita a transformadores.

### IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, TNM, PRODEP, y CONACYT por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

### V. APÉNDICE A: FILTRO PASIVO PRIMER ORDEN

Un filtro paso bajo corresponde a un filtro electrónico caracterizado por permitir el paso de las frecuencias más bajas y atenuar las frecuencias más altas.

Para la implementación de un filtro se toma como modelo un filtro paso bajo pasivo de primer orden. Donde  $C(s)$  es la salida,  $R(s)$  es la entrada y  $t$  el tiempo de respuesta (2)

$$c(s) = \frac{R(s)}{\tau s + 1} \quad 2)$$

El modelo aplicado de la ecuación en LabVIEW (3)

$$\frac{d\{C(t)\}}{dt} = \frac{R(t) - C(t)}{\tau} \quad 3)$$

### REFERENCIAS

- [1] CHEN Wei-gen, LIU Jun, WANG You-yuan, LIANG Liu-ming, ZHAO Jian-bao, YUE Yan-feng. The Measuring Method for Internal Temperature of Power Transformer Based on FBG Sensors. International Conference on High Voltage Engineering and Application November 9-13, 2008. pp 672 – 676,
- [2] Areny Pallás, R. Sensores y Acondicionadores de Señal. Marcombo, S.A. 4ª Ed. 2005.
- [3] Diego Ramírez Muñoz, Fundamentos de Electrónica, Sensores Termoeléctricos: Termopares, Disponible en: [http://www.uv.es/ramirez/Docencia/LO/Notas\\_termopares.pdf](http://www.uv.es/ramirez/Docencia/LO/Notas_termopares.pdf)
- [4] Palacio Fernández, H. Instrumento Virtual Para el Monitoreo Térmico en Zona De Boquillas De Baja Tensión En Un Transformador. Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreon Coahuila 2010.
- [5] Lajara Vizcaíno, J. LabVIEW Entorno Gráfico de Programación. Marcombo, S.A. 2ª Ed. 2013.
- [6] José Miguel Molina Martínez, Jose Miguel / Jimenez Buendía, Manuel. Programación Grafica para Ingenieros. Marcombo. S.A. 1ª Ed. 2010
- [7] IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers. IEEE Std C57.96-1999(Revision of IEEE Std C57.96-1989).
- [8] IEEE Guide for loading mineral oil-immersed transformers. IEEE Std. C57.91-1995.
- [9] IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers. IEEE Std C57.12.91™-2011(Revision of IEEE Std C57.12.91-2001),
- [10] M.SRINIVASAN. Assessing the Reliability of Transformer Top Oil Temperature Model. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering Vol. 19, No. 5 Noviembre 2012. pp1-14

# Soporte Centralizado de Equipos de Aire Acondicionado en Oficinas

J.I. Vega-Luna<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, M.A. Lagos-Acosta<sup>1</sup>, V.N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>, F.J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, Azcapotzalco, México D.F. MEXICO. Teléfono (55)-53189552.

**Resumen—** En este trabajo se presenta el diseño e implantación de un monitor de temperatura y humedad. Se instalaron sensores de temperatura y humedad distribuidos y ubicados estratégicamente en un área de oficinas donde se encuentran varios sistemas de control de temperatura. Los módulos cuentan también con transmisores inalámbricos de tecnología XBee que envían la información de los sensores a un módulo de control, el cual registra la información recibida en una memoria SD y alerta sobre cambios repentinos de temperatura y humedad. Con la ubicación de los sensores se pueden registrar variaciones de temperatura y humedad que pueden alterar considerablemente las operaciones de las oficinas.

**Temas claves—**Microcontrolador, monitoreo, sensor, temperatura, ZigBee.

**Abstract—** this paper presents a temperature and humidity monitor system design and implementation. The temperature and humidity sensors are located strategically, and send information wireless to record the values in a central device. The central device use a microcontroller and alert with a warning when exists abrupt changes in the temperature and humidity. The central device store the temperature and humidity values in a SD memory.

**Keywords—** Microcontroller, monitor, sensor, temperatura, ZigBee.

## I. INTRODUCCIÓN

Las crecientes exigencias del mercado de renta de oficinas corporativas y de los potenciales consumidores, hacen que las empresas estén siempre buscando nuevas formas de reforzar la calidad y excelencia de sus servicios. Es por ello que las compañías invierten en la mejora constante de los controles de calidad y en los ajustes de los equipos dedicados a estas tareas. Por lo mismo, el desarrollo de este proyecto ayuda a proporcionar mejores soluciones utilizando tecnologías de última generación.

La estabilidad en temperatura y humedad en un área de trabajo es algo muy importante, ya que puede tener varios efectos en la salud, en el estado del mobiliario que ahí se encuentra y por supuesto en el ambiente de trabajo. Para garantizar un ambiente de trabajo agradable, es importante asegurar que el valor de la humedad relativa no sea menor al 40%. Cuando la humedad relativa es menor al 40%, el riesgo de enfermedades aumenta. Generalmente, se puede decir que los síntomas causados por el aire seco varían, pero se pueden distinguir tres factores principales: electricidad estática, estabilidad de la humedad y efectos sobre la salud. El aire seco puede provocar electricidad estática en un ambiente. La electricidad estática puede ser disminuida mediante la elevación de la humedad relativa del aire. Las máquinas de un parque de diversiones generan electricidad estática como resultado de la fricción. Cuando existen máquinas que están activas durante mucho tiempo, más fricción tendrá lugar y el riesgo de la electricidad estática aumenta. Esto principalmente les ocurre a los elementos secos de las máquinas. En las salas de cómputo, existe también un riesgo de electricidad estática. La mayor parte de la electricidad estática es provocada a la humedad relativa de entre 30 y 35%.

La estabilidad de la humedad es la habilidad de un material o producto de mantener un cierto nivel de humedad, a pesar de las fluctuaciones de humedad relativa en su ambiente. La mayor parte de los materiales desprenden o absorben humedad. Esto puede provocar daños al material o producto. En muchos casos, tales

como en vegetales, frutas, flores y granos, este proceso es irreversible.

A medida que la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye. El aire seco puede tener efectos nocivos sobre la salud, tales como resequead de nariz y garganta, lo cual provoca una mayor susceptibilidad a los patógenos como los virus. Cuando hace frío, una humedad del aire más elevada hace a la gente pensar que está más templado. Esto hace que los radiadores estén encendidos con menos frecuencia. El clima para el crecimiento de las bacterias es peor cuando la humedad relativa se encuentra entre el 40 y el 60%. Los virus pueden sobrevivir menos a una humedad relativa de entre 47 y 70%. Para las personas, la humedad relativa es más agradable entre 45 y 55%.

TABLA I  
VALORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD  
PERMISIBLES EN DIFERENTES AMBIENTES

Actividad	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Habitacion de hospital	24	40-50
Almacen de pinturas	22-24	40-50
almacén de granos	16	30-45
Procesamiento de algodón	16-27	50-55
Almaceén de piel	10-16	40-60

#### *Estado del arte*

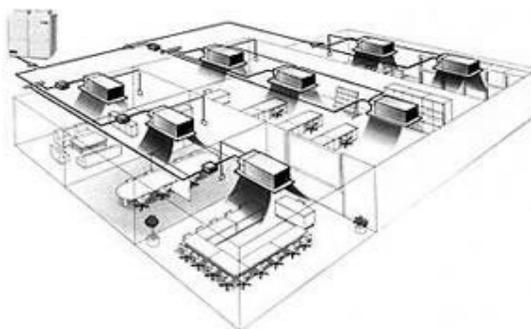
Para el desarrollo de éste proyecto, se diseñó una red de sensores utilizando la tecnología inalámbrica ZigBee (IEEE 802.15.4). ZigBee es una tecnología de comunicaciones inalámbricas basada en el estándar IEEE 802.15.4 [1]. Esta tecnología fue diseñada para formar redes de malla con capacidades de ruteo, por lo que se pueden implantar Redes de Área Personal Inalámbrica (Wireless Personal Area Networks-WPAN) y Redes Inalámbricas de Sensores (Wireless Sensor Network-WSN). Las principales topologías de redes de dispositivos ZigBee que se pueden configurar son la topología de estrella, la topología de cluster de árbol y la topología de malla. En todas ellas existe un dispositivo que realiza la función de coordinador. Actualmente ZigBee es de las tecnologías inalámbricas menos usadas por ser muy reciente, siendo sus principales ventajas las siguientes: arquitectura de red flexible, dispositivos de bajo costo y bajo consumo de energía. La cantidad de nodos que pueden formar una red es muy grande ( $\leq 65,536$ ) y existe compatibilidad entre equipos de diversos fabricantes. Los nodos ZigBee pueden trabajar por periodos prolongados de tiempo, incluso años, sin tener que cambiar la batería y no requieren licencias para el uso de frecuencias, ya que trabajan en bandas de radio centradas en los 868, 915 y 2400 MHz., disponibles en casi cualquier región del planeta, siendo la más usada la de 2400 MHz. por ser en la que se transmite a mayor velocidad (250 Kbps.). Las principales desventajas que tiene ZigBee son las siguientes: velocidad de transmisión baja, las distancias alcanzadas son cortas y la existencia de un punto de falla representado por el coordinador de la red ZigBee, razones por las cuales en ciertas aplicaciones se usa otro tipo de conexión alámbrica o inalámbrica [2]. Además de leer datos desde dispositivos ZigBee, con este protocolo se les puede enviar también comandos a estos dispositivos en la realización de aplicaciones de monitoreo que incluyan implantar redes de gran tamaño de sensores ZigBee. Debido a que ZigBee usa un protocolo seguro de enrutamiento de paquetes, se pueden implantar técnicas de enrutamiento de tráfico para mejorar el rendimiento de las redes ZigBee, así como usar algoritmos de encriptación y autenticación. En la Tabla I se muestran las principales características de los dispositivos ZigBee.

TABLA II  
CARACTERISTICAS DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE

Especificación	XBEE
Alcance interiores	30 m
Alcance exteriores	100 m
Potencia de salida de transmisión	100mW(0dBm)
Velocidad de transmisión	250000 bps
Interfase serial	1200 – 115200 bps
Sensibilidad de recepción	-92 dBm
Frecuencia de Operación	ISM 2.4Ghz
Topologías de red soportadas	Punto a punto Punto multipunto Pear to Pear
Número de canales	16 Canales de secuencia directa
Opciones de direccionamiento	PAN ID, Canal, Dirección

Adicionando a los dispositivos ZigBee un microcontrolador, se pueden llevar a cabo distintas aplicaciones donde la información leída desde ellos sea enviada a un sistema de control central donde un operador procesara la información, almacenada y desplegada.

En el desarrollo de este trabajo se monitorea el nivel de temperatura y humedad en diferentes áreas de un piso de oficinas en un edificio corporativo. La información leída periódicamente desde los sensores es almacenada, desplegada y procesada en un controlador central. En las diferentes áreas se encuentran tomas de aire acondicionado y ventanas con flujo de aire. Los sensores se ubicaron estratégicamente en cinco sitios que son donde se reportan mayores cambios en estas variables. La Figura 1 muestra el tipo de áreas en las cuales se monitorean estas variables.



**Figura 1. Descripción del área a monitorear**

## II. DESARROLLO

La metodología usada para el desarrollo de este trabajo inicio con la fase de construcción de un módulo de sensores que monitorean el nivel de temperatura y humedad en diferentes áreas de un piso de oficinas de un edificio corporativo. Este módulo cuenta también con un transmisor inalámbrico de tecnología ZigBee que envía los valores de temperatura y humedad a un controlador central. La segunda fase consistió en construir un controlador central que recibe despliega y procesa la información leída periódicamente por los

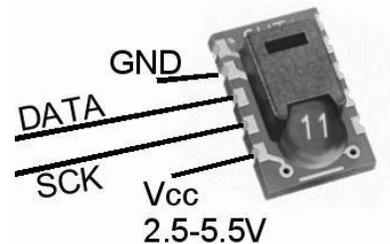
sensores, además de almacenarla en una memoria. Este controlador advierte a un operador sobre algún cambio repentino de temperatura y humedad que pueda provocar algún malestar en el personal de las oficinas. Las variables monitoreadas generan alertas dependiendo en que región del edificio o piso de oficinas se encuentren. Si están en un área donde el rango de temperatura deba ser entre 10°C y 15°C o que la humedad relativa se encuentre entre 40%HR y 60%HR y estas condiciones varían por arriba o por abajo de estos parámetros, el sistema aquí presentado genera una alerta audible y visual al operador del sistema. En la Figura 2 se muestra un diagrama de bloques de los dos módulos construidos en el desarrollo del sistema.

*El módulo de sensores*

Se construyeron cinco módulos de sensores. Cada uno de ellos consiste de un circuito SHT11 [3] y un circuito RF XBee. El circuito SHT11 integra dos sensores: uno de tipo capacitivo para medir la humedad relativa y otro de intervalo de banda para medir la temperatura. La salida de los dos sensores es leída, internamente en el el circuito SHT11, por un convertidor analógico digital de 14 bits y entregada en forma digital serie por una terminal de salida del SHT11. El circuito XBee transmite periódicamente, cada 5 minutos, su identificador y los valores entregados por el sensor al controlador central. La Figura 3 muestra al circuito SHT11 usado.



**Figura 2. Diagrama a bloques del sistema**



El circuito XBee es un dispositivo compatible con el protocolo ZigBee 802.15.2, cuenta con antena

integrada que puede transmitir información inalámbrica a una distancia máxima de 300 pies en interiores, trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz. y usa los protocolos de red y ruteo del estándar ZigBee. Se alimenta con una fuente de voltaje de 3.3 V y puede configurarse para trabajar en una red de malla, lo que le permite extender su rango de transmisión usando ruteadores. El circuito XBee se puede configurar en uno de los siguientes modos de operación: modo transparente y modo API. Se eligió trabajar con circuitos XBee Versión 1 fabricados por Maxstream por su facilidad de adquisición, manejo y disponibilidad de información, además de que pueden ser ajustados para usarse en redes de configuración punto a punto y punto a multipunto. Son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos y aparatos domésticos. La Figura 4 muestra el dispositivo XBee utilizado.

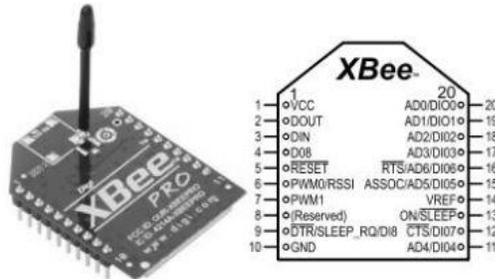


Figura 4. Módulos XBee

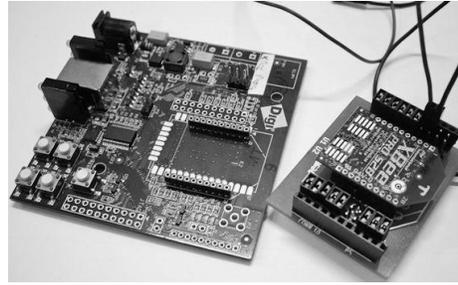
Los valores de temperatura y humedad entregados en forma serie asíncrona por el circuito SHT, son recibidos por el dispositivo XBee a través de su terminal 3 (DI). Cuando no existen datos se mantiene en un nivel alto por defecto. Cada byte de información está acompañado por un bit de inicio y uno de parada. Esta información es almacenada en un buffer del dispositivo XBee, para posteriormente ser empaquetados en una trama RF y enviada al controlador central. La trama se empaqueta siempre y cuando se presente una de las tres siguientes condiciones:

- El estado de la terminal D0 sea 0, es decir se configura una señal de interrupción externa para envío de datos.
- El buffer ha recibido 100 bytes de datos.
- Se recibe la secuencia de bytes GT+CC+GT, GT es el tiempo de espera que se configura al dispositivo XBee antes de enviar una trama RF.

Cada trama RF contiene la dirección origen y la dirección destino especificada con los comandos ZigBee MY y DL. Las tramas RF siguen la estructura de la especificación 802.15.4. Para programar los circuitos XBee se utilizó un módulo de la marca DIGI el cual se conecta a una computadora personal. En la Figura 5 muestra este módulo de programación

#### *El controlador central*

Este es el módulo principal de control y despliegue de información el cual se basó en un microcontrolador PIC16F887. El microcontrolador PIC16F877 [4] cuenta con 3 puertos, dos de ellos se usaron para conectarles un display LCD y un circuito XBee. El circuito XBee fue configurado como coordinador y recibe las tramas enviadas por cada módulo de sensores. Estas tramas las entrega al puerto serie UART del microcontrolador como se muestra en las conexiones indicadas en la Figura 6.

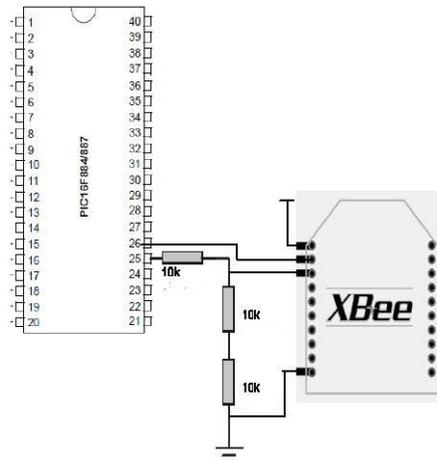


**Figura 5. Programador de dispositivos XBee**

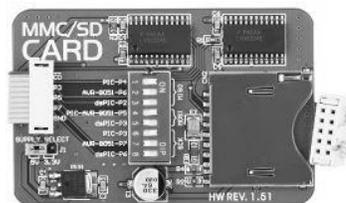
Ya que la terminal de salida TX del dispositivo XBee trabaja con niveles de corriente de 45 mA. a 215 mA. y la terminal RX del microcontrolador con corrientes de 50 mA. a 55mA., se incluyó divisor de corriente y de voltaje en esta parte del controlador.

El display LCD despliega las alertas y estado de los sensores. El registro de valores de temperatura y humedad se realizó utilizando un módulo memoria microSD [5], el cual recibe del microcontrolador estos valores por medio de una de sus líneas de salida serie. La Figura 7 muestra el módulo de memoria SD usado.

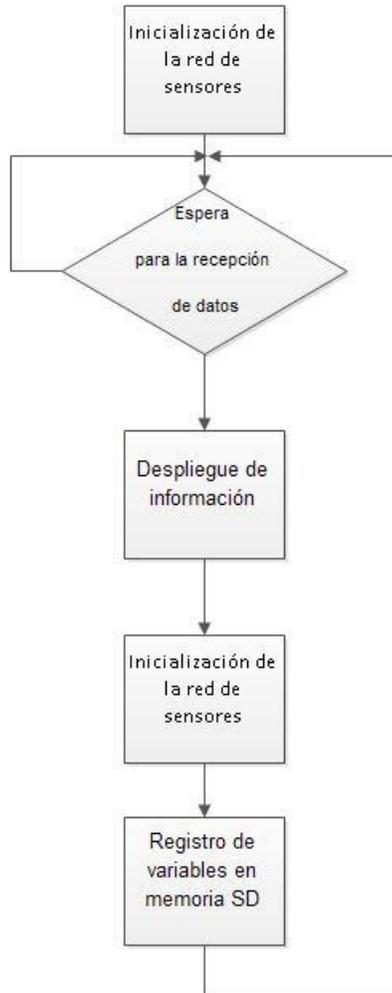
En la Figura 8 se muestra un diagrama de flujo de la programación realizada en el microcontrolador para llevar a cabo las tareas indicadas anteriormente.



**Figura 6. Acoplamiento**



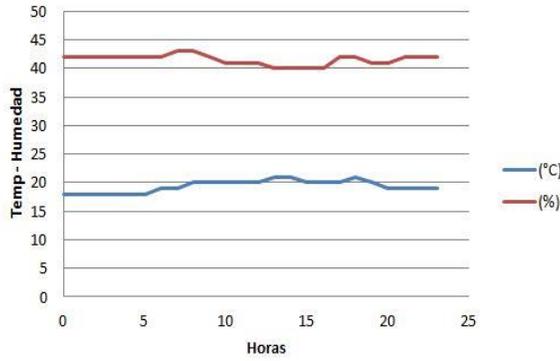
**Figura 7. Módulo de memoria SD**



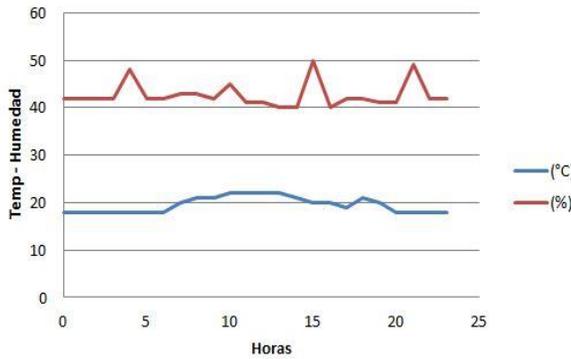
**Figura 8. Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador**

### **III. RESULTADOS**

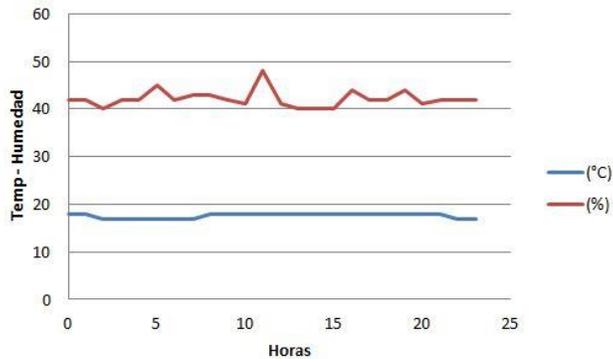
En los resultados del muestreo de temperatura y humedad de sensores ubicados en algunas áreas del piso de oficinas, se pudieron ver algunos picos de valores. Esto fue debido a la variación repentina de las variables causada por corrientes de aire, por ajustes en los sistemas de acondicionamiento de temperatura y humedad, por apertura de puertas, por aglomeración en salas de juntas o por lugares con mucho tránsito de personas. En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran los valores de algunos muestreos realizados de temperatura y humedad en tres sensores ubicados en localidades diferentes. En base a estos muestreos se tuvieron recomendaciones por parte de expertos en el acondicionamiento para la reubicación de estos sensores. La información colectada cada 5 minutos resultó muy valiosa, la cual está disponible para ser graficada.



**Figura 9. Registro diario del sensor 1**



**Figura 10. Registro diario del sensor 2**



**Figura 11. Registro diario del sensor 3**

#### IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se alcanzó el objetivo planteado, el cual fue crear un dispositivo para monitoreo de temperatura y humedad, contando con un sistema de alerta efectivo bajo el estándar IEEE 802.15.4, comercialmente conocido como ZigBee, proporcionando una solución de bajo costo, compacta, de baja complejidad y mínimo consumo de energía para redes con bajas tasas de transmisión en comunicaciones inalámbricas. ZigBee opera en la banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz, misma que se encuentra saturada por la utilización de otros dispositivos inalámbricos. El identificar los puntos con mayor variación en temperatura y humedad fue de gran utilidad, ya que con esto se pueden diseñar mejores oficinas o implementar mejores controles de uso para un mejor aprovechamiento de la energía. Los resultados obtenidos fueron adicionados a un informe a los directivos de las oficinas, ya que es información muy valiosa que podría llevar a conclusiones tan simples como porqué es más sensible a enfermedades el personal que se encuentra en áreas

donde existe gran variación de temperatura y no es la humedad relativa deseable. En cuando a los objetos físicos, la corrosión, oxidación y otros cambios en la infraestructura son causados por las alteraciones y por no estar en niveles adecuados los parámetros aquí analizados. Este trabajo no solo tiene utilidad en pisos de oficinas, sino que también puede usarse en diversos ambientes como por ejemplo en almacenes de alimentos, de materiales de construcción y hospitales, donde se debe mantener un control más estricto de temperatura y humedad para preservar elementos y materiales. Finalmente, se tiene planeado extender la funcionalidad del sistema aquí presentado de manera tal que exista retro-alimentación con los sistemas de aire acondicionado, de forma que si se alcanza un cierto valor máximo o mínimo de temperatura establecido por el usuario, el sistema pueda controlar el aire acondicionado para regular la temperatura.

## V. RECOMENDACIONES

En cuanto a la ubicación de los sensores, es necesario considerar las siguientes recomendaciones:

- Ubicarlos en sitios donde no incidan directamente corrientes de aire como podrían ser las que se generan a las salidas de los equipos de acondicionamiento de aire.
- No ubicarlos demasiado cerca de áreas donde existe tráfico pesado de personas ya que esto causa variaciones indeseables en las variables.
- Alejarlos de la incidencia de luz solar directa, para evitar saturación en los sensores.
- No instalarlos en áreas que podrían estar aisladas de bandas de frecuencias de 2.4GHz, puesto que es la que se usa para las comunicaciones de los datos.

La cantidad de datos que ofrece el dispositivo es muy grande por día, se recomienda normalizar estos datos para que se tengan curvas más confiables. En los gráficos se muestran picos de señales que podrían ser no confiables.

## REFERENCIAS

- [1] Gal Z.; Balla T. y Karsai A. (2013) "On the WiFi integrference analysis based on sensor network measurements" in *IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. September 26-28, 2013, Subotica, Serbia.
- [2] Kyung, C. y Minjung, Yun. (2012) "An enhanced key management using ZigBee Pro for wireless sensor networks" in *2012 International Conference on Information Networking (ICOIN)*. Page(s): 399-403.
- [3] Sensirion Co. (2014) *Technical Data SHT1x*, <http://www.sensirion.com/>
- [4] Microchip Technology Inc. (2014) *PIC16F87X Data Sheet*.
- [5] MikroElektronika (2014) *Technical Data MMC/SD Board*, <http://www.mikroe.com/add-on-boards/storage>



# Mediciones Nutritivas En Un Sistema Hidropónico NFT Mediante El Uso De Sensores De Iones Selectivos Y LabVIEW

V. E. Manqueros-Aviles

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo.

**Resumen**— En el presente se redactan los resultados obtenidos de la medición de diferentes nutrientes dentro del cultivo de lechuga, misma que fue cultivada usando la técnica película nutritiva NFT por sus siglas en inglés (Nutrient Film Technique), se exponen los resultados de medición usando sensores de iones selectivos, para lo cual fueron acondicionados con el fin de otorgar señales electrónicas que puedan ser leídas por una tarjeta adquisitora USB-6008, mediante el uso de LabVIEW se desarrolla una interfaz con el objetivo de visualizar el comportamiento de las variables con un retraso de datos muy pequeño. La interfaz otorga la posibilidad de guardar los datos históricos en un archivo de EXCEL. Se exponen los resultados de suministrar ciertos nutrientes mediante una decisión de control tomando en cuenta los niveles de nutrientes presentes, usando bombas dosificadoras y el efecto que tiene la recirculación de la sustancia nutritiva en las mediciones.

**Temas claves**— NFT, Interfaz, Sensor, Hidroponía, Calcio, Oxígeno Disuelto.

**Abstract**— At present the results of the measurement of different nutrients in the lettuce crop was drafted, it was cultivated using the technique nutritious film NFT for its acronym in English (Nutrient Film Technique), the measurement results are presented using sensors selective ions, to which were conditioned to provide electronic signals that can be read by a USB-6008 adquisitora card, using LabVIEW interface is developed in order to visualize the behavior of the variables with a delay of very little data. The interface provides the ability to save historical data to a file in EXCEL. Results provide certain nutrients through a decision by taking into account the levels of nutrients, using metering pumps and the effect of the nutrient recirculation measurements are presented.

**Keywords**— NFT, Interface, Sensor, Hydroponics, Calcium, Dissolved Oxygen.

## I. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años el campo mexicano cada vez más se va quedando abandonado pues el trabajo que realiza el campesino es físicamente muy demandante aún y cuando existe maquinaria que ayude a labrar la tierra no está disponible para todos los campesinos pues el precio es elevado, aunado a esto la ubicación de sus productos en el mercado es muy complicado pues existen terceros que especulan con los precios de los productos y siendo ellos quien realmente obtienen una ganancia de los productos del campo, propiciando que en el campo la producción de granos, vegetales y hortalizas entre otros, sea deficiente y se tenga que importar productos de otras partes del mundo. El presente trabajo no pretende solucionar este gran problema que afecta al campo mexicano, si no contribuir en la generación conocimientos sobre el comportamiento de diferentes factores que intervienen en un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique), para futuras investigaciones y asesorar a productores de hortalizas y sobre todo de lechugas para hacer más eficaz sus medios de producción.

Con el uso de la hidroponía se reducen muchos problemas que actualmente afectan a las hortalizas que son cultivadas a cielo abierto sobre el suelo, problemas como la escasez de agua, la contaminación del producto por el uso de aguas negras, la producción solo en ciertos meses del año, la calidad del producto y los problemas de plagas entre otros. Ya que los cultivos hidropónicos normalmente están bajo un ambiente controlado (en invernadero) con lo cual se puede obtener varias cosechas al año y la calidad del producto se ve mejorada. Los cultivos hidropónicos no requieren de un gran esfuerzo físico con lo cual se hace más fácil el control de plagas, el cuidado y la supervisión del crecimiento de la planta, se pueden ahorrar fertilizantes y

agua con lo cual los costos de producción se reducen a largo plazo de manera considerable.

Dentro de la hidroponía existen varios sistemas de cultivo, los cuales se diferencian entre sí por el medio de cultivo, es decir el lugar en donde son colocadas las plántulas para su crecimiento y cosecha, el presente trabajo se desarrolla utilizando el sistema hidropónico NFT someter a revisión.

(Nutrient Film Technique) o técnica de película nutritiva, básicamente consiste en cultivar plantas sobre todo hortalizas sobre un canal el cual en su interior contiene la solución nutritiva con la que la plántula se alimentara de los nutrientes necesarios hasta ser cosechada. Estos sistemas normalmente están dentro de invernaderos con el fin de proporcionar a las plantas las condiciones climáticas necesarias para su correcto desarrollo, mediante el uso del sistema NFT se hace necesario tener el control de pH, la conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, para lograr mejor calidad y cantidad de producto. Por lo que el uso de sensores es de vital importancia para cuantificar las variables que influyen sobre el clima y la solución nutritiva.

El uso de sensores selectivos de iones dentro del presente trabajo es de gran importancia para evaluar el comportamiento de nutrientes como el Nitrógeno, Calcio y Amonio dentro de la solución nutritiva y determinar qué tan fiables son estos sensores para un posterior control de nutrientes.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar mediante mediciones diarias el comportamiento de los sensores de iones selectivos en especial el de nitratos y de calcio mediante el uso de una interfaz diseñada bajo LabVIEW™. Además de Obtener resultados del comportamiento de variables dentro de la solución nutritiva para diseñar nuevos experimentos, los cuales sirvan para obtener mayor calidad y cantidad de productos.

Adquirir los conocimientos suficientes para comprender el desarrollo físico y nutricional del sistema NFT. El presente trabajo contiene una breve pero eficaz descripción del nacimiento de la hidroponía, de los diferentes tipos de cultivos hidropónicos que existen. También están contenidos los materiales usados y los métodos necesarios para montar el experimento, el cual fue elaborado en los invernaderos de la preparatoria agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

## II. SISTEMA HIDROPÓNICO, CONSTRUCCIÓN, MEDICIONES Y RESULTADOS.

### A. Construcción de la estructura, siembra y trasplante de lechugas.

Con la finalidad de conocer la operación de un sistema hidropónico NFT, se construyó el primer prototipo, contemplando la construcción de prototipo, la elaboración de la solución nutritiva, el sensado del pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto. La figura 1 muestra un sistema a bloques del diseño del primer prototipo a construir.

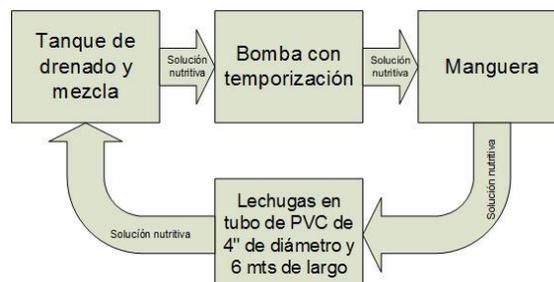


Figura 1. Primer prototipo.

En base al diagrama de bloques que se muestra en la figura 1, se construyó el primer prototipo, usando un tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo, al tubo se le hicieron 24 orificios de 2 pulgadas cada uno, distanciados de centro a centro 25 centímetros.



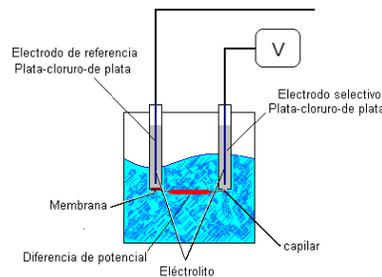
**Imagen 1. Primer experimento.**

### B. *Sensores de Iones Selectivos.*

Diseñados para un uso químico, en hidroponía se pueden utilizar para determinar cuantitativamente la cantidad de sales inorgánicas de la solución nutritiva. Hay diferentes tipos de sensores selectivos de iones, los cuales se diferencian por el material del que está hecha la membrana. En esta parte del sensor es donde se efectúa la selección de los iones, clasificándose en [16] [17]:

1. Electrodo con membrana de vidrio.
2. Electrodo de estado sólido.
3. Electrodo basado en líquidos.
4. Electrodo compuestos.

La figura 2 muestra el funcionamiento básico de un sensor selectivo de iones. La membrana esta dopada de una sustancia que reacciona con la sustancia a medir y los iones de este elemento entran en contacto con la membrana creándose una diferencia de potencial entre los electrodos proporcional a los iones presentes [16] [17].



**Figura 2. Sensor de Iones Selectivos.**

### C. *ISFET (Transistor de efecto de campo sensible a iones).*

El funcionamiento de estos sensores introducidos en 1970, es similar a un MOSFET. En lugar de tener una compuerta metálica tiene un electrodo de referencia y una solución comúnmente llamada analito o electrolito, quedando el canal o dieléctrico expuesto a la solución. Al aplicarse un voltaje positivo en la compuerta con respecto al canal de silicio tipo p este conduce un voltaje de la fuente al drenaje. Al aplicar un voltaje entre la fuente y la compuerta, se puede modular el canal mediante un voltaje aplicado en la compuerta. El electrodo de referencia funciona como la compuerta, exponiéndose al electrodo de referencia, siendo algunos electrones atraídos hacia el electrolito y generando por lo tanto una diferencia de potencial y conductividad en el canal. Este es el proceso de modulación del canal que permite pasar cierto voltaje de la fuente al drenaje, siendo dependiente de la sustancia a medir. El electrolito esta echo de varios materiales o sustancias los cuales dependen de lo que se quiere cuantificar. En la figura 2.11 se muestra un ISFET [18] [19] [20] [21].

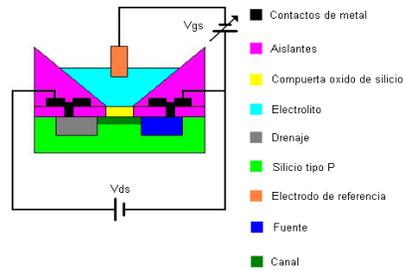


Figura 3. Isfet

D. *CHEMFET (Transistor de efecto de campo químico).*

El funcionamiento de los CHEMFET es muy parecido al ISFET, solo que en vez de un electrodo de referencia, los CHEMFET usan una membrana cargada con ciertos iones. Estos iones crean un movimiento de huecos en el hidrogel los cuales provocan una diferencia de potencial en la compuerta de óxido de silicio y por consiguiente el canal conduce un voltaje de la fuente al drenaje. En la figura 3 se muestra el esquema básico de un CHEMFET [18], donde la modulación del canal dependerá de la cantidad de partículas o iones a medir.

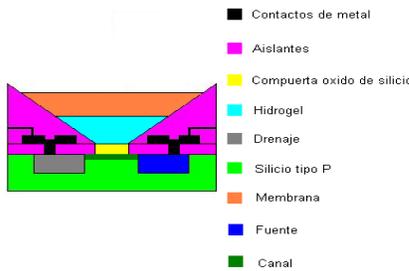


Figura 4. Chemfet.

E. *Sensores útiles para sistemas NFT.*

El sensor de pH, es usado para medir el potencial iónico de hidrogeno en sistemas hidropónicos y en otros procesos. La figura 2.13 muestra la construcción típica del sensor de pH en el cual se usan dos tipos de electrodos. El pH es medido usando dos electrodos un como indicador y otro como referencia, encontrándose físicamente en un solo sensor. Cuando los dos electrodos son sumergidos en una solución, se establece una célula galvánica y el potencial desarrollado es dependiente de ambos electrodos. La condición de medición ideal existe solo cuando el potencial del electrodo indicador cambia en respuesta a la variación del pH, permaneciendo el potencial del electrodo de referencia constante.

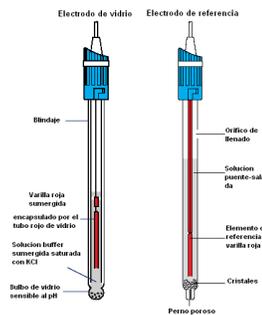
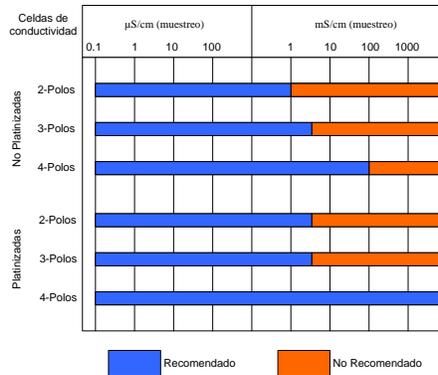


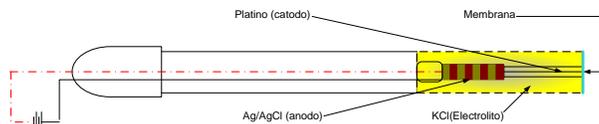
Figura 5. Construcción de electrodo típico de pH.

Existen varios tipos de sensores para medir la conductividad eléctrica siendo la efectividad y el rango de sus mediciones dependientes de la cantidad de polos y el material de que están hechas las celdas. La figura 6 muestra los rangos abarcado por los sensores.



**Figura 6. Diferentes tipos de sensores para medir CE.**

La cantidad de oxígeno disuelto que contiene la solución nutritiva se mide mediante un sensor el cual utiliza un electrodo de platino como cátodo y un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata como ánodo inmerso en un electrolito de KC, separado de la muestra a medir por una membrana plástica permeable de gas, figura 7. De acuerdo a esto fluirá una corriente que es proporcional al radio de difusión del oxígeno y en turno al oxígeno disuelto que hay en la muestra. Esta corriente es convertida a un voltaje proporcional el cual se amplifica para poder cuantificarlo.



**Figura 7. Partes de un sensor de oxígeno disuelto.**

En sistemas hidropónicos la medición de nutrientes específicos como el Ca, NO<sub>3</sub>, B, K entre otros se efectúa mediante sensores selectivos de iones los cuales están basados en membranas que miden un ion específico en soluciones nutritivas. Cuando la membrana del sensor está en contacto con la solución, un voltaje dependiente del nivel de iones en la solución, se desarrolla en la membrana respecto a un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata. La membrana es de un polímero sólido de PVC (figura 8) y el voltaje que mide el sensor se puede representar por la ecuación lineal de Nernst [25].

$$E = E_0 + m(\ln a) \tag{1}$$

Donde:

$E$  = Voltaje medido (volts).

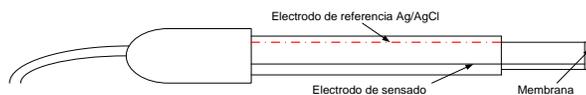
$E_0$  = Potencial standard para la combinación de dos mitades de celda (volts).

$m$  = Pendiente.

$a$  = Actividad medida de la especie de iones.

Asumiendo que la fuerza iónica es lejanamente constante la ecuación se puede reescribir donde  $C$  representa la concentración iónica.

$$E = E_0 + m(\ln C) \tag{2}$$



**Figura 8. Sensor de iones selectivos.**

F. Solución nutritiva.

En la tabla 1, se muestran las sustancias que se usan para preparar la solución nutritiva aplicada al primer prototipo. La mezcla sugerida por la tabla es para preparar 1000 litros de solución, por lo que se ajusta para preparar los 100 litros necesarios requeridos por este prototipo. El orden en que se mezclan los fertilizantes con el agua es el mostrado en la tabla 1 [2], siendo los pasos necesarios para preparar la solución nutritiva los siguientes:

1. Pesar las sales y separarlas una de otra con un error máximo del 5 %.
2. Poner agua en el tanque de mezcla hasta el 10 por ciento de su volumen final.
3. Mezclar las sales en un recipiente con suficiente agua para que se disuelvan con facilidad; Las sales difíciles de disolver, deben agregarse en agua caliente.
4. Disolver en el tanque los micronutrientes y después los macronutrientes, aunque puede realizarse también en forma inversa.
5. Llenar el tanque a su volumen final.
6. Medir el pH y ajustarlo de ser necesario con ácido fosfórico, ácido sulfúrico o con hidróxido de potasio.
7. Recircular la solución nutritiva por el canal de cultivo y ajustar nuevamente el pH.

Los fertilizantes pueden mezclarse directamente en el tanque, siguiendo el orden de solubilidad partiendo del menos soluble.

Tabla 1. Fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

Fuente	Fórmula	Peso molecular	Cantidad	Solubilidad
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.0	75 ml	Solución ácida
Nitrato de Potasio	KN O <sub>3</sub>	101	50 g	1:4
Sulfato de magnesio	Mg SO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.5	50 g	1:3
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164	230 g	1:1
Solución madre	Varios		100 ml	

Tabla 2. Fertilizantes para 1 litro de solución madre.

Fuente	Fórmula	Cantidad
Sulfato ferroso	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	49 g
Sulfato de manganeso	Mn SO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1 g
Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	9 ml
Sulfato de cobre	Cu SO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0 g
Sulfato de zinc	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2 g

### G. Almacigo.

Se germinaron semillas de lechuga Boston las cuales tienen una densidad de 850 a 1110 semillas por gramo, en una charola con 200 cavidades imagen 2, cada una de las cavidades se llena con sustrato tipo vermiculita, se deposita una o dos semillas en las cavidades con una profundidad de ½ centímetros aproximadamente, la charola es humedecida por las mañanas con agua, cubierta de una fuerte exposición solar hasta que las semillas germinen.



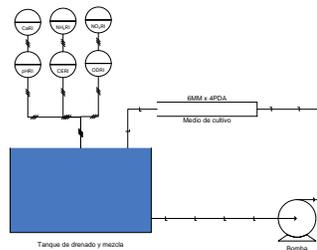
**Imagen 2. Siembra y trasplante de plántula.**

*H. Muestreo y control de variables.*

Para tomar las muestras de los valores del pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de Vernier Software and Technology y un datalogger marca Vernier Labpro®. Una calculadora TI-83 Plus Silver de Texas Instruments© se monta sobre el datalogger. Se toman las muestras de la solución nutritiva en el tanque, para ajustar el pH, la conductividad eléctrica y observar el comportamiento del oxígeno disuelto, imagen 3. El diagrama de instrumentación se muestra la figura 9.



**Imagen 3. Sensores y datalogger.**



**Figura 9. Diagrama de instrumentación.**

Dos veces al día se muestreo el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto en la solución nutritiva realizándose por las mañanas entre las 7 y 10 a.m. y en las tardes de 6 a 8 p.m. durante los 30 días de cultivo. El pH se ajustó entre 5.8 y 6.2, utilizando ácido fosfórico cuando la solución era más alcalina que el rango mencionado y agua cuando la solución era acida. La conductividad eléctrica se ajustó a 1.8 mS/cm, usando agua para bajar a dicho valor. El oxígeno disuelto no se ajustó durante el experimento manteniéndose entre 5.2 y 5.3 mg/l en el tanque. La solución en reposo mostró una oxigenación de 5.6 mg/l y al recircularse la solución se incrementó a 5.8 mg/l.

*I. Prototipo final*

El prototipo final cuenta con dos tubos para el cultivo de la lechuga por los cuales circula la solución con mayor flujo mejorando la oxigenación. Cada uno de los dos tanques maneja una solución nutritiva diferente. Uno de los tubos mantiene el control de nitratos para mejorar el suministro de nitrógeno en una de las soluciones nutritivas con el fin de poder diferenciar entre el crecimiento de las lechugas de un tubo y el otro.

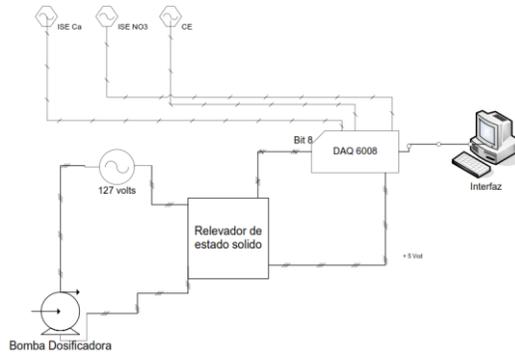
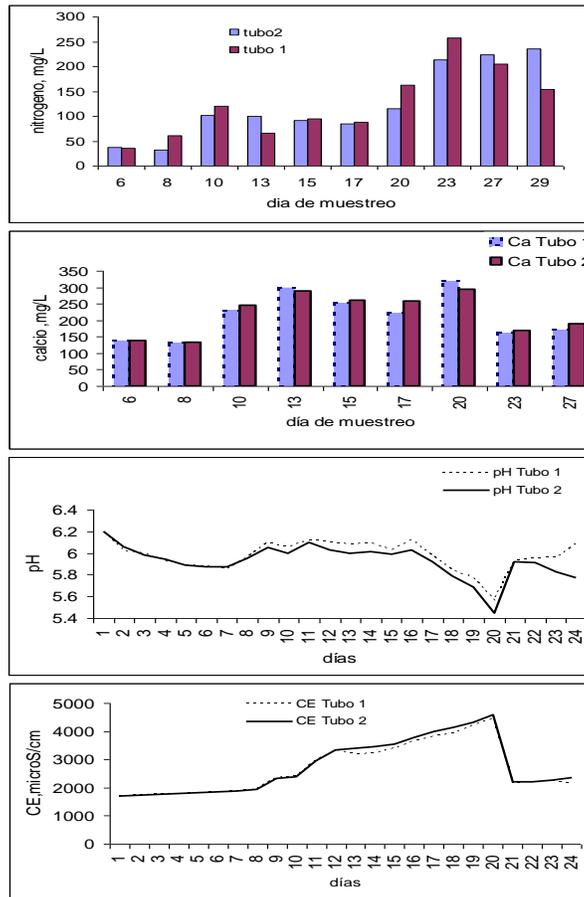


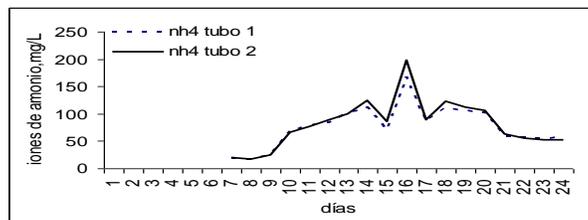
Figura 10. Diagrama de instrumentación, con inyección de nutriente.



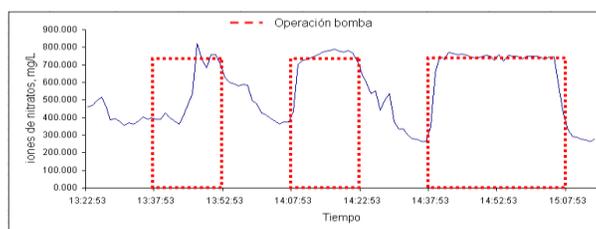
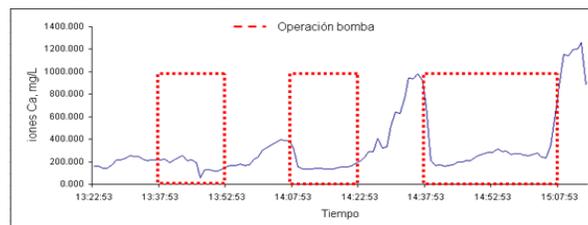
Imagen 4. Prototipo final.

J. Resultados





**Figura 11. Comportamiento de las variables.**



### III. AGRADECIMIENTOS

Más que los resultados obtenidos, quiero dar gracias al doctor Federico F. Hahn Schlam, por la oportunidad de aprender en la realización de este proyecto.

### REFERENCIAS

- [1] Howard M. Resh, Ph. D., “Cultivos Hidropónicos”, Ediciones Mundi-Prensa, 3ª. Edición, Madrid, 1992.
- [2] Juan T. Morales, Ignacio Miranda Velásquez, Isaías Gil Vázquez, Aurelio, Bastida Tapia, Juan Hernández Ortiz, David Saúl Reyes Ramírez, Georgina Flores Escobar, Erick Navarro López, “Introducción a la hidroponía”, Preparatoria Agrícola Universidad Autónoma Chapingo. Serie de publicaciones, AGRIBOT, Chapingo México, 2004.
- [3] Sonia Rodríguez de la Rocha, MC G., “Diferentes Cultivos”, Chihuahua, 2002.
- [4] <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/modulo1.htm>
- [5] Carlos Baixauli Soria, José M. Aguilar Olivert, “Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencias”, Generalitat Valenciana, Valencia, 2000.
- [6] Gilda Carrasco Ph. D., Juan Izquierdo Ph. D., “La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Re circulante NFT”, Editorial Universidad de Talca, Talca, 1996.
- [7] [http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo\\_aeroponico.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo_aeroponico.htm)
- [8] NGS®, “NGS®: Un Nuevo Sistema de Cultivo”, NGS®, Almería España, 2005.
- [9] <http://www.acuaponia.com/>
- [10] Oscar Malca G. “Seminario de Agro Negocios: Lechugas Hidropónicas”, Universidad del Pacifico, Facultad de Contaduría y Administración, Perú, 2001.

- 
- [11] Brian E. Whipker, Todd J. Cavins and William C. Fonteno, "1, 2, 3's PourThru", Florex.005, North Caroline State University, 2001.
- [12] Infocir, "Hidroponía: Altos rendimientos en el cultivo de hortalizas", Focir, México D.F., 2004.
- [13] J.J. Magán Cañadas, M.P. Romera Pérez, F. Cánovas Martínez y E.J. Fernández Rodríguez, "Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo con re uso del drenaje en tomate larga vida", XVIII Congreso nacional de riegos. Murcia 1999.
- [14] Th. H. Gieling, "Control Of Water Supply And Specific Nutrient Application In Closed Growing Systems", IMAG, The Netherlands, 2001.
- [15] [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15a.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15a.html)
- [16] [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15b.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15b.html)
- [17] [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15c.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15c.html)
- [18] <http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials/isfet/>
- [19] [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15d.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15d.html)
- [20] <http://www.sentron.nl/nieuw/index.php?id=4>
- [21] <http://www.inti.gov.ar/citei/cyted/isfet.htm>
- [22] Radiometer Analytical SAS, "pH Theory and Practice", Radiometer Analytical SAS, Francia, 2003.
- [23] Radiometer Analytical SAS, "Conductivity Theory and Practice", Radiometer Analytical SAS, Francia, 2004.
- [24] Vernier Software and Technology, "Dissolved Oxygen Probe", Vernier Software Technology, USA, 2005.
- [25] Vernier Software and Technology, "Ion Selective Electrodes", Vernier Software Technology, USA, 2006.
- [26] National Instruments Corporation, "Data Acquisition and Signal Conditioning Course Manual", National Instruments Corporate Headquarters, Texas, 2005.
- [27] Controlled Environment Agriculture, "Lettuce Handbook", Cornell, 2004.
- [28] Vestergaard, "The Hydroponic Lettuce factory", Journal of the International Society of Soilless Cultivation, Dinamarca, 1988.
- [29] Red Hidroponía, "Boletín Informativo Numero 12", Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 2001.

# Transformación del PET para Maquinados, Mediante CNC, y Obtener Bujes de 1 Pulgada para uso Automotriz

P.Jácome-Onofre<sup>1</sup>, M.Montoya-Nafarrate<sup>1</sup>, H.Amador-Chagala<sup>1</sup>, B.Contreras-Contreras<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla, Carretera Costera del Golfo s/n km 140+100, Matacapán, San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.

**Resumen**— El objetivo es obtener bujes con PET RECICLADO se tiene que diseñar y construir el proceso que llevará a la obtención de estos. Un prototipo triturador de PET, ya que para la región de los Tuxtlas Veracruz, es más económico este proceso mecánico que el químico y posteriormente pasar al lavado y secado terminando con el proceso de fundición para poder obtener una materia prima y manufacturar un producto nuevo, como los bujes de 1 pulgada de diámetro para uso automotriz, maquinado mediante Máquinas de Control Numérico Computarizado. Esta probeta o materia prima que se obtiene es analizada mediante Ensayos Destructivos para ver sus propiedades mecánicas. Se trabaja con una metodología que implica concientizar la problemática del medio ambiente, este grupo de colaboradores se forma con diversas disciplinas, (Industrial, Ambiental, Electromecánica), con el apoyo de la ingeniería básica y de detalle, se interactúa con software de diseño SKETCHUP. El material principal de corte del triturador son muelles recicladas de suspensión pesada (Ballestas). E iniciar una línea de negocio para satisfacer necesidades del entorno de la zona tuxtleca.

**Temas claves**—.Contaminación ambiental, CNC, Ingeniería, Reciclaje PET, Plan de Negocio.

**Abstract**— The objective is to hubs RECYCLED PET has to design and build the process leading to obtaining these. A prototype PET crusher, since the region of the Tuxtlas Veracruz, is cheaper this mechanical process the chemical and then proceed to wash and dry finishing with the casting process to obtain a raw material and manufacture a new product, bushings and 1 inch in diameter for automotive use, machined using Computer Numerical Control Machines. This specimen or raw material obtained is analyzed by Destructive Testing to see its mechanical properties. It works with a methodology that involves awareness the problems of the environment, this group of collaborators is formed with various disciplines (Industrial, Ambient, Electro), with the support of basic and detailed engineering, interacting with design software SKETCHUP. The main material is recycled cut shredder heavy suspension (Ballestas) docks. E start an online business to meet the needs of the environment Tuxtleca area.

**Keyword**--Contamination environmental, CNC, Engineering, PET Recycling, Business Plan.

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad presentar la situación actual en la región de los Tuxtlas sobre el tema relacionado al PET. Existen en la actualidad diversidad de estudios relacionados sobre este tema, el cual sin embargo no ha podido contar con una visión más allá del desarrollo de un estudio sobre el consumo de este plástico. El estudio se divide en cuatro procesos donde se exhibe la situación actual del PET no solo enfocado aquí en la región, sino también una clara vista sobre la situación actual del PET en otros países y las comparaciones entre ellos. Además del marco legal en materia de plásticos.<sup>1</sup>

**Trituración:** un proceso mecánico más fácil y menos costoso que el proceso químico. Este proceso lleva a la tarea de construir el prototipo de una máquina trituradora para embaces PET en el Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla; puesto que esta zona de los Tuxtla no cuenta con una empresa propia que triture envases PET debido a esta problemática se realizó la construcción de esta máquina trituradora cuyo proceso consiste en triturar y sacar en pequeños pelles de PET, para que su uso en una nueva transformación en el mercado sea más sencilla y que la gente tenga lugar en donde entregar sus envases PET aún mejor costo y con esto no se tendría que exportar a China a Japón.

**Lavado y Secado:** Diseño y desarrollo de ingeniería básica y de detalle para la fabricación de un equipo de lavado y secado para integrar al prototipo triturador del PET.<sup>2</sup>

**Fundición:** Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a extrusión soplado se pueden utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. Excepción: el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 ° C.

El planeta necesita del aporte de diferentes disciplinas para la resolución de sus problemas ambientales: más que multidisciplinariedad requiere de la transdisciplinariedad (que no es más que la unificación de las diferentes disciplinas), como la Ingeniería Industrial, Ambiental, Electromecánica, para estudiar un fenómeno que siempre es complejo. Actualmente, pensamos que la problemática de desechos sólidos debe tomarse a nivel de Municipio y no con comunidades piloto. Urge educar ambientalmente a todo los Estado, Instituciones y comunidades. Los envases PET como desechos presentan más del 50% del total de la basura, la falta de cultura para la separación de residuos, el bajo valor de algunos y la falta de infraestructura para reciclar su aprovechamiento. Actualmente el PET se ha convertido en un problema para todos los países del mundo ya que por su alto consumo de este material ha traído consigo grandes problemas como es la contaminación y su vez ha tomado un gran impacto en las grandes metrópolis, debido a que los seres humanos no tienen conciencia y mucho menos cultura que los haga reflexionar del gran daño que este causa al tirarlo, es por eso que hoy en día se da a la tarea de recolectar este material con el único fin de darle un nuevo uso, al pasarlo por un proceso de separación por el tipo de plástico y posteriormente se continua por el proceso de lavado y secado para obtener una materia prima de buena calidad.

A través de la separación, lavado y secado se constituye un proceso mecánico más fácil y menos costoso que el proceso químico, en esta región de los Tuxtlas no se cuenta con una empresa propia que triture envases PET debido a esta problemática se realizó la construcción de esta máquina trituradora cuyo proceso consiste en triturar y sacar en pelles pequeños de PET.<sup>3</sup>

## II. PARTE TÉCNICA DEL PROTOTIPO

Hoy en día la falta de cultura en el reciclaje en los habitantes de la ciudad de San Andrés Tuxtla con respecto a los desperdicios de los envases PET ocasiona un gran índice de contaminación en dicha ciudad ya que no han sido depositado correctamente, esto ocasiona contaminación al medio ambiente, suelo, agua, y también para los seres vivos, de tal forma que surge la necesidad de darnos a la tarea de recolectar los envases PET para darle un nuevo uso ya que en los últimos años se ha incrementado los desperdicios de este en las calles de esta ciudad provocando la transformación del medio ambiente de forma negativa.

Esto se llevara a cabo con la finalidad de reciclar estos envases para darle un mejor uso para la transformación de nuevos productos reciclados y al mismo tiempo se estaría evitando la contaminación tanto al medio ambiente como a los habitantes de esta ciudad, para que en la región tuxtleca se fomente la cultura de reciclaje para que los pepenadores tengan más oportunidad de entregar su recolectado de envases PET a un precio mejor porque ya no se tendría que exportar a otro país, toda la materia prima se quedaría en el país y en la zona en las Instalaciones del Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla, transformándolo en hojuelas y luego transformarlos en nuevos productos. Como por ejemplo: Uno de los principales países que son líderes en la recolección del plástico PET son, Suiza, Tokio, Alemania y Japón los cuales utilizan todo su plástico para dar forma a nuevos productos y así también ayudar al medio ambiente.

### MATERIAL EMPLEADO

En el Diseño y construcción de este prototipo, la parte principal son las cuchillas de corte, se realiza por medio de un material llamado (Muelles de Ballestas),<sup>4</sup>

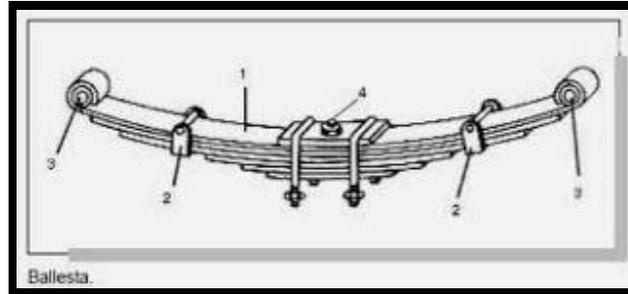


Fig. 1. Muelles de Ballestas (Fuente: [www.pistaseducativas.itc.mx](http://www.pistaseducativas.itc.mx)).

Las ballestas están constituidas por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante abrazaderas, que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan como se observa en la Figura 1.

### PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CUCHILLAS

Los muelles de ballestas son un tipo de suspensión especial para soporte de grandes cargas, por tanto se puede afirmar que necesitan de un material que proporcione los requerimientos específicos para realizar las funciones primordiales de una ballesta. El material del cual están compuestos la mayoría de los muelles de ballestas es acero **AISI 5160**. Así entonces, en la Tabla 1 se enlistan las propiedades mecánicas del acero **AISI 5160**:<sup>5</sup>

Propiedad Mecánica	Sistema Métrico
Módulo de elasticidad	205Gpa
Módulo de Poisson	0.29
Resistencia a la Fluencia $S_y$	1010Mpa
Densidad	7.85g/cm <sup>3</sup>

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del AISI 5160. (Fuente: [5]).

**ACEROS ALEADOS PARA TEMPLE Y REVENIDO.** Ejes, reductores, engranajes, transmisión, espárragos, bielas, cinceles, tijeras, rotores de turbinas, y en general piezas que requieran alta resistencia mecánica. A.I.S.I. 4140, 4340, 5160.

Según la Norma internacional ISO 9001:2008, que viene desarrollando año tras años. El alcance del SGC es “**Diseño, Fabricación y comercialización de muelles tipos ballestas y sus hojas**” que fue recertificado por BV (Bureau Veritas) el pasado 2012.<sup>5</sup>

En este presente trabajo se escoge este material, de Ballestas porque tiene un gran concentrado de acero y hace que su dureza sea suficiente para el trabajo a que va ser sometido, solo cortar plástico PET. Según **Robert. L. Mott**; en su libro escrito “Diseño de Elementos de Maquinas”

### METODOLOGIA

- Concientizar el problema del medio ambiente.
- Formar un grupo de trabajo con diversas disciplinas, (Industrial, Ambiental).
- Lluvia de ideas sobre ingeniería básica y de diseño.
- Interactuar con software de diseño SKETCHUP.

- Recopilar material (Muelles de carga, láminas, poleas, chumaceras, bandas, tornillerías, etc.).
- Diseño y construcción del prototipo triturador de envase PET.

En estas imágenes se aprecia el Programa de Diseño con el que se termina el prototipo:



Fig. 4. Software SKETCHUP.

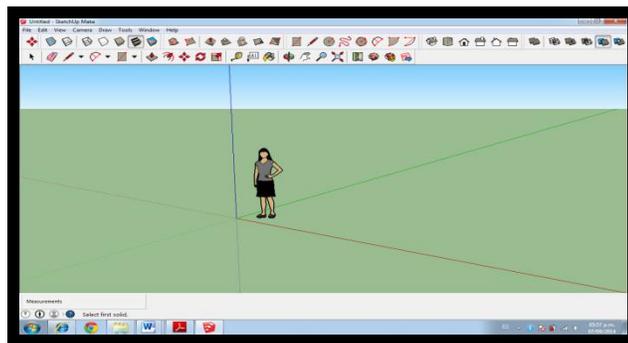


Fig.2. Presentación de ambiente del SKETCHUP

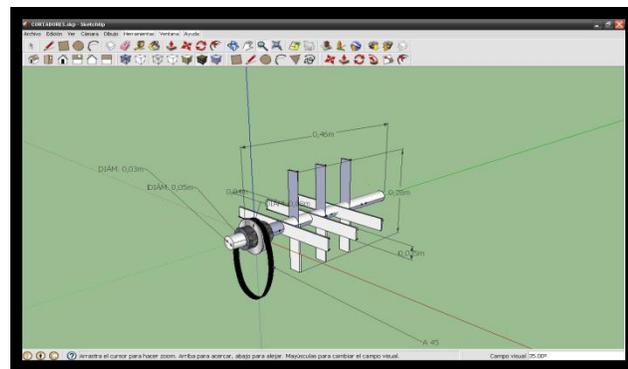


Fig.3. Diseño y Ensamble de cuchillas de corte. (Fuente Propia)

### METAS

- Reducir la contaminación ambiental de la zona de los Tuxtla, Veracruz.
- Crear fuentes de trabajo Y generar ingresos
- Propiciar la elaboración de materia prima y maquinar nuevos productos para la región.
- Disminuir la acumulación de plásticos en los rellenos sanitarios.

- Fomentar en la comunidad una disciplina social y contribuir al desarrollo sustentable.

### DESARROLLO

Es importante darse a la tarea de crear este nuevo diseño de esta máquina trituradora ayuda a convertir las botellas recicladas en pequeñas partículas del plástico para su mejor procesado, por lo tanto esta máquina estará conformada por un motor de un caballo de fuerza que permite dar más impulso a la máquina, posteriormente estará conformada por unas chumaceras, muelles de carros lo cuales serán utilizados como cortadores de la máquina y poleas para hacer el funcionamiento al igual que llevará una tolva a continuación se muestran las partes que conformaran la máquina.

Descripción de los elementos de la máquina.

- 1 Tolva.
- 2 Poleas.
- 1 Bandas.
- 1 Ejes rotativos.
- 2 Chumaceras.
- 3 Metros de solera para cortadores ( 3 ¼).
- 1 Base metálica rectangular.

Cortadores (cuchillas elaboradas con solera). Estos cortadores tienen forma de barritas con filos y con una medida de 25 cm de largo. A continuación se muestran los cortadores.



**Fig.5. Cortadores de Ballestas con Filo (Fuente propia).**

GUÍA DE ALGUNAS MARCAS DE PRODUCTOS PET, QUE SE TRITURAN CON ESTE PROTOTIPO.

Aguas, refrescos y bebidas energéticas (marcas más conocidas) Bonafont, Nestle, Ciel, Santa María, Be light, Electropura, Coca Cola, Pepsi, Peñafiel, Mundet, Gatorade, Enerplex.

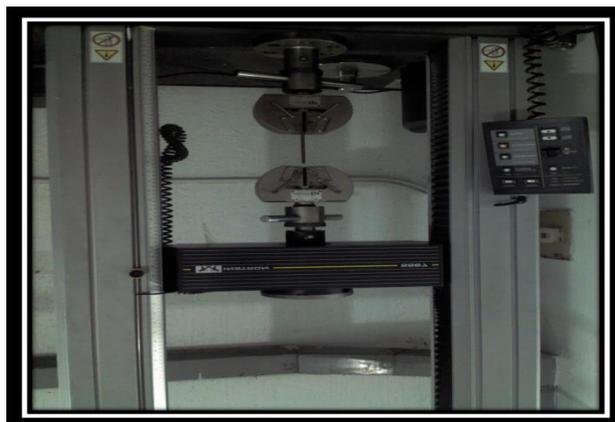
### MAQUINAS INSTRON PARA ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Aquí se aplican análisis y características de las propiedades físicas del PET. Donde se realizan pruebas de ensayos destructivos. A continuación se aborda una breve descripción del equipo de trabajo para realizar las pruebas experimentales del PET Reciclado, a través del programa **Merlín** para el ensayo de materiales, recolección y análisis de datos del mismo.

La Máquina Instron sirve para ensayar probetas y determinar las propiedades mecánicas y físicas y el comportamiento de distintos materiales, componentes y estructuras.<sup>6</sup>

**¿Qué es Merlín?**

Merlín es un paquete de programas de ensayo de materiales diseñados para funcionar en el entorno de Microsoft Windows. Merlín actúa como base de una serie de aplicaciones que ayudan a ensayar materiales y componentes, y a recoger y analizar datos de los mismos. Para bastidores electromecánicos, Merlín se ejecuta en un ordenador conectado a través de una tarjeta de interfaz digital y en el caso de los bastidores servo hidráulicos (en un sistema servo hidráulico, el bastidor se compone generalmente de una mesa base, dos columnas y una cruceta móvil fijada a las columnas).<sup>6</sup>



**Fig.6. Maquina Instron del ITSSAT. (Fuente: Lab. De Manufactura.)**

**PRUEBAS EXPERIMENTALES DE ESFUERZOS DEL PET RECICLADO CON SOPORTE BAJO LA NORMA ASTM 695.**

Tomando como referencia estudios realizados del PET reciclado se establecerá un cuadro comparativo para analizar las variantes que estarán en función de los distintos métodos de prueba, pero que se espera tener similitudes cercanas a las que se han de realizar.

**Tabla 2.** Características del PET y RPET

	PE		RP
	T virgen	ET	
Módulo de Young [MPa]	90	18	16
Resistencia a la rotura [MPa]		47	24
Elongación a la rotura [%]		3,2	11
Resistencia al impacto [J m <sup>-1</sup> ]		12	20
IV (dl g <sup>-1</sup> )	0.7		0.4
Temperatura de fusión (°C)	2 - 0.84	6 - 0.76	
Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	24	4 - 254	7 - 253
	600	81	58
		400	

**Procedimiento de prueba:**

La muestra se coloca entre las placas de compresión paralelos a la superficie. El espécimen se comprime a continuación, a una velocidad uniforme. La carga máxima se registra junto con los datos de

tensión-deformación. Un extensómetro unido a la parte delantera del dispositivo de fijación se utiliza para determinar el módulo.

### Tamaño de la pieza:

Las muestras pueden ser o bien bloques o cilindros. Para ASTM, los bloques típicos son 12,7 x 12,7 x 25,4 mm (½ por ½ por 1 pulgada). Y los cilindros son de 12,7 mm (½ pulgadas) de diámetro y 25,4 mm (1 pulgada) de largo. Para la norma ISO, los especímenes preferidos son 50 x 10 x 4 mm para el módulo y de 10 x 10 x 4 mm para la fuerza.

Este ensayo es útil para determinar el módulo de elasticidad, el esfuerzo en fluencia, la resistencia a la compresión y la deformación más allá del punto de fluencia. El método mediante el que se lleva a cabo el ensayo de compresión se define en ASTM D695.

Sometiendo estos especímenes a los ensayos NO Destructivos, quedan como lo indica la Figura 7



Fig.8. Probetas bajo las Normas ASTM D695. (Fuente Propia)

Las siguientes graficas nos muestra el Comportamiento de compresión en este Ensayo Destructivo.<sup>6</sup>

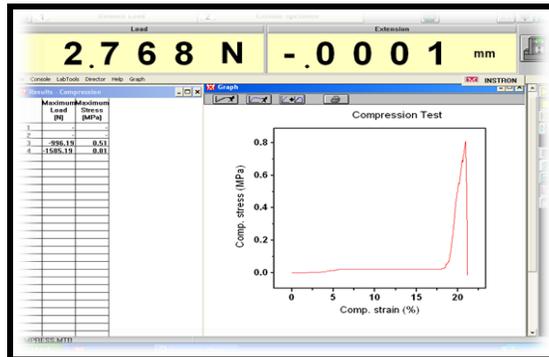


Fig. 9. Diagrama del Esfuerzo-Deformación del PET. (Fuente Propia)<sup>6</sup>

La grafica de la figura 9 que a continuación se presenta muestra los niveles máximos de esfuerzos, donde el material PET reciclado se fractura en capas longitudinales al cilindro observándose solo una parte de desprendimiento y así mismo vuelve a cargarse, donde el resto del material se fractura a mínimos esfuerzos hasta la ruptura final del espécimen.<sup>6</sup>

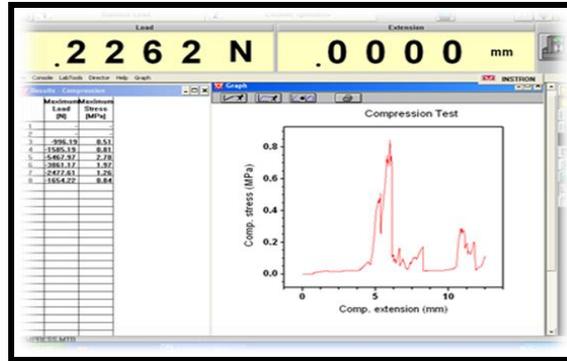


Fig. 7. Diagrama final de Esfuerzo del PET. (Fuente Propia).<sup>6</sup>

Este es el resultado de las botellas que se encuentran en las calles, basureros, en los contenedores de centros educativos de gobierno y privados dentro del municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz.

### III. APENDICE A: LAVADO, SECADO Y FUNDICIÓN.

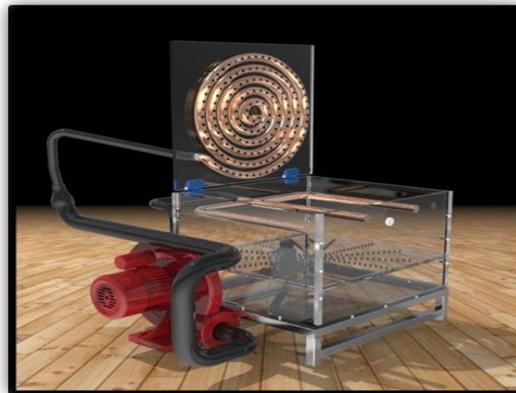


Fig. 10. Diseño del prototipo con lavadora y secadora en Solidworks Versión 2014. (Fuente Propia).

Se ha diseñado un equipo de lavado a la máquina trituradora del PET que sea capaz de limpiar los residuos generados por la misma a través de la ingeniería simultánea y el proceso de la manufactura.



Fig. 11. Fundiendo PET a 260°C. En Lab.Química en el ITSSAT. (Fuente Propia).

Se observó que durante la fundición el PET se reblandece a 190° C. Se requiere llegar a una temperatura de 260° C para alcanzar la fundición. Cambiando su estructura flexible y cristalina a una estructura rígida y opaca en tono blanco. Una vez fundido se debe de transportar el PET fundido en el recipiente a una superficie fría. La dureza del PET que se realiza por fundición aumenta cuando se enfría la masa fundida inmediatamente en una superficie fría. Por enfriamiento lento podemos observar que el PET reciclado presenta fragilidad y esto ocasiona que la placa se vaya bregando.

Una vez fría la superficie de la placa del PET se observaron burbujas de aire en la superficie superior. Por lo cual hace que la placa se valla bregando. Una vez fría la superficie de la placa del PET se observaron burbujas de aire en la superficie superior. Por lo cual se recomienda no agitar demasiado el PET cuando se va fundiendo. Es recomendable fundir pequeñas hojuelas de PET para que la fundición sea más exitosa.

#### APENDICE B: MAQUINADO DE BUJES DERIVADOS DEL PET QUE SE RECICLA EN EL TECNOLÓGICO DE SAN ANDRÉS TUXTLA.

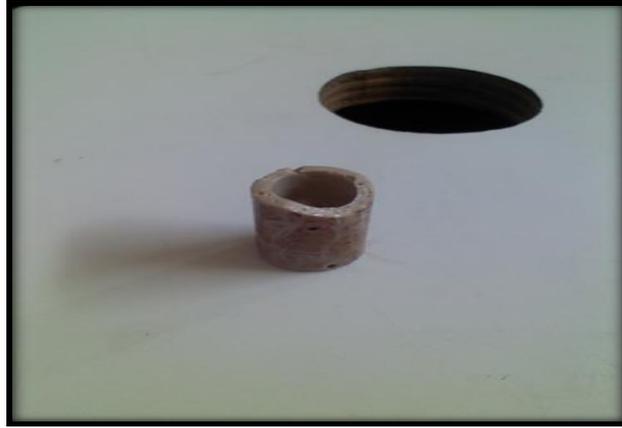
En el proceso experimental, El comportamiento del espécimen al ensayarse, presentó desprendimientos de fragmentos, el cual son característicos de un material frágil. Sin embargo al someterse el material en un proceso de manufactura por máquina CNC, el material no presentó ninguna propagación de falla al ser penetrada por la herramienta de corte de 5mm y de 12mm, el cual fue maquinado la muestra a una velocidad de 4000 rev/min. Ver **figura 12**. Como propuesta para la realización experimental de maquinado de este material, Sí es factible la utilización de material del RE-PET en el desarrollo de prácticas de laboratorio de manufactura avanzada y para la manufactura de bujes de 1”pulgada de diámetro para una empresa de la región tuxtleca.



Fig. 12. Maquinado de bujes de 1 Pulg. En PET reciclado.(Fuente: Lab. De Manufactura del ITSSAT).

#### APENDICE C: OBTENCIÓN DE BUJES DE 1 PULGADA DE DIÁMETRO PARA USO AUTOMOTRIZ.

Se recomienda que el material PET reciclado en muestras cilíndricas o placas para un proceso de manufactura, sean realizadas en la fase de fundición a temperaturas y presiones controladas, además de mezclar con un tipo de resina con determinadas características para cambiar las propiedades mecánicas del material con tendencias a la ductilidad y garantizar la manufactura para productos de piezas industriales.



**Fig. 13. Buj de 1 pulgada maquinado en equipo CNC del Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla.**

### REFERENCIAS

- [1] APREPET. Asociación para Promover el Reciclaje del PET. 2008.
- [2] Héctor, P. M. (2005). Física II. México: Mc Graw Hill.
- [3] Domínguez Gonzales, P. Et al. El PET y su Impacto Ambiental en el Medio Ambiente. IPN. 2011.
- [4] Cálculo de ballestas de suspensión para camión. En <http://es.scribd.com>. R.: Mayo-2012.
- [5] Matweb. AISI 5160 Steel, annealed, 25mm (1 in.) round. En <http://www.matweb.com>. R.: Mayo-2012.
- [6] Hernández Ayala B. (2014) “Determinación de propiedades mecánicas del PET reciclado para la aplicación en manufactura por CNC.” Licenciatura Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.
- [7] Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México Mc.Graw Hill

# Evaluación de metales pesados (Plomo, Cadmio y Zinc) en suelo y trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) en áreas aledañas a minas de Bermejillo Dgo.

E.F. Segovia-Ortega<sup>1</sup>, J.J. Sánchez-Olvera<sup>1</sup>, R.A. Alvarado-Arroyo<sup>1</sup>

Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Carr. El Vergel – La Torreña km 0.820 Loc. El Vergel, Gómez Palacio, Dgo.

**Resumen**— Las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Región Lagunera han contaminado el suelo, el aire y agua de las regiones cercanas. Una manera adecuada de remediar o minimizar los daños es con la aplicación de la fitorremediación alternativa que ayuda a extraer, contener, degradar o inmovilizar contaminantes del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de plomo, cadmio y zinc presentes en los diferentes órganos del trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) y suelo de manera *in situ* mediante un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Se determinó la concentración de plomo, cadmio y zinc en hoja, tallo, raíz y suelo mediante espectrofotometría atómica. En los diferentes órganos de la planta no se encontraron diferencias significativas de concentración de plomo, cadmio y zinc pero en suelo si hubo una diferencia significativa de concentración de plomo presente en suelo superficial.

**Temas claves** — fitorremediación, metales pesados, trompillo

**Abstract**— Mining and metallurgical activities practiced in the Región Lagunera have contaminated the soil, air and water from nearby regions. A suitable way to remedy or minimize damage is the application of alternative phytoremediation that helps extract, contain, degrade or immobilize soil contaminants. The aim of this study was to evaluate the concentration of plumb, cadmium and zinc present in the different organs of nightshade (*Solanum elaeagnifolium*) and *in situ* ground so through a randomized block experimental design with three replications. The concentration of plumb, cadmium and zinc was determined in leaf, stem, root and soil by atomic spectrophotometry. No significant differences of plumb, cadmium and zinc concentrations were found in different plant organs, but there was a significant difference of plumb concentration present in surface soil.

**Keywords**— Cadmium, phytoremediation, plant, plumb, soil, zinc.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad ha obligado al hombre a explotar los recursos naturales presentes en el planeta con el fin de optimizar la economía y mejorar su calidad de vida, muchas de las veces dejando a un lado el deterioro ambiental<sup>[1]</sup>. En la actualidad, la contaminación de los suelos por metales pesados es un problema ambiental de causas antropogénicas que provienen de desechos domésticos, agrícolas e industriales<sup>[2]</sup>.

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos cuyas principales características son su alta densidad y la alta toxicidad que representan para los seres vivos<sup>[3]</sup>. Metales pesados como el zinc pueden ser encontrados en el suelo en bajas concentraciones y son esenciales para los organismos, pero nocivos cuando se encuentran en concentraciones altas<sup>[4]</sup>. Otros metales pesados como el plomo y el cadmio no tienen ninguna función biológica y representan un riesgo altamente tóxico<sup>[5]</sup>causando efectos en la salud humana, en los animales y disturbios en los ecosistemas<sup>[6]</sup>.

Uno de los principales problemas de la contaminación del suelo por metales pesados es que estos pueden avanzar hasta el hombre mediante la cadena trófica<sup>[7]</sup>. Además, también tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles a la movilidad por arrastre del viento<sup>[8]</sup>.

La industria minera es uno de los sectores que más daños causan al ambiente, ya que los procesos de extracción y purificación de los minerales cuentan con varias facetas, de las cuales, todas ellas dejan residuos mineros llamados colas o jales que pueden contener una cantidad importante de metales pesados que si no se tratan adecuadamente representan un alto riesgo de contaminación<sup>[10]</sup>.

En la región lagunera se encuentran dos plantas fundidoras de metales, una de las ellas está situada en la localidad de Bermejillo, Dgo., la cual es la posible causa de contaminación por Plomo alrededor de esta planta, ya que un estudio realizado por Trejo *et al.*, (2007) determinó que en los suelos aledaños a la fundidora se encontraba la presencia de este metal pesado, encontrando concentraciones hasta de 1763 ppm.

Debido a la proximidad y el riesgo que esta fundidora tiene con la población de la localidad, es necesaria la implementación de técnicas que ayuden a la depuración del suelo de los metales pesados. Una de estas técnicas es la fitorremediación. Numerosos estudios se han realizado alrededor del mundo en busca de plantas que cuenten con la capacidad de absorber y almacenar este metal. Sin embargo, es casi nula la investigación en plantas que se han adaptado a zonas áridas.

Este estudio planteó como objetivo central determinar la concentración de metales pesados (plomo, cadmio y zinc) en suelo y en trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) en la localidad de Bermejillo, con el fin de establecer las bases a investigaciones futuras sobre la capacidad fitoextractora de esta planta.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Obtención de la muestra de suelo y planta:

Se determinó un área de 500 m de largo cerca de una planta fundidora de Bermejillo Dgo, en la cual se eligieron cuadrantes al azar de 10x10 m. donde se tomaron muestras de suelo vertical y horizontal según la norma NMX-AA-132-SCFI-2006 dentro de cada cuadrante. Para la muestra de la planta, se tomó una planta desde la raíz de cada uno de los cuadrantes seleccionados, se dejaron secar durante 48 horas, se separaron las raíces, los tallos y las hojas y se colocaron en bolsas de papel para eliminar toda la humedad exponiéndose en una estufa de aire circulante durante 48 horas. Posteriormente las muestras por separado fueron molidas.

Diseño experimental:

Se utilizó como método de muestreo, cuadrantes en zigzag de norte a sur, dentro de una longitud del área de estudio de aproximadamente de 500 metros, aledaña a la fundidora de Bermejillo Dgo.

Determinación de Cadmio, Zinc y Plomo en muestras vegetales:

Se tomaron 0.5 g de muestra de hoja, tallo y raíz, y se colocaron en matraces de 250 mL. Las muestras fueron digeridas tomando 10 mL de mezcla de HNO<sub>3</sub> Y HClO<sub>4</sub> en proporción 3:2 V/V y se colocó en una plancha a 100°C hasta clarificar. Se filtraron con papel Whatman N°41. El residuo se aforó a 100 mL con agua tridestilada. La determinación del Pb, Zn y Cd se llevaron a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica. Cada muestra se analizó por triplicado

Determinación de Cadmio, Zinc y Plomo en suelo:

Se tomaron 10 g de suelo y se colocaron en vasos de precipitado. Se agregaron 50 mL de ácido nítrico 4 M con solución extractora y se colocó en baño maría por cuatro horas a 70°C y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Después, se agitó por una hora, se filtró y se llevó a lectura diluyendo con agua tridestilada con 1 mL de muestra y 9 mL de agua. Se realizaron 3 repeticiones para cada metal y cada superficie del suelo.

El análisis estadístico se realizó utilizando el soporte informático STATGRAPHICSCENTURION XVI Versión 16.1.15

Los datos se procesaron con un análisis de varianza simple (ANOVA) y prueba Tukey con una confiabilidad de 95 por ciento que se utilizó en los metales pesados presentes los diferentes órganos de la planta y en suelo. La interpretación de los resultados se representó con  $P \leq 0.05$ .

### III. RESULTADOS

La ecuación (1) determina la frecuencia en que se presenta la planta en comparación con otras especies presentes en el área de estudio de 1000 m<sup>2</sup> teniendo como resultado un 73% de presencia de esta planta.

$$FE = (a / A) * 100 \tag{1}$$

En la tabla I, II Y III se muestran los resultados obtenidos en espectrofotometría en ppm

TABLA I  
DATOS DE CADMIO EN DIFERENTES ÓRGANOS DE LA PLANTA

Muestra	Zinc			Cadmio		
	aíz	allo	oja	aíz	allo	oja
1	148	283	318	007	015	013
2	433	281	418	018	015	012
3	265	231	32	009	009	007
4	99	62	444	023	019	012
5	175	327	611	007	017	011
6	17	186	475	007	011	01
7						
8	267	308	568	011	014	018
9	485	396	613	011	014	019
10	418	435	398	024	031	021

TABLA II  
DATOS DE PLOMO EN DIFERENTES ÓRGANOS DE LA PLANTA

Muestra	Plomo		
	aíz	allo	oja
1	101	103	135
2	093	107	117
3	112	075	11
4	17	133	12
5	087	143	146
6	095	146	143
7			
8	119	123	169
9	125	165	208
10	138	165	152

TABLA III  
DATOS DE PLOMO EN SUELO SUPERFICIAL Y HORIZONTAL

Muestra	°	Plomo
Superficial		2
		4.915
		2
		5.62
		3
		0.05
Horizontal		2.
		33
		3.
		094
		3.
		031

En el análisis presentado en la tabla IV, V y VI así como en las figura I, II y III no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de un nivel de muestra y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento, y además de presentan en prueba Tukey una homogeneidad entre grupos, lo cual indica que la concentración de zinc, cadmio y plomo presente en los diferentes órganos del trompillo no varía.

TABLA IV  
ANOVA PARA CADMIO POR MUESTRA

Fuente	F	Suma de Cuadrados	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	E	0.0000434667	.41	.6661
Intra grupos	I	14227		
Total (Corr.)	T	146617		

Medias y 95.0% de Tukey HSD

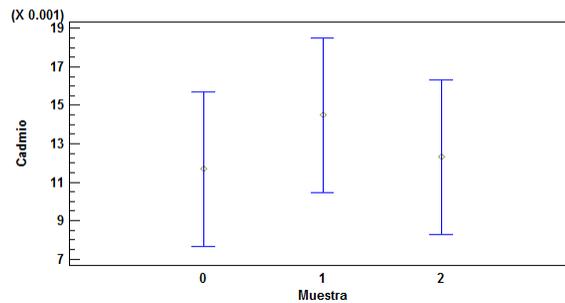


Figura 1. Grafica de Tukey, evaluación de cadmio en planta. Donde 0 es tallo, 1 raíz y 2 hojas.

TABLA V  
ANOVA PARA ZINC POR MUESTRA

Fuente	F	Suma de Cuadrados	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	E	0.0649619	.72	.4943
Intra grupos	I	1.21256		
Total (Corr.)	T	1.27752		

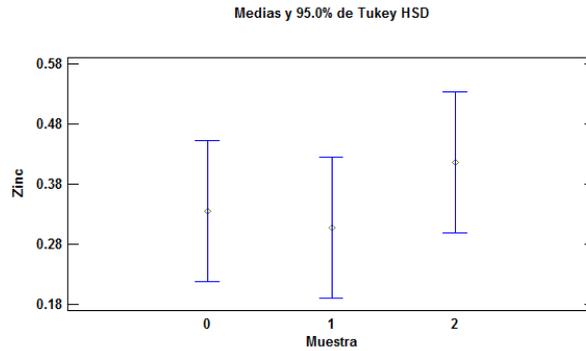


Figura 2. Grafica de Tukey, evaluación de zinc en planta. Donde 0 es tallo, 1 raíz y 2 hojas.

TABLA VI  
ANOVA PARA PLOMO POR MUESTRA

fuente	a	Sum de Cuadrados	razón-F	R	valor-P	V
entre grupos	338667	0.00	.69	0	.5080	0
dentro grupos	5822	0.06				
total (Corr.)	92087	0.06				

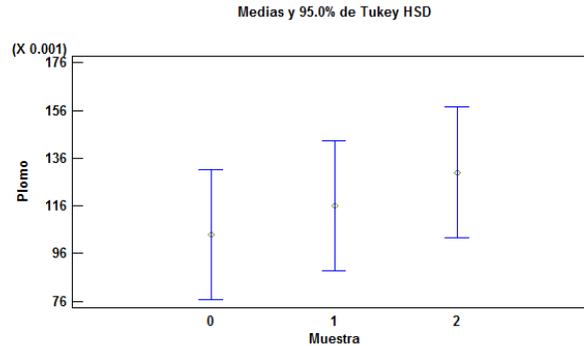


Figura 3. Grafica de Tukey, evaluación de plomo en planta. Donde 0 es tallo, 1 raíz y 2 hojas.

Los datos presentes indican que existe una diferencia significativa entre la media de plomo entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95 por ciento de confianza. El método empleado para discriminar las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa de Tukey. Las tres repeticiones de suelo superficial y vertical presentan una diferencia puesto que no son homogéneos los resultados.

El plomo *in situ* se encuentra poco soluble y con escasa movilidad por lo que su presencia en la superficie es mayor<sup>[11]</sup>.

TABLA VII  
ANOVA PLOMO EN SUELO

Fue	Su	R	V
-----	----	---	---

nte	ma de Cuadrados	azón-F	alor-P
Entr e grupos	8.085	86	20.91 2 .0001
Intra grupos	7183	15.	
Tota l (Corr.)	3.803	88	

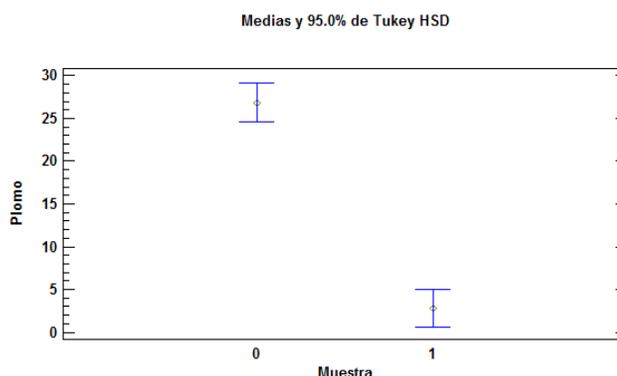


Figura 4. Grafica de Tukey, evaluación de cadmio en planta. Donde 0 es tallo, 1 raíz y 2 hojas.

#### IV. CONCLUSIONES

No hubo diferencia significativa de zinc, cadmio y plomo en los diferentes órganos de la planta de manera *in situ*; sin embargo en el suelo si se encontraron variaciones puesto que el plomo es poco soluble se concentra la mayor parte en la superficie a diferencia de las muestras tomadas de suelo vertical.

#### V. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chapingo URUZA por brindar su apoyo a lo largo del desarrollo de esta investigación y a la Universidad Politécnica de Gómez Palacio que con ayuda de asesoría del personal docente se culminó la investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] García, I. F. y Dorronsoro, C. (2005) "Contaminación por metals pesados" Tecnología de suelos. Granada, España.
- [2] Castro, G., y Valdés, J. (2012). "Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile". *Latin American Journal of Acuatric Research*. vol. 40, pp. 267-281.
- [3] Fergusson, J. (1990). *The heavy element. Chemistry, environmental impact and health effects*, vol. I. New York: Pergamon Press p. 176.
- [4] Alcalá, J., Ávila, C., Rodríguez, J. y Hernández, A. (2012). "Metales pesados como indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos de suelo, San Luis Potosí, México" *Revista de ciencias Agrarias*. vol. 44, pp. 15-29.
- [5] Ortiz, B. (2007). "Técnicas de recuperación de suelos contaminados". Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcalá.
- [6] Valdez-Cepeda, R. (2009). "Fitextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite y micorrizas" *Revista Chapingo Serie Horticultura*. vol. 2, pp. 161-168.

- 
- [7] Sauerbeck, D. (1982). "Welcheschwermetallgehalte in Pflanzendurfennichtubeschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigung zu vermeiden" *LandwirtschaftsForschSonderheft*. vol. 39, pp. 105-129.
- [8] Puga, S. y Sosa, M. (2006). "Contaminación por metales pesados en el suelo provocado por la industria minera" *Ecología Aplicada*. vol. 5, pp. 149-155.
- [9] Sánchez, L. (1995). "Manejo de residuos sólidos en minería. Aspectos geológicos de protección ambiental" unesco, vol. 1, pp. 235-250.
- [10] Trejo, R., García, N., Flores, A. y Arreola, A. (2007) "Evaluación de niveles de contaminación con Plomo en suelos de Bermejillo, Dgo." *Revista Chapingo serie Zonas Áridas*. vol. 5, pp. 225-229.
- [11] Sias, S.; Gardea-Torresdey, J.; James, S.; Webb, R. (1998) "Survey of northern Chihuahua desert plants for phytoremediation potential". Thesis M.Sc. The University of Texas At El Paso. USA.

# Protección de Sobre Corriente en Línea de Transmisión con Generación Eólica

J. J. Muñoz-Avalos<sup>1</sup>, M. A. Arjona-López<sup>1</sup>, C. A. Morales-Bazán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Calz. Cuauhtémoc s/n Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Calz. Cuauhtémoc s/n Torreón, Coahuila, México.

**Resumen**— Este artículo presenta un esquema de protección por sobre corriente para una granja eólica en un sistema de transmisión. La energía eólica es una fuente de energía renovable alternativa, ya que puede ayudar a complementar a las fuentes actuales. Este artículo presenta una simulación del impacto de la generación distribuida sobre la sensibilidad del relevador de sobre corriente en sistemas de distribución. Su principal característica es que se encuentra instalada cerca del centro de consumo. Se asigna el relevador de sobre corriente para proteger las líneas de distribución. Los análisis de falla y el ajuste del relé se realizaron utilizando el software NEPLAN®.

**Temas claves**—Energías renovables, aerogeneradores, relevador de sobre corriente, generador de inducción doblemente alimentado, parque eólico.

**Abstract**— this paper presents a scheme of over-current protection for a wind farm in a transmission system. Wind energy is a renewable energy alternative source, because it can help to complement the current energy sources. This paper presents a simulation of distributed generation impact on overcurrent relay sensitivity in the wind energy plant within a power system. Its main feature is that generation is installed near of consumption point. Where overcurrent relays are used to protect distribution lines. The failure analysis and relay setting are performed using NEPLAN®.

**Keywords**— Renewable energy, wind turbine, protections overcurrent relay, doubly fed induction generator, farm energy.

## I. INTRODUCCIÓN

Como sabemos la población humana está en aumento y por consiguiente tenemos un aumento en la producción de energía eléctrica, esto hace que cada vez sea más cara y nos lleve a nuevas ideas de producción más baratas. A lo largo de la historia se ha utilizado la energía del viento para la navegación de barcos, molinos de viento, bombas accionadas por el viento, entre otros usos, sin embargo, se ha visto un cambio muy grande en los últimos años, ya que la energía del viento se convierte en energía eléctrica a través de un generador.

El uso de fuentes de energía renovable se ha incrementado bastante en los últimos años, ya que la población, las empresas y los gases de efecto invernadero en el calentamiento global van en aumento. Debido a esto, las empresas de energía eléctrica han tenido que voltear hacia las energías verdes. En este artículo se toma en cuenta las máquinas de inducción doblemente alimentadas para la generación de energía eléctrica mediante la energía del viento.

Con sus limitantes, las plantas de potencia de energía renovable se instalan localmente, y equipadas con un pequeño generador por arriba de unos cuantos MW. Por lo tanto, se pueden localizar cercanos a centros de consumo. Los grandes flujos de una subestación de potencia a través de los alimentadores de distribución se reducen. Este concepto es llamado generación distribuida. Esto permite a los consumidores locales generar su propia electricidad. Una planta de generación distribuida normalmente utiliza generadores síncronos. Sin embargo, hay plantas de generación distribuida que utilizan generadores de inducción

equipados con controles de electrónica de potencia.

Las plantas de energía eólica están localizadas en áreas rurales, y para estar conectadas a la red de potencia pueden estar conectados a una línea de distribución.

## II. PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

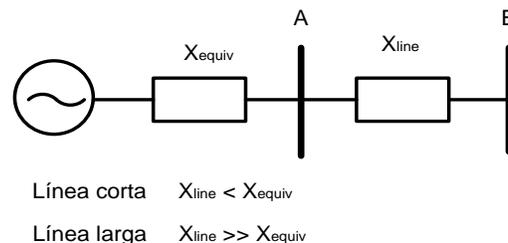
El estudio de la protección de las líneas de transmisión ofrece una oportunidad para examinar muchas consideraciones fundamentales de los relevadores que se aplican, en un grado u otro, a la protección de todos los otros tipos de equipo del sistema de potencia [9].

Las líneas de transmisión son principalmente expuestas a cortos circuitos entre fases o de fase a tierra. Esto es también la principal fuente de daño a todos los demás equipos eléctricos. El rango de la corriente de falla posible, el efecto de la carga, la cuestión de la direccionalidad y el impacto de la configuración del sistema, son parte del problema de la línea de transmisión.

Ya que las líneas de transmisión son también los enlaces a las líneas adyacentes o equipo conectado, la protección proporcionada por la línea de transmisión debe ser compatible con la protección de todos estos elementos. Esto requiere coordinación de configuración, características y tiempos de operación. Las técnicas analíticas asociadas con el cálculo de corto circuito, principalmente el método de componentes simétricas, son igualmente aplicables a todos los equipos eléctricos, pero la variedad de configuraciones de la línea de transmisión introduce complejidad y sofisticación adicional [9,10].

La cuestión de direccionalidad está íntimamente asociada con el diseño del sistema de potencia. Un sistema radial, esto es uno con una fuente de generación, puede tener corriente de falla que solo fluye en una sola dirección: desde la fuente hasta la falla. En un lazo o una red, la corriente de falla puede fluir en cualquier dirección, y el sistema de relés puede ser capaz de distinguir entre las dos direcciones. La longitud de la línea, como era de esperar, tiene un efecto directo sobre la configuración de un relé. Los relés se aplican principalmente, para proteger un segmento de línea dada y, además si es posible, para respaldar los relés de protección de segmentos de línea adyacentes. Un interruptor por lo general define los límites de un área protegida y, con los contactos del interruptor cerrados, no hay impedancia apreciable entre él y un segmento de la línea y el comienzo de la siguiente. Un relé, por lo tanto, no se puede ajustar sobre la magnitud de la corriente de falla solo con el fin de diferenciar entre una falla en el extremo de una zona o el comienzo de la siguiente.

El problema es aún más complicado si la línea es corta, esto es, como se muestra en la figura 1, su impedancia es mucho menor que la impedancia de la fuente. En tal caso, hay muy poca diferencia en la magnitud de la corriente para una falla en una de la línea en comparación con una falla en el otro. Es entonces difícil de configurar un relé de modo que solo proteja su propia línea y vaya demasiado lejos en la siguiente. También, como se muestra en la figura 1, una línea grande, es decir, una con una mayor impedancia que la impedancia de la fuente, tiene otro problema [9,10].



**Figura 1. Línea corta en comparación de línea larga**

### III. RELEVADOR DE SOBRE CORRIENTE DE TIEMPO DE RETARDO

La aplicación principal de los relevadores de sobre corriente es en un sistema radial donde se proporcionan ambas protecciones de fase y tierra.

Los relés de sobre corriente también son usados en sistemas industriales y en líneas de sub-transmisión que no se puede justificar la protección más cara tal como el relé de distancia.

Hay dos tipos de ajustes que deben ser aplicados a todos los relés de sobre corriente de tiempo de retardo:

1. **Configuración de arranque.**- el primer paso es elegir la configuración de arranque del relé de modo que opere para todos los cortos circuitos en la sección de la línea para la cual proporcionará protección [9,10]. Esta opción también debe proporcionar respaldo para una sección de la línea adyacente.
2. **Configuración del tiempo de retardo.**- la característica del tiempo de retraso del relé es un parámetro independiente que es obtenido en una variedad de formas, dependiendo del diseño del relé. El dial será marcado en un entorno de 0.5 a 10. Entre mayor sea la corriente de funcionamiento, menor el tiempo que tarda el disco en viajar desde la posición de reiniciar a la posición de funcionamiento [9,10]. Esto en los relés de disco de inducción.

### IV. RELEVADORES DE SOBRE CORRIENTE INSTANTÁNEOS

La figura 2 muestra porque un relé de sobre corriente simple de tiempo inverso no puede ser utilizado sin ayuda adicional. Cuando más cerca se localiza la falla a la fuente, más grande es la magnitud de la corriente, sin embargo es más largo el tiempo de disparo [9,10].

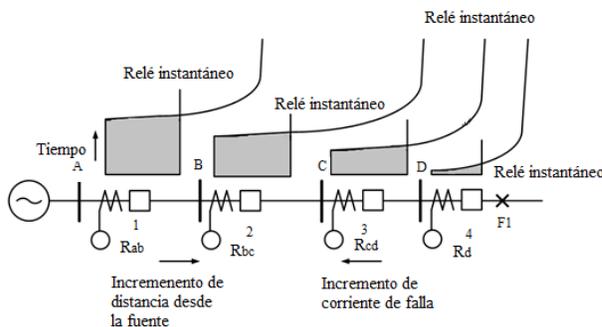


Figura 2. Aplicación de relés de sobre corriente instantáneos

### V. SIMULACIÓN, RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este artículo, se analiza un sistema de potencia de 5 buses como se muestra en la figura 3 como un sistema de prueba. Este sistema contempla cuatro aerogeneradores de 1.3 MW conectados en el nodo A. La información de este sistema de prueba se presenta en la tabla I. Los relevadores de sobre corriente se encuentran instalados en los nodos C, D y E. El relevador CO-8 es utilizado en cada nodo. Las fallas en los buses C, D y E fueron simuladas en el software Neplan. El tipo de falla que se simuló fue la más severa, en este caso, una falla trifásica.

Tabla I. Información del sistema de prueba

Red eléctrica:	230 KV
DFIG 1:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 2:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 3:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 4:	1.3 MW, 0.69 KV
TRAFO	5 MVA, 0.69 KV/34.5 KV, 60
A-B:	HZ
TRAFO	10 MVA, 34.5 KV/230 KV, 60
B-C:	HZ
LÍNEA C-	0.1 + j0.3 Ω/km, longitud 10
D:	km
LÍNEA D-	0.1 + j0.3 Ω/km, longitud 30
E:	km
CARGA	
1:	2.5 MVA

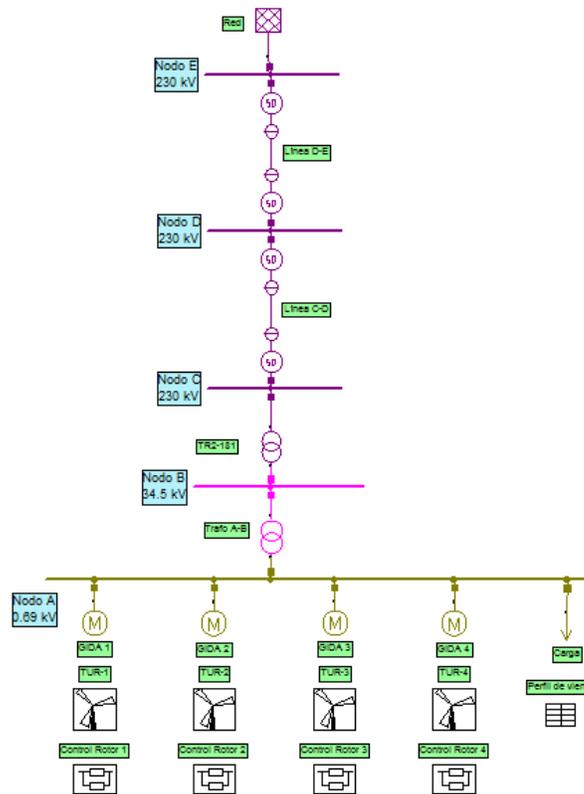
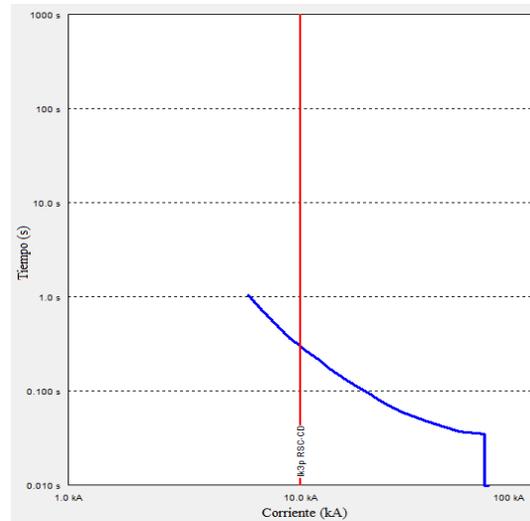
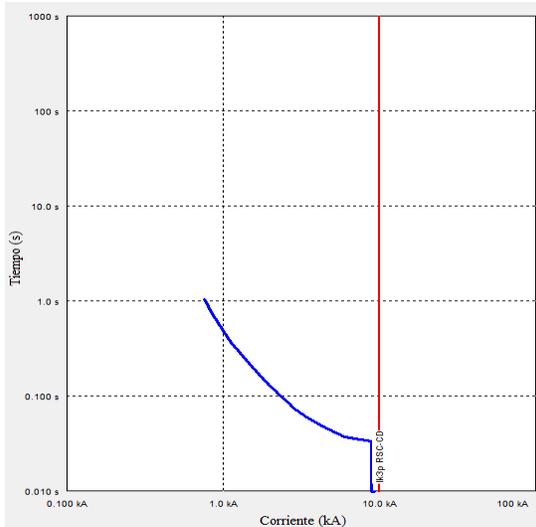


Figura 3. Sistema de prueba de 5 buses dibujado en software Neplan.

A. Caso de prueba1: Falla en el nodo C.

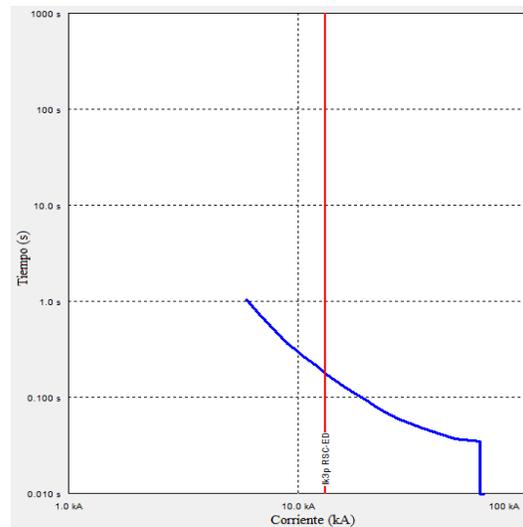
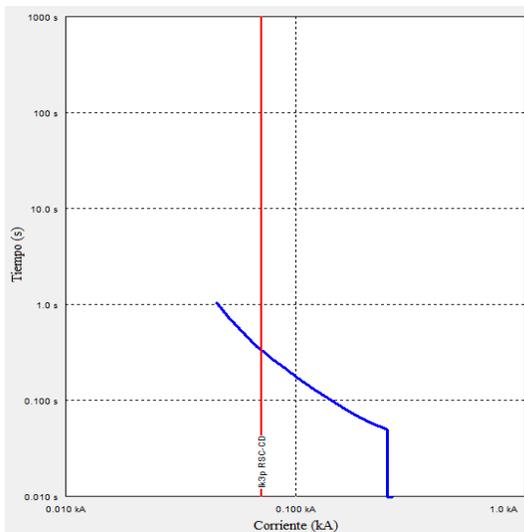
En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-DC y RSC-ED, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que uno funciona como respaldo a pesar de que la corriente de corto circuito que pasa por las líneas es la misma (10.058 kA), en este caso, el relevador de respaldo es el situado en el nodo E. La figura 4 y 5 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo C.



**Figura 4. Gráfica RSC-DC con falla en el nodo C.    Figura 5. Gráfica RSC-ED con falla en el nodo C.**

*B. Caso de prueba II: Falla en el nodo D.*

En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-CD y RSC-ED, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que la configuración de cada uno es diferente debido a los niveles de corriente que pasan por las líneas en donde se encuentran situados cada relevador. La figura 7 y 8 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo D.



**Figura 6. Gráfica RSC-CD con falla en el nodo D.    Figura 7. Gráfica RSC-ED con falla en el nodo D.**

*C. Caso de prueba III: Falla en el nodo E.*

En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-DE y RSC-CD, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que uno funciona como respaldo a pesar de que la corriente de corto circuito que pasa por las líneas es la misma (0.070 kA), en este caso, el de respaldo el relevador situado en el nodo C. La figura 8 y 9 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo E.

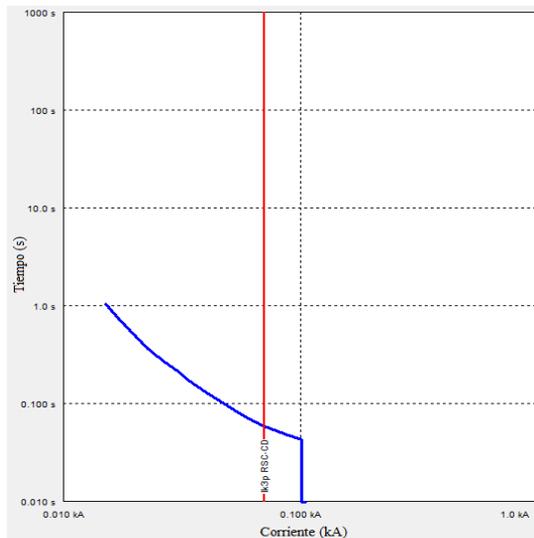


Figura 8. Gráfica RSC-DE con falla en el nodo E.

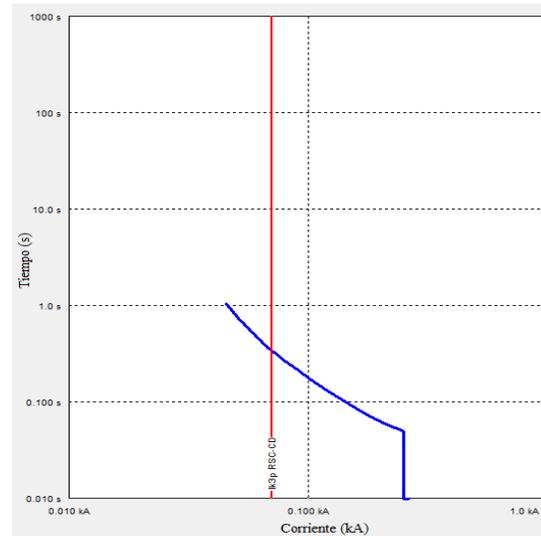


Figura 9. Gráfica RSC-CD con falla en el nodo E.

## VI. CONCLUSIONES

Las configuraciones de todos los relés son diferentes debido a los diferentes niveles de corrientes que pasan por las líneas cuando ocurre alguna falla. No se toman en cuenta las fallas en los nodos A y B debido a que tendríamos problemas con la configuración de los relés. Entre más cerca sea la falla a la fuentes mayor será la corriente. Para los tres casos de prueba existe una carga en el Nodo A, aunque la simulación se pudo haber hecho sin ella y la configuración de los relés hubiera quedado igual.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a CONACYT, DGEST y al Instituto Tecnológico de la Laguna por las facilidades otorgadas y por el apoyo económico para realizar este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk y Scott D. Sudhoff (2002). "Analysis of Electrica Machinery and Drive Systems," 2nd ed. Mohamed E. El-Hawary, Series Editor.
- [2] O. Anaya-Lara, Nick Jenkins, Janaka Ekanayake, Phill Cartwright y Mike Hughes (2009). "Wind Energy Generation: Modelling and Control" 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] F. Manwell and J. G. McGowan, A. L. Rogers (2009). "Wind Energy Explained Theory, Desing and Application" 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Paul Gipe (2004). "Wind Power Renewable: Energy for Home, Farm and Business" White River Junction, Vt: Chlsea Green Pub.
- [5] Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe y Ervin Bossanyi (2011) "Wind Energy: Handbook" 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [6] Thomas Ackermann (2012). "Wind Power in Power Systems" 1st ed. John Wiley & Sons Ltd.
- [7] Siegfried Heier (2003). "Wind Energy Conversion Systems". John Wiley & Sons Ltd.
- [8] Russell Mason, (2007). "The art and science of protective relaying" 1st ed. Wiley, 1956.

- 
- a. Lewis Blackburn (1998). "Protective relaying: principles and applications" 2nd ed. Marcel Dekker.
- [9] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke (2008). "Power System Relaying" 3rd ed. Jhon Wiley & Sons Ltd.
- [10] M. Saha, J. Izykowski, E. Rosolowski (2010). "Fault Location on Power Networks". Springer-Verlag London Limited.
- [11] Arun G. Phadke, James S. Thorp (2009). "Computer Relaying for Power System" 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd.
- [12] Christophe Prévé (2006). "Protection of Electrical Networks" 1st ed. ISTE Ltd.
- [13] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 242-1986.
- [14] P. M. Anderson (1999). "Power System Protection". IEEE Press., McGraw-Hill.
- [15] Boyle (2000). "Renewable Energy: Power for Sustainable Future". Oxford University Press.
- [16] Uthitsunthorn, T. Kulworawanichpong (2010). "Distance Protection of a Renewable Energy Plant in Electric Power Distribution Systems" presented at 2010 International Conference on Power System Technology.

# Comportamiento del diseño de una Celda de Combustible de intercambio protónico

L. Loa-Pelcastre<sup>1</sup>, G. Mendoza-Figueroa<sup>1</sup>, J. Padilla-Ochoa<sup>1</sup>

TESCo, Av. 16 de septiembre # 54, C.P. 55700, Col. Cabecera municipal, Coacalco de Berriozábal, Estado de México.

**Resumen—** Debido a la situación actual del deterioro del medio ambiente ocasionado en gran medida por la forma tradicional de transformar energía y a la escasez futura de recursos naturales no renovables las celdas de combustibles es una alternativa.

La celda de combustible, es un dispositivo electroquímico; que convierte la energía química de un combustible directamente a energía eléctrica, calor y agua 100% pura, sin generar agentes contaminantes.

Este tipo de dispositivo electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno.

En este trabajo se ha diseñado y construido una Celda de Combustible de Intercambio Protónico (FC PEM), con un área activa de 13 cm<sup>2</sup>, catalizándola con platino negro grado fuel cell, generando electricidad a partir de hidrogeno y oxígeno.

Las partes de la celda fueron diseñadas usando software AutoCad, y ensambló en Inventor, mientras que la manufactura asistida por computadora con MasterCam y la fabricación de sus componentes en un centro de maquinada marca Hass.

*Temas claves—* Celdas de combustible, energía eléctrica, energía renovable, PEM, manufactura, volts.

*Abstract—* Due to the current situation of environmental degradation caused by the traditional way of transforming energy and future shortages of nonrenewable natural resources fuel cells are an alternative.

The fuel cell is an electrochemical device that converts the chemical energy from a fuel directly into electricity heat and water 100% pure not generating any kind of contamination.

This type of device generates electricity from hydrogen and oxygen.

In this activity was designed and built a Fuel Cell Proton Exchange (PEM FC) with an active area of 13 cm<sup>2</sup>, using black platinum as a catalyst generating electricity from hydrogen and oxygen

The parts of the cell were designed using AutoCAD software the simulation of all assembly was made with Inventor software, while computer-aided manufacturing MasterCam and manufacturing components were machined in a center mark Hass.

*Keywords—* Fuel Cell, Solid oxides, electric power, renewable energy, PEM, manufacturing and volts.

## I. INTRODUCCIÓN

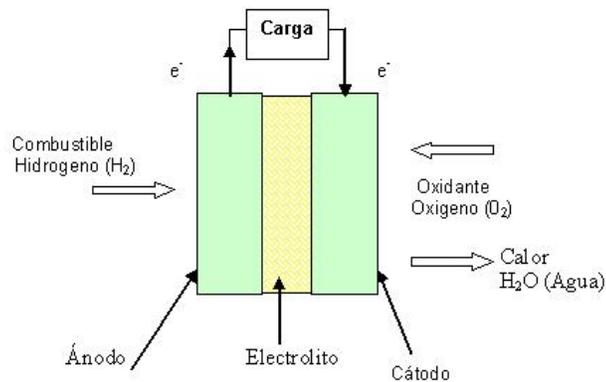
Debido a la situación actual del deterioro del medio ambiente ocasionado en un gran medida por la forma tradicional de transformar energía y a la escasez futura de recursos naturales no renovables (petróleo), el hombre tiene la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía que utilicen combustibles que no contaminen como los utilizados hasta ahora, que sean de bajo costo y fácil de obtener (renovables).

Las celdas de combustible; se inventaron en el del siglo XIX, e iniciaron su desarrollo tecnológico en el siglo XX y promete ser, el nuevo recurso energético del tercer milenio. De esta manera, tendremos una nueva forma de generar energía para ser utilizada paralelamente con las existentes.

¿Qué es una celda de combustible?

Una celda de combustible, es un dispositivo electroquímico; que convierte la energía química de un combustible directamente a energía eléctrica y calor, obteniéndose un subproducto, el cual es agua 100% pura, sin producir agentes contaminantes.[1]

La celda de combustible es un dispositivo muy sencillo, el cual consiste en dos electrodos (ánodo y cátodo) separados por un electrolito. [2] Como se observa en la Figura 1.

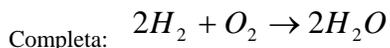
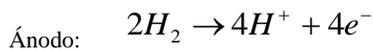


**Figura 1. Esquema de una celda de combustible.**

Funcionamiento:

En el ánodo las moléculas de hidrógeno pierden sus electrones y forman iones de hidrógeno, este proceso se hace posible por medio de un catalizador. Los electrones pasan al cátodo a través de un circuito externo [3].

Los iones de hidrógeno pasan al cátodo a través del electrolito, donde se unen con las moléculas de oxígeno.



Existen varios tipos de celdas de combustible, pero todas emplean del hidrógeno como combustible.

Celdas de combustible de intercambio protónico (**PEMFC**)

Celdas de combustible alcalinas (**AFC**)

Celdas de combustible de ácido fosfórico (**PAFC**)

Celdas de combustible de carbón fundido (**MCFC**)

Celdas de combustible de metanol directo (**DMFC**)

Celdas de combustible de óxido sólido (**SOFC**)

Las celdas de combustible se clasifican por el electrolito que emplean, así como por su temperatura de operación

**TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE.**

Celda	C	Electrolito	Temperatura	Eficiencia
EM	P	Polímero Sólido	20-120°C	50%
MFC	D	$H_2SO_4$	70°C	40%
FC	A	$NaOH$	60-120°C	50%
AFC	P	$H_3PO_4$	160-200°C	40%
CFC	M	$KLiC$	650-800°C	55%
OFC	S	Óxidos Sólidos	800-1000°C	55%

**Eficiencia**

La eficiencia en las celdas de combustible es bastante aceptable, obteniéndose eficiencias prácticas de 40 a 60% lo cual mejora a lo ya conocido ver figura 2.

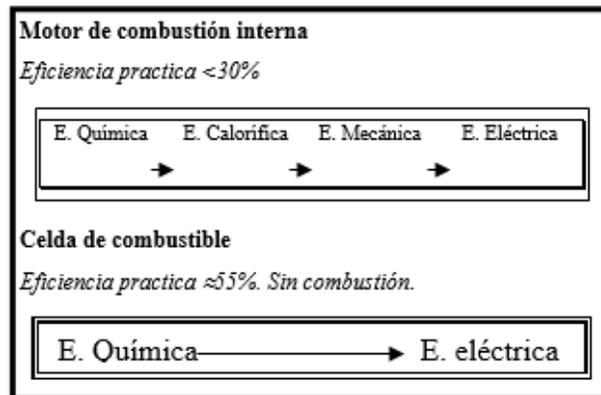


Figura 2. Comparación de celdas con el motor de Combustión interna.

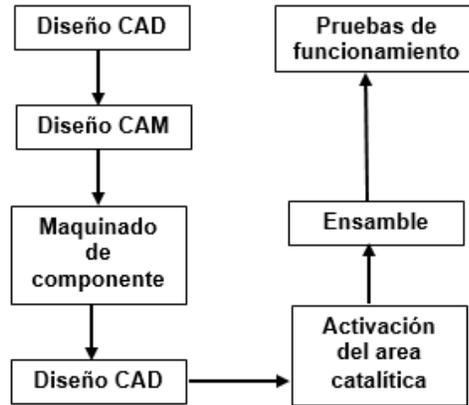
**Aplicación:**

Desde la primera aplicación conocida de las celdas de combustible en el programa Géminis de la NASA en 1968, al obtenerse buenos resultados y sobre todo la confiabilidad. [4]

Las aplicaciones de las celdas de combustible en nuestra vida diaria serán enormes, permitirá electrificar casas, comunidades, fábricas y ciudades enteras. También se usarán como fuentes de energía para los diferentes medios de transporte, tanto terrestres como aéreas, así como fuente de energía portátil para teléfonos celulares, videocámaras, etc.

**II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO**

En el siguiente diagrama se muestra la metodología para la fabricación de la celda de combustible.

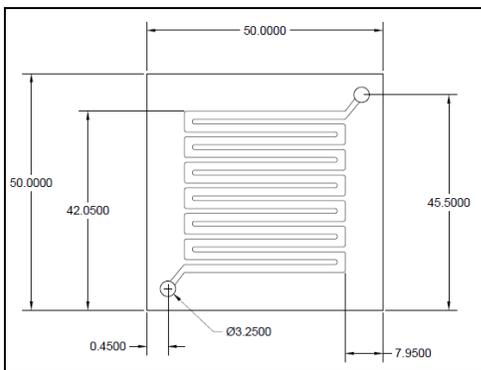


**Figura 3. Manufactura de celda de combustible.**

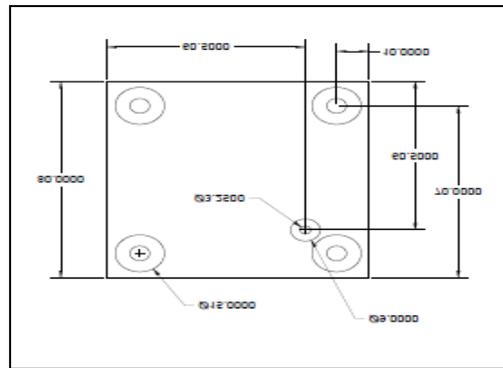
La Metodología empleada para el diseño de celda de combustible con un área activa de 13 cm<sup>2</sup>. Para el maquinado se utilizarán placas de gráfico, se elaboró el maquinado CNC para ensamble de membrana con los electrodos,

Los electrodos se catalizaran con platino negro con difusores de gases de tela de carbón. Como colectores de corriente se utilizarán placas de aluminio y como soporte de la celda placas de acrílico.

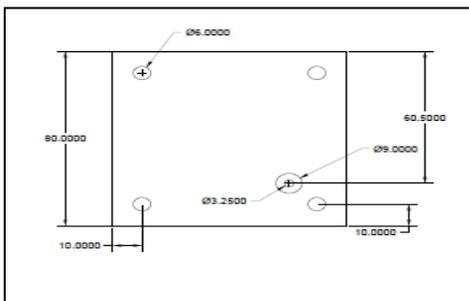
En AutoCad se diseñaron los planos de los componentes de la celda de combustible: placa bipolar, tapas delantera y trasera, electrodos y sellos se realizaron utilizando software AutoCad, como se muestra en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8.



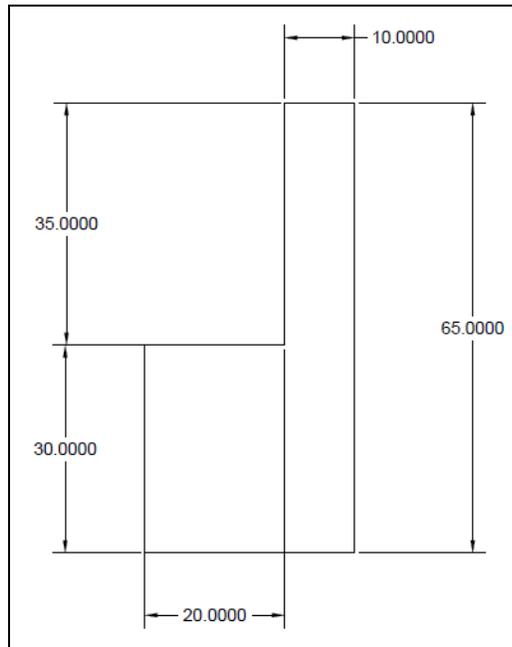
**Figura 4. Placa bipolar.**



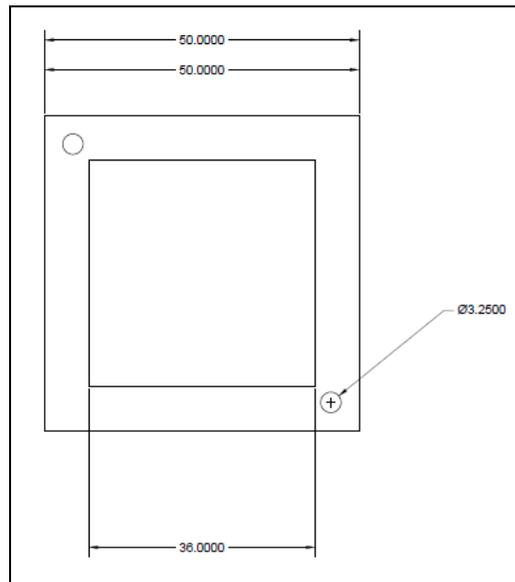
**Figura 5. Tapa delantera.**



**Figura 6. Tapa trasera.**

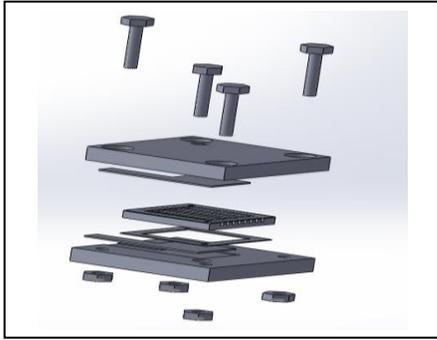


**Figura 7. Electrodo.**

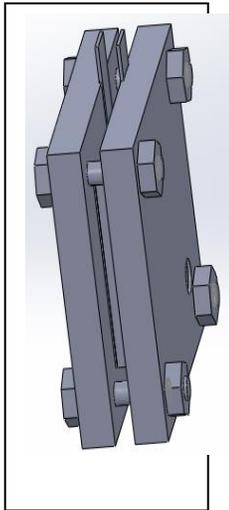


**Figura 8. Sellos.**

Simulación del ensamble se realizó con el software inventor. Como se muestra en la figura 9 y 10.



**Figura 9. Componentes de la celda de combustible.**



**Figura 10. Ensamble de la celda de combustible.**

### **Manufactura Asistida por Computadora (CAM)**

#### **Programación código G y M**

La programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado, se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G y M.

Se trata de un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencia) junto con sus parámetros de maquinado (velocidades de husillo y de avance de herramienta).

El nombre G y M viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneos.

El código G y M se obtuvo con la simulación del software MasterCam, como se muestra a continuación.

```
%  
O0000  
(PROGRAM NAME - PIEZA LOA )  
(DATE=DD-MM-YY - 06-06-14 TIME=HH:MM - 09:42 )  
N100 G21  
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
( 1. BULL ENDMILL 0.4 RAD TOOL - 112 DIA. OFF. - 112 LEN. - 112 DIA. - 1.5 )
```

N104 T112 M6  
N106 G0 G90 G54 X16.09 Y18.594 S1200 M5  
N108 G43 H112 Z50.  
N110 Z10.  
N112 G1 Z-1.5 F11.9  
N114 G3 X15.399 Y17.708 R1.5  
N116 G1 X15.128 Y16.761  
N118 G2 X14.406 Y16.218 R.75  
N120 G1 X-16.18 Y16.25  
N122 G3 X-16.43 Y16. R.25  
N124 G1 Y13.  
N126 G3 X-16.18 Y12.75 R.25  
N128 G1 X14.82  
N130 G2 X15.57 Y12. R.75  
N132 G1 Y11.  
N134 G2 X14.82 Y10.25 R.75  
N136 G1 X-16.18  
N138 G3 X-16.43 Y10. R.25  
N140 G1 Y7.  
N142 G3 X-16.18 Y6.75 R.25  
N144 G1 X14.82  
N146 G2 X15.57 Y6. R.75  
N148 G1 Y5.  
N150 G2 X14.82 Y4.25 R.75  
N152 G1 X-16.18  
N154 G3 X-16.43 Y4. R.25  
N156 G1 Y1.  
N158 G3 X-16.18 Y.75 R.25  
N160 G1 X14.82  
N162 G2 X15.57 Y0. R.75  
N164 G1 Y-1.  
N166 G2 X14.82 Y-1.75 R.75  
N168 G1 X-16.18  
N170 G3 X-16.43 Y-2. R.25  
N172 G1 Y-5.  
N174 G3 X-16.18 Y-5.25 R.25  
N176 G1 X14.82  
N178 G2 X15.57 Y-6. R.75  
N180 G1 Y-7.  
N182 G2 X14.82 Y-7.75 R.75  
N184 G1 X-16.18  
N186 G3 X-16.43 Y-8. R.25  
N188 G1 Y-11.  
N190 G3 X-16.18 Y-11.25 R.25  
N192 G1 X14.82  
N194 G2 X15.57 Y-12. R.75  
N196 G1 Y-13.387  
N198 G2 X14.82 Y-14.137 R.75  
N200 G1 X-16.838  
N202 X-18.599 Y-16.161  
N204 G3 X-18.219 Y-16.487 R.25  
N206 X-18.205 Y-16.468 R.25  
N208 G1 X-15.856 Y-14.25  
N210 X15.442  
N212 G3 X15.692 Y-14. R.25  
N214 G1 Y-11.  
N216 G3 X15.442 Y-10.75 R.25  
N218 G1 X-15.558  
N220 G2 X-16.308 Y-10. R.75  
N222 G1 Y-9.  
N224 G2 X-15.558 Y-8.25 R.75  
N226 G1 X15.442  
N228 G3 X15.692 Y-8. R.25  
N230 G1 Y-5.  
N232 G3 X15.442 Y-4.75 R.25  
N234 G1 X-15.558  
N236 G2 X-16.308 Y-4. R.75  
N238 G1 Y-3.  
N240 G2 X-15.558 Y-2.25 R.75  
N242 G1 X15.442  
N244 G3 X15.692 Y-2. R.25

N246 G1 Y1.  
N248 G3 X15.442 Y1.25 R.25  
N250 G1 X-15.558  
N252 G2 X-16.308 Y2. R.75  
N254 G1 Y3.  
N256 G2 X-15.558 Y3.75 R.75  
N258 G1 X15.442  
N260 G3 X15.692 Y4. R.25  
N262 G1 Y7.  
N264 G3 X15.442 Y7.25 R.25  
N266 G1 X-15.558  
N268 G2 X-16.308 Y8. R.75  
N270 G1 Y9.  
N272 G2 X-15.558 Y9.75 R.75  
N274 G1 X15.424  
N276 G3 X15.657 Y10. R.25  
N278 G1 Y13.  
N280 G3 X15.424 Y13.25 R.25  
N282 G1 X-15.558  
N284 G2 X-16.308 Y14. R.75  
N286 G1 Y15.  
N288 G2 X-15.558 Y15.75 R.75  
N290 G1 X15.623  
N292 Y17.085  
N294 X16.195 Y18.872  
N296 G3 X15.7 Y18.831 R.25  
N298 G1 X15.696 Y18.741  
N300 X15.399 Y17.708  
N302 G3 X15.608 Y16.438 R1.499  
N304 G1 Z8.5  
N306 G0 Z50.  
N308 M5  
N310 G91 G28 Z0.  
N312 G28 X0. Y0.  
N314 M30

### III. PUESTA EN MARCHA

Una vez que se ensambló la celda de combustible, se humedeció por 10 minutos la parte catalítica inyectándole agua destilada. Posterior a esto se alimentó de hidrogeno y oxígeno a la celda de combustible, se midió con un Voltmetro el diferencial de potencial que entregó la celda, el cual fue de 1.3 Volts. Como se muestra en la figura 11.

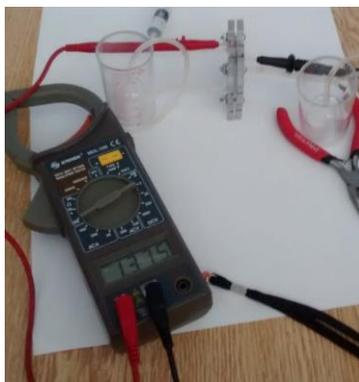


Figura 11. Prueba de funcionamiento de tensión eléctrica.

### Conclusiones

Este trabajo se centró fundamentalmente en el diseño, construcción, ensamble y puesta en marcha de la celda de combustible con la cual se cumplieron nuestras expectativas de generar energía eléctrica, la cual fue de 1.3 Volts de Corriente directa.

Podemos decir que las celdas de combustible serán (o son) una interesante y muy viable fuente de energía, renovable, no contaminante y sustentable. Sus ventajas hacen que esta nueva tecnología este creciendo a pasos, lo cual bajara sus costos de fabricación que actualmente son muy elevados.

En nuestro caso se tiene contemplado trabajar en obtener la eficiencia teórica y analizar el funcionamiento de la celda de combustible modificando sus parámetros de funcionamiento y condiciones de funcionamiento.

#### **IV. AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), por el apoyo económico para poder realizar este proyecto.

#### **REFERENCIAS**

- [1] K. V. Kordesch, J. C. T. Oliveira, "Fuel cells", Ullmann's Enciclopedia of Industrial Chemistry, Fifth Edition, VCH, Weinheim, Germany, Vol. A 12, pp 55-83.
- [2] Karl Kordesch, Günter Simader Fuel Cells and Their Application, VCH, Weinheim, New York, Basel, Tokio, pp 11.
- [3] Supramaniam Srinivasan, Renaut Mosdale, Philippe Stevens, Christopher Yang, Fuel Cells: Reaching The Era of Clean and Efficient Power Generation in the Twenty-First Century, Annu. Rev. Energy Environ 1999, Vol. 24 pp 281-328.
- [4] National Aeronautical and Space Administration, Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems.

# Sistema optimizador de agua de la regadera de baño

*F. Pacheco-Juarez<sup>1</sup>, D. Dolores-Flores<sup>1</sup>, L. Loa-Pelcastre<sup>1</sup>, E. Fierro-Camacho<sup>1</sup>*

TESCo, Av. 16 de septiembre # 54, C.P. 55700, Coacalco de Berriozábal, Estado México.

**Resumen**— La totalidad del agua dulce en nuestro planeta es de aproximadamente 2.5%, por lo que en las últimas décadas se habla cada vez más del ahorro y uso eficiente del vital líquido y de la necesidad de generar acciones para lograr este fin.

El proyecto que aquí se presenta, consiste en una dar solución al ahorro de agua potable en el proceso del baño corporal. Tomando en cuenta que una persona cuando se baña - considerando un promedio diario de esta actividad- así como desde el momento en el cual regula la temperatura de confort adecuada del agua, el desperdicio es de aproximadamente 5 litros por cada persona. Si se toma en cuenta que el Estado de México tiene una población aproximada de 16 millones de habitantes, el ahorro de agua representaría un muy alto impacto en el ahorro del líquido, lográndose una amplia sustentabilidad de este bien no renovable.

El dispositivo que se describe está desarrollado para ser instalado en cualquier hogar de manera fácil, sin realizar grandes modificaciones a la infraestructura hidráulica y además, se presenta como un sistema económico.

Su funcionamiento básico es el siguiente: al abrir las válvulas de paso del agua caliente y fría, si no se ha alcanzado la temperatura del agua adecuada, esta se direcciona a un tanque receptor cuya capacidad permitirá alimentar de este vital líquido al consumo diario de aproximadamente 5 personas y reutilizarla; como por ejemplo, en la tarja y/o en el WC. Una vez que se ha alcanzado la temperatura adecuada de uso y confort, se abre una válvula de manera automática para dar paso hacia la regadera del agua.

**Temas claves**— Sistema, ahorro, agua, regadera, baño, y sustentable.

**Abstract**— Water recycling system Sprinkler bathroom. The entire fresh water on our planet is about 2.5%, which in recent decades is increasing talk of saving and efficient use of the vital liquid and the need to generate actions to this end.

The project presented here, is a solution to save drinking water in the process of body wash. Considering that a person when bathing - considering a daily average of this activity-as well as from the time at which regulates the temperature of comfort adequate water, waste is approximately 5 liters per person. Taking into account that the State of Mexico has a population of 16 million inhabitants, water savings would represent a very high impact on saving the liquid, achieving a comprehensive sustainability of this nonrenewable well.

The device described is developed to be installed in any home easily, without major modifications to water infrastructure and also appears as an economic system.

Its basic operation is as follows: when opening valves passage of hot and cold water, if you have not reached the proper water temperature, it is routed to a receiver tank whose capacity will enable this vital liquid feed to the daily consumption of about 5 people and reuse; such as in the sink and / or toilet. Once it has reached the proper temperature of use and comfort, a valve automatically opens to step into the shower water

**Keywords**— System, saving, water, sprinkler, and sustainable.

## I. INTRODUCCIÓN

La forma de vida, el ritmo y el dinamismo con que se debe actuar en las actividades de los seres humanos ha conducido en las últimas décadas a un incremento en el consumo y en muchos casos, desperdicio de agua, por lo que a lo largo de la historia, se ha desarrollado tecnología encaminada al ahorro, al uso eficiente y sobre todo la sustentabilidad de este recurso. Algunos de estos son:

- 5000 A.C. Jericó utilización de los pozos, el transporte y distribución del agua.
- 3000 A.C. Mohenjo-Daro (Pakistán). Uso de baño público, instalaciones de agua caliente.
- Antigua Grecia. Utilización del agua de lluvia de embalses de aire para acción de purificación.
- Época Romana. Construcciones importantes de redes de distribución de agua.

- 1804 El primer sistema de suministro de agua potable.
- Paisley, Escocia. John Gibb, (1806). Primer planta de tratamiento de tratamiento de agua.
- James Simplón (1827). Filtro de arena para la purificación del agua potable.

En los últimos años, el ahorro de agua se ha centrado en concientizar a la gente para un uso adecuado y racional.

Actualmente se comercializan regaderas ahorradoras eficientes que utilizan mecanismos mecánicos con tres características principales:

1) Mezcla Aire- agua.-Se mezcla de aire con agua, de manera que el chorro que sale por los orificios de la regadera proporciona la misma sensación de mojado y caudal, consumiendo aproximadamente la mitad de agua.

2) Reducción del área de salida.- En este caso la reducción del área de salida, la cual concentra el chorro de salida por lo tanto consiguen ahorro sin reducir la cantidad de agua útil por unidad de superficie.

3) Reducción de caudal.- Se reduce el caudal a 10 litros por minuto y a una presión de 3 bar. Este caudal garantiza un servicio adecuado y se aleja bastante de los 20 litros que, a esta misma presión, ofrecen muchas regaderas convencionales.

## II. OBJETIVO GENERAL

Construir un sistema hidráulico automático para reciclar agua de la regadera del baño de una casa habitación.

### II.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Eficientar el uso del agua utilizado en el baño corporal.
- Reciclar el agua que se desperdicia antes de alcanzar la temperatura de confort en el proceso del baño corporal.
- Construir un sistema hidráulico para reutilizar el agua recuperada en el proceso de baño corporal.
- Ahorro de miles de litros de agua desperdiciados antes de siquiera iniciar el baño corporal.
- Automatizar la salida de agua de la regadera a la temperatura de confort.

## III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la aparición del ser humano, la relación con la naturaleza ha sido muy estrecha, de hecho, depende de ésta todo el tiempo: respira su aire, usa su agua, se alimenta de sus plantas y animales, en fin, todas las necesidades implican el uso y la explotación de recursos naturales, sin embargo hasta esta época moderna de desarrollos tecnológicos no se ha logrado crear un conciencia de que estos recursos vitales para la vida se agotan, se desperdician, se contaminan, etc.

En la mayoría de hogares en el Estado de México hay instalados al menos un recinto para el baño corporal y en el momento de obtener la temperatura de confort deseada el agua tanto caliente como fría se va directamente al drenaje, representando miles de litros de agua potable desperdiciados.

Sabiendo que el total de agua en el planeta está distribuido en los porcentajes siguientes:

- 97.5% es agua salada
- 2.24% es agua dulce y
- sólo el 1%, está disponible en ríos, lagos y acuíferos para el consumo humano.

Tomando en cuenta que la escases del agua es cada vez más notoria, se convierte en una necesidad optimizar su uso. Con este proyecto se pretende solucionar el desperdicio de este vital líquido y puede presentar una gran oportunidad de mejora en el ahorro de agua. No debemos olvidar que el agua a lo largo de la historia ha sido un tema de interés debido al papel principal que este recurso juega en nuestra vida y su creciente escasez para abastecer los servicios requeridos, el ahorro de ella en el hogar es fundamental para garantizar su existencia en el futuro.

Principales desventajas del baño con regadera convencional son:

- Ineficiencia al mezclar el agua
- Flujo de agua difícil de controlar
- No hay un límite de consumo de agua
- Desperdicio de agua utilizada cuando no se recicla
- Mayor cantidad de combustible gastado.

#### **IV. Justificación**

Se considera la implementación de un sistema que automatice el sistema hidráulico del baño corporal en un hogar en el momento de obtener la temperatura de confort; tomando en cuenta que en la actualidad, la manera más común de bañarse es por medio de una regadera en la que se controla la temperatura del agua a través de dos llaves o válvulas independientes, a las cuales se utilizan para regular el flujo del agua fría y el agua caliente para hasta tener una temperatura adecuada.

Con la implementación del sistema propuesto, el consumo del agua se verá beneficiada en el aspecto económico y ecológico, ya que una persona desperdicia aproximadamente 5 litros antes de iniciar siquiera a bañarse. Si se hace la consideración que en el Estado de México habitan 16 millones de personas, y suponiendo que de ellas 8 millones se bañan a diario, equivale a 4 millones de litros de agua desperdiciados diariamente, por lo que se pretende ahorrar con este sistema, una instalación sencilla y un sistema bastante económico y teniendo un uso más eficiente del agua garantizando la sostenibilidad de este recurso natural y no renovable.

Por estas razones, el proyecto plantea la implementación de la tecnología en un sistema hidráulico de fácil instalación, económico, eficiente y que provoque el ahorro de agua en el baño corporal de las personas de cualquier hogar.

#### **V. SOLUCIÓN A PROBLEMA COMÚN PARA EL ESTADO DE MÉXICO**

En el estado de México ocupa el primer lugar a nivel nacional en cantidad de población, que, como ya se ha mencionado, viven aproximadamente 16 millones de personas en él.

El consumo promedio de agua por persona en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es de 300 litros diarios (uno de los más elevados del mundo). Existen diferencias considerables entre las distintas colonias y municipios del Estado de México: en las zonas de nivel económico alto el consumo puede ser de hasta 600 litros de agua por habitante al día, mientras que en otras zonas el consumo es de apenas 20 litros.

En un día cotidiano la mayoría de las personas desperdician agua en actividades comunes; cuando se baña emplea un tiempo entre 15 a 20 minutos gastando aproximadamente 200 litros de agua, de los cuales alrededor de 150 litros se pierden en enjabonar y enjuagar el cuerpo y aproximadamente 5 litros antes del baño, esperando que el agua tenga una temperatura 35°C adecuada para el baño corporal (recomendación de Dermatólogos).

Es por lo que este proyecto, implementándolo en un hogar, solucionará una importante problemática de ahorro de agua, presente y futuro en el Estado de México, siendo su uso más eficiente a los habitantes en esta región que se verán beneficiados en el aspecto económico y ecológico.

#### **VI. MÉTODOS y/o PROCEDIMIENTOS**

1. Diseño del sistema hidráulico para adaptarse a la regadera de baño de cualquier hogar.

En esta fase del proyecto, se diseña la forma de colocar las tuberías, accesorios, válvulas (manuales y automáticas), el control automático y los tanques de agua fría y caliente a fin de eficientar el sistema.

## 2. Análisis y sistematización de las técnicas para automatizar el sistema hidráulico.

En este paso se analizan las diferentes formas de controlar la temperatura, el reciclado y caudal del agua en sus diferentes características físicas que esta antes y durante el proceso del baño corporal. Entre las técnicas que revisaron se encuentran: a) el control por PLC (Controlador Lógico Programable), mediante el uso de la tarjeta Arduino, microcontroladores, entre algunos otros.

## 3. Diseño del control automatizado.

En esta parte del proyecto se diseña la fuente de alimentación, la cual será de 5 Volts. El circuito electrónico para monitorear la temperatura de 35°C del agua utilizará un sensor LM35, que cumple perfectamente con las condiciones de seguridad para los usuarios.

## 4. Elaboración del prototipo.

En esta fase se realiza la estructura del proyecto, el ensamble del sistema hidráulico, la instalación de los accesorios, válvulas manuales y automáticas, etc., de manera tal que funcione como el elemento real que se ha proyectado con la finalidad de ratificar el equipo o corregir las deficiencias que pudiesen presentarse.

## 5. Puesta en marcha.

En esta etapa se verifican las condiciones de funcionamiento, medidas de seguridad, de fugas y, si es necesario, realizar las correcciones necesarias a fin de dejar el equipo en perfecto estado de funcionamiento.

## 6. Análisis de resultados obtenidos.

En etapa se comprobará si el ahorro del agua prometido es correcto o se contará con una medida más real del verdadero ahorro de consumo de agua logrado en el proceso del baño corporal de una persona.

## 7. Elaboración del reporte final.

En esta actividad, con los datos de diseño de las diferentes etapas del prototipo, como son los diagramas, circuitos, puesta en marcha y análisis de resultados se elaborará un reporte final acerca del éxito del proyecto y sus repercusiones reales en el ahorro del agua en el Estado de México en base al uso cotidiano del dispositivo presentado.

## 8. Presentación del prototipo final, ya como dispositivo.

### VII. LISTA DE MATERIALES

**TABLA 1. Materiales utilizados.**

<i>Número</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Material</i>
1	10	Metro de tubo PVC hidráulico ½"
2	6	Metro de tubo PVC hidráulico 2"
3	10	Codo de PVC 90 x 2" hidráulico
4	10	Codo 90 x ½" hidráulico
5	4	Codo 45 x ½" hidráulico
6	5	Adaptador macho ½" PVC
7	5	Válvulas paso ½" PVC
8	4	Pegamento en tubo para PVC

9	1	Regadera PVC
10	4	T de PVC hidráulico ½"
11	3	Electroválvula ½" 110V
12	1	Hoja triplay 12mm
13	6	Metro de cuadrado ¾" cedula 12
14	2	Metro de lija para PVC
15	12	Abrazadera de uña ½"
16	10	Abrazadera de uña 2"
17	2	Ménsula colonial reforzada 16 x 38cm
18	2	Litro de pintura verde
19	1	Litro de pintura negra
20	1	Brocha 3 ½"
21	3	Litro de thinner estándar
22	4	Metro de ángulo 1/8 x 2"
23	1	Broca ¼" para metal
24	1	Broca 3/32" para metal
25	25	Pijas para madera ¾"
26	12	Tornillos 5/16"x 3"
27	12	Roldanas de presión 5/16"
28	12	Electrodos para hierro 1/8"
31	2	Contenedor 25 litros
32	1	Calentador de agua de resistencia eléctrica 300W
33	3	Regulador LM7805
34	3	Amplificador LM358
35	3	Sensor LM35
36	10	Diodo rectificador 1N4002
37	1	Transformador 127v a 12v c/n tapa
38	10	Capacitor 4700 micro f. a 50v
39	4	Relé a 5v /127-220v
40	5	Diodo led
41	10	Resistor 470Ω
42	3	Reductores de PVC hidráulico 2" a ½"
43	2	Tuercas de bronce ½"
44	2	Empaques de neopreno ½"
45	3	Metro de solera 1/16" x 3/8"
46	3	Metro de ángulo 1/16" x 3/8"
48	1	Cuaderno profesional cuadro chico
49	1	Cinta teflón
52	1	Sellador de silicón

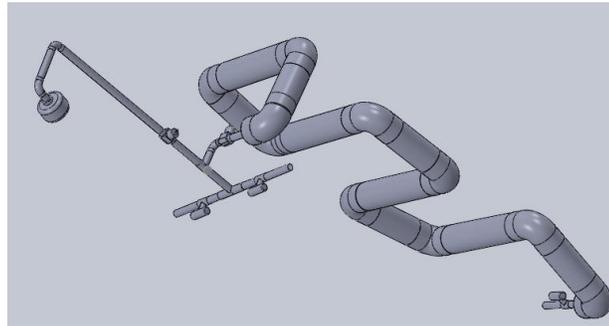
## IX.2 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del sistema y/o proceso inicia cuando se abren las válvulas manuales de paso de agua fría y caliente, al salir el agua caliente y fría se mezclan, y cuando esto sucede, el sensor LM35 sensa la temperatura de confort del baño corporal y manda la señal para energizar una solenoide para que ésta mande una señal y abra una válvula automática y salga el agua por la regadera. Cuando no se ha alcanzado dicha temperatura, se abre otra válvula automática que hace que entonces el caudal de agua se direcciona al depósito de agua reciclada, para que esta no se tire a la coladera y posteriormente se utilice para el lava y el WC. Cuando se alcanza la temperatura adecuada del agua se procede al baño corporal.

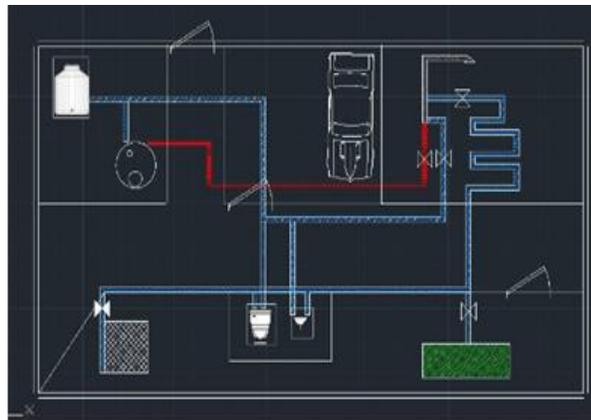
## RESULTADOS

El proyecto se desarrolló en base a la recopilación de información documental para poder concluir el prototipo de reciclamiento de agua de la regadera de baño, logrando el equilibrio de la temperatura antes del

baño corporal, reciclando el agua (que aún no ha alcanzado la temperatura ideal) para utilizarla en otras actividades del hogar como se muestra en la figura no. 1 y 2.



**Figura 1. Esquema de sistema hidráulico.**



**Figura 2. Esquema del sistema ahorrador.**

## CONCLUSIONES

El agua es un recurso natural NO RENOVABLE. Sin embargo, la tarea de llevarla a nivel domiciliario es cada vez más difícil, caro y el crecimiento agigantado de la población urbana y rural en el Estado de México lo hace una labor titánica. Se nota un desperdicio de mayor cantidad de agua que en la mayoría de los casos debido en muchos casos a aspectos de índole cultural, por lo que con el proyecto que se presenta, se presenta una solución a una parte del desperdicio de agua con la instalación del sistema hidráulico de bajo costo y además contando con la ventaja extra de ser de fácil instalación en la gran mayoría de los hogares en el Estado de México.

El proyecto presentado busca mitigar, aunque sea en una pequeña participación, el desperdicio desmedido del agua. Aunque como es bien sabido, el mejor método para evitar el desperdicio es la educación y que la población tenga la conciencia del ahorro del agua.

Otro aspecto muy importante, es la de la revisión continua de las tuberías, ya que la mayor pérdida del vital líquido se presenta por aquellas fallas en el sistema de transmisión.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), por el apoyo económico para poder realizar este proyecto.

---

## REFERENCIAS

- [1] UNESCO, 1998. World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century.
- [2] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censos de Población y vivienda, 1a edición, INEGI, México, varios años.
- [3] Fundación el manantial A.C. IAP. México, DF.
- [4] Gobierno de la Ciudad de México, 2012. Catálogo de productos y dispositivos ahorradores de agua.
- [5] L. Boylestad y Nashelsky, Electrónica, teoría de circuitos, octava edición, Ed. Pearson.
- [6] Sedra, Dispositivos Electrónicos y Amplificadores de Señales, Ed. Interamericana
- [7] Piedrafita Moreno, Ramón Ingeniería de la Automatización industrial. Editorial RA-MA.
- [8] Productos Nacobre S.A. de C.V., Líneas hidráulicas, criterios de diseño para redes de agua potable empleando tuberías de PVC.



# Las TIC's como apoyo para el desarrollo de lenguaje de niños con autismo

*O. Chimal-Pilotzi<sup>1</sup>, J.M Rosas-Morales<sup>1</sup>, <sup>1</sup>I.Mendoza Paz*

Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

**Resumen**—En este trabajo se aborda el desarrollo interactivo de un infante con problemas de autismo a través del procesamiento de imágenes a partir de la visualización de las mismas, todo esto enfocado al desarrollo de instrumentos auxiliares digitales para la mejora en la condición de vida de estos, tomando como referencia las tecnologías de la información y comunicaciones en su rama de programación, se plantea la idea de la creación y puesta en marcha de una aplicación de carácter móvil que ayude a niños con autismo a tener una mayor comunicación con su entorno, esto apoyado por pictogramas y sonidos que el infante pueda relacionar con los objetos y acciones con lo que tenga contacto; la metodología utilizada será de campo con pruebas controladas, ya que se realizarán pruebas correctivas con niños en esta situación.

**Temas claves**—Ayuda social, desarrollo, innovador, móviles, tecnología de la información y comunicaciones.

**Abstract**— In this work the interactive development of a child with autism problems through image processing from displaying the same addresses, all focused on developing digital auxiliary instruments for improving the living conditions of these, by reference to information technology and communications in their branch of programming, arises the idea of creation and implementation of an application for mobile character that helps children with autism to have more communication with their environment, this supported pictograms and sounds that the child can relate to objects and actions with what you have contact; the methodology will be controlled field tests, since corrective tests were carried out with children in this situation.

**Keywords**—Social assistance, development, new, mobile, information technology and communications.

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de autismo abarca a una serie de trastornos que afectan las habilidades comunicativas, la sociabilización y la empatía de la persona. Los autistas tienen una personalidad replegada sobre sí misma de manera patológica. Los pacientes que sufren de este síndrome cuentan con una serie de señas de identidad que determinan dicho padecimiento. En este sentido, destacaría, por ejemplo, que cuentan con un coeficiente intelectual generalmente por debajo de lo normal, que poseen un lenguaje y una gramática limitados o que muestran total desinterés por las relaciones sociales.

Los trastornos autistas, por lo tanto, afectan las interrelaciones y propician conductas repetitivas en quienes los padecen, ya que necesitan conservar un entorno fijo y estable. Por lo general el autismo se manifiesta en los primeros años de vida y se mantiene durante toda la existencia ya que no existe una cura, aunque sí se pueden reducir las conductas anómalas y mejorar la interactividad social.

Es por ello importante que sepamos entender que aunque deseemos que nuestro hijo hable, primero deberemos establecer la comunicación adecuada, y el habla se irá desarrollando, en algunos casos mucho, en otros no tanto, pero sí debe existir una buena calidad en la comunicación. Una vez ésta adquiere calidad, veremos cómo los problemas de comportamiento decaen de forma espectacular, el proceso de aprendizaje del niño se acelera y en suma, todos obtenemos una mejor calidad de vida. No debemos olvidar que a mayor problema de comunicación, mayor importancia debemos dar a este aspecto.

Las Tecnologías de la Información y Comunicación, sin ser un sistema mágico ni infalible, pueden ser un poderoso aliado a la hora de potenciar y mejorar la comunicación de los niños y niñas con autismo. En

primer lugar son muy atractivos para nuestros niños, con lo cual se consigue su atención de forma muy rápida. Suelen ser muy sencillos de usar y hay muchos sistemas que se adecuarán a la persona, además de ser, casi todos ellos, configurables y personalizables.

*¿Cómo se desempeñan las TIC en el desarrollo del lenguaje para niños Autistas?*

Diferentes estudios están demostrando el valor de las TIC para desarrollar el poder comunicativo de niños con autismo. “Sin ser un sistema mágico ni infalible, pueden ser un poderoso aliado a la hora de potenciar y mejorar la comunicación de los niños y niñas con autismo”. En efecto, las TIC pueden servir de gran ayuda para superar los problemas de autismo, esto al ofrecer un al niño un sistema de comunicación no verbal basado en el uso de pictogramas, textos y voz combinados. “Si el niño nunca ha usado pictogramas, habrá que enseñarle a comprender y entender el uso de los mismos para la comunicación”.

No se pretende un milagro en 10 minutos, a veces, en casos donde el niño nunca ha usado pictogramas, el proceso puede requerir de un tiempo, hasta que el niño pueda establecer las relaciones causales entre una imagen y una acción. Se estará por tanto potenciando la intención comunicativa del niño. “El que no tengamos comunicación no significa que el niño no se comunique. O al menos lo intente”.

El proyecto está siendo desarrollado y dirigido hacia un ámbito social, ya que tanto las tecnologías así lo permiten, sin embargo resaltaremos aspectos como fueron las diversas situaciones antes de que existieran este tipo de tecnologías y como hoy en día han dado un nuevo sentido de vida a la vida de estos niños que podemos decir que en la actualidad cuentan ya con un nuevo nivel de vida.

Otro aspecto muy importante de este proyecto de investigación es el producir resultados los cuales nos ayuden de manera amplia a la comprensión del como las TIC son empleadas como herramientas óptimas para el desarrollo del lenguaje pictográfico y de apoyo de un niño autista, así como también poder establecer cuáles son sus funciones, ventajas y desventajas del mismo sin dejar atrás la importancia de evolución que han tenido las TIC dentro el desarrollo de diversos lenguajes para la cual ha servido para sacar adelante y darle un mejor nivel de vida a este tipo de niños.

Se busca saber cuáles son las reacciones de los niños ante las tecnologías de comunicación, como lo desarrollan y como lo implementan, así como si es factible es uso de estas tecnologías ya que sabemos que como en todo se deben tomar observaciones y diferentes pruebas para comprobar si realmente es adecuada esta implementación a este tipo de niños con Autismo. Así mismo saber si las familias adoptan y están desacuerdo con que se implementen estas tecnologías ya que no todos pensamos igual.

## **II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO**

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta el niño con autismo es precisamente la comunicación y por ende el desarrollo de lenguaje verbal. Y este es uno de los grandes objetivos, desarrollar la comunicación del niño con autismo. Hoy disponemos de varias tecnologías que nos pueden ayudar mucho en esta tarea, tanto en el desarrollo de la comunicación como en potenciar el lenguaje en el niño. Quisiera destacar que muchas familias se muestran muy preocupadas porque su hijo no habla, y es una preocupación muy comprensible, pero hemos de tener en cuenta que comunicarse no es solo hablar. Es muy importante que la comunicación sea bidireccional y de calidad. Que el niño pueda decirnos qué quiere, qué le pasa, o qué no quiere, sea de la forma que sea.

Los Sistemas Alternativos y Aumentativos de Comunicación (SAACs) son un medio que está demostrando todos los días su eficacia. Es por ello importante que sepamos entender que aunque deseemos que nuestro hijo hable, primero deberemos establecer la comunicación adecuada, y el habla se irá desarrollando, en algunos casos mucho, en otros no tanto, pero sí debe existir una buena calidad en la comunicación. Una vez ésta adquiere calidad, veremos cómo los berrinches decaen de forma espectacular, el proceso de aprendizaje del niño se acelera y en suma, todos obtenemos una mejor calidad de vida. No debemos olvidar que a mayor problema de comunicación, mayor importancia debemos dar a este aspecto.

*¿Cuál es el objetivo de estos sistemas?*

Básicamente dar un modelo de comunicación válido al niño no verbal. Para ellos se basan en el uso de pictogramas, textos y voz combinados. Aunque el pictograma es la base, se coloca en la parte inferior del pictograma el texto correspondiente y en muchos casos se hace un apoyo verbal con una voz grabada. Y por tanto, si el niño nunca ha usado pictogramas, habrá que enseñarle a comprender y entender el uso de los mismos para la comunicación. No pretendamos un milagro en 10 minutos, a veces, en casos donde el niño nunca ha usado pictogramas, el proceso puede requerir de un tiempo, hasta que el niño pueda establecer las relaciones causales entre una imagen y una acción, estaremos por tanto potenciando la intención comunicativa del niño. El que no tengamos comunicación no significa que el niño no se comunique. O al menos lo intente.

Una vez el niño adquiere habilidades en el uso de estos Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación el progreso a diversos niveles va a ser notable. Hay mucha gente que piensa que el uso de los SAAC perjudica en el desarrollo del lenguaje oral, bien. El niño que tiene un buen manejo comunicativo con el apoyo de estos sistemas, también mejora la calidad y funcionalidad del lenguaje oral. En algunos casos será un avance tal que llegue un momento en que no requiera del concurso de estos sistemas, en otros sencillamente se convertirán en un complemento ideal para la comunicación del niño. No hay por tanto una respuesta estandarizada, cada niño es diferente y por tanto también los serán sus capacidades.

Dentro del proyecto de investigación se busca implementar nuevas tecnologías dirigidas a niños con Autismo ya que para estos es muy difícil una comunicación efectiva. Se busca conocer si realmente estas tecnologías ayudan al niño Autista y que por lo contrario se sienta incomodo, como también agobiado. Con el fin de que el niño Autista tenga una herramienta la cual él pueda expresar algún dolor, si tiene hambre, si tiene sueño, entre otros.

La tecnología a aplicar será un sistema a base de imágenes y sonidos, tales en forma de botones interactivos con los que el niño pueda observar como también escuchar llegando así a establecer una forma de expresarse sin que los padres o tutores lleguen a equivocarse con lo que el niño realmente está solicitando. Dicho esto no se comprueba al 100% que el niño siempre se expresara de manera casi perfecta si no que será un estímulo para que el mismo se comunique con por lo menos un 80% de efectividad.

La aplicación será montada sobre una plataforma Android versión 5.0 para ser interactiva la comunicación esta será programada en JAVA ya que esta se basa en programación orientada a objetos haciendo así más fácil y sencillo el proceso. Esta aplicación trabajara con una base de datos creada para el almacenamiento de imágenes, sonidos y contenido necesario para su correcto funcionamiento, esta estará conectada y trabaja en conjunto con la interfaz de JAVA. Todo esto descansara en una tableta electrónica la cual será presentada al niño que se pretenda ayudar.

La aplicación será probada durante 1 año dentro de las instalaciones CRIT TELETON Estado de México. En aulas acondicionadas para la aplicación de la misma, se entregaran algunos equipos con la aplicación ya instalada para que personal autorizado y capacitado muestre el uso a padres y niños en forma de talleres interactivos. Una vez pasado el año de prueba se recopilaran durante ese tiempo muestras de comportamiento, aceptación de los niños Autistas a esta aplicación.

#### ¿QUÉ SE ESPERA OBTENER?

Como principio debemos considerar que el concepto de este proyecto está orientado a desarrollar una aplicación móvil que cumpla en medida de las posibilidades, y tomando en cuenta el factor social una mejora en la comunicación en niños con autismo, ya que se trata de plasmar alternativas en el uso de materiales y técnicas de enseñanza las cuales pueden ser ayudas o apoyos didácticos en la medida en que se construye una relación con los dispositivos tecnológicos actuales.

El resultado final debe ser una aplicación que cumpla con el objetivo específico de ayudar en la mejora de la comunicación en niños con autismo, que presente una estructura organizada pensada, así mismo orientado hacia los especialistas en esta área de tratamiento, como herramienta de apoyo o ayuda, esto orientado a mejorar el estilo y calidad de vida de un sector de la sociedad carente de apoyos o estímulos de vanguardia y de desarrollo tecnológico.

**REFERENCIAS**

- [1] A.A.M.R. (2001). Autismo. Definición, clasificación y sistemas de apoyo. (Trad. Verdugo, M.A. y Jenaro, C.). Madrid: Alianza Editorial. (Edición Original 1992).
- [2] A.A.M.R. (2004). Autismo. Definición, clasificación y sistemas de apoyo. (Trad. Verdugo, M.A. y Jenaro, C.). Madrid: Alianza Editorial. (Edición Original 2002).
- [3] O.M.S. (2001). Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud. CIF. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- [4] Sánchez, J. (1996). Jugando y aprendiendo juntos. Un modelo de intervención didáctico para favorecer el desarrollo de los niños y niñas con Autismo.
- [5] Malaga: AL jibe. Thomson, J.R.; Hughes, C.; Schalock, R.I.; Silverman, W.; Tassé, M.J.; Bryant, B.; Craig.
- [6] E.M. y Campbell, E.M. (2003). Integrando los apoyos en la evaluación y planificación. Siglo Cero, 34 (2), 206, 36-55.
- [7] Verdugo, M.A. (2003). Análisis de la definición de Discapacidad Intelectual de la Asociación Americana sobre Autismo de 2002. Siglo Cero, 34 (1), 205,5-19.

# Impacto de las redes sociales en el E-Learnig

R. Guerrero-Rodríguez, J. D. de Hoz-Diego Miembro IEEE; F.J. Mar-Luna

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Durango, Carretera Durango – Mezquital Km. 4.5 34080 Durango, México

<sup>2</sup> Universidad de Zaragoza Campus Río Ebro María de Luna, 350018 Zaragoza

**Resumen**— La evolución del conocimiento precisa a la innovación constante, haciendo uso de herramientas tecnológicas para un mayor beneficio social y educativo; es necesario plantear estrategias didácticas que fortalezcan el proceso de enseñanza–aprendizaje en comunidades de estudio, promoviendo en los estudiantes habilidades y actitudes que impulsen su autonomía. En la actualidad las redes sociales tienen un gran influencia en los jóvenes, debido al impacto social en su vida, dedicándole cada vez mayor tiempo a interactuar en estas, por tal motivo es oportuno considerar la idea de utilizarlas como plataforma virtual logrando fortalecer el proceso educativo a través de tácticas enfocadas al mejoramiento del *E-learning*. La finalidad del presente proyecto es la descripción de la implementación de las redes sociales como apoyo tecnológico en el desarrollo académico teniendo como base un diseño instruccional.

**Temas claves**—E-Learning, Redes sociales.

**Abstract**— the knowledge evolution is necessary to the constant innovation, using technological tools for a better social and educational benefit; it is necessary to raise didactic strategies that strengthen the teaching-learning process in study communities, promoting in the students skills and attitudes that stimulate his autonomy. Nowadays social networks have a lot of influence in the young people, due to the social impact in their life, dedicating every time, more time to interact in these, for that is opportune to consider the idea of using them like a virtual platform able to strengthen the educational process across tactics focused on the improvement of *E-learning*. The purpose of this project is the description of the implementation of the social networks as technological support in the academic development taking as a base an instructional design.

**Keywords**— E-Learning , Social networks .

## I. INTRODUCCIÓN

Debido al auge de las redes sociales en el siglo XXI y a la influencia que tiene en la vida de muchas personas, sobre todo los jóvenes en la edad de formación académica, es necesario considerar su inclusión como plataformas educativas virtuales en las que, a través de estas, se pueda abarcar un mayor número de estudiantes.

El *E-learning* como parte del proceso de enseñanza – aprendizaje a través de un espacio en Internet, contribuye para facilitar y orientar el sistema educativo, implementando estrategias pedagógicas que brinden alternativas de solución para el aprendizaje significativo.

Es trascendental la integración de las redes sociales en el estrategias pedagógicas generando en el estudiante autonomía en el aprendizaje que incremente su nivel de satisfacción aumentando el deseo de persistir y de involucrarse al establecer relaciones con otros miembros de la comunidad de aprendizaje, mediante un entorno social con efecto positivo lo suficientemente atractivo para crear así el sentido de pertenencia y compromiso alcanzando así los objetivo planteados en el curso.

## II. EDUCACIÓN EN MÉXICO

Para la Secretaría de Educación Pública es relevante disminuir el índice de deserción escolar, implementando estrategias de aprendizaje para el fortalecimiento de la enseñanza generada en las Instituciones Educativas. [1]

La importancia de promover una sociedad del conocimiento, en la educación en México, implementando estrategias pedagógicas que fortalezcan el sistema educativo [1], contribuirá a disminuir la tasa abandono escolar, siendo estos uno de los objetivos establecidos en el Programa Sectorial de Educación 2013 – 2018. [2] [3]

EL proceso de enseñanza -aprendizaje debe implementar estrategias educativas en donde a los estudiantes se les genere un sentido de pertenencia y compromiso educativo en pro de una formación de calidad y autonomía didáctica; disminuyendo así el rezago educativo y los índices de abandono. [4]

En la TABLA III se muestran los indicadores de educación superior, calculados con proyección de población entre los años 2009 y 2010 [3]

[8] TABLA III  
Indicadores de Educación Superior

[9]	Año	Abso	Abandon	Cobe
	ción	o escolar	o escolar	rtura 18 a 22 años*
09 -2010	20	82.5	8.3	25.6
10-2011	20	83.0	7.1	26.4
11-2012	20	84.6	7.7	27.6
12-2013 <sup>+</sup>	20	85.9	7.6	28.6

[10] \*Indicadores calculados con proyecciones de CONAPO (abril 2013)

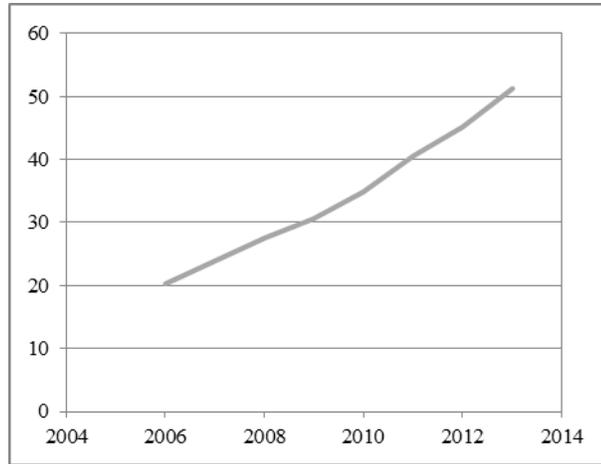
+ Cifras estimadas para abandono escolar

## III. REDES SOCIALES

En la actualidad las tendencias tecnologías contribuyen en la incursión a implementar estrategias innovadoras en modelos educativos que permiten facilitar el aprendizaje a través de las redes sociales. [5]

Las nuevas tecnologías son consideradas como herramientas de indiscutible valor, haciendo del Internet indispensable como medio informativo ocasionando un incremento en la cantidad de internauta de las redes sociales, la Figura 11 muestra el aumento que se ha ido dando desde el 2006, siendo en el período del 2012 al 2013 un 13% de los mismos.

Las redes sociales tienen gran influencia en la vida social en los jóvenes y el tiempo dedicado a interactuar en estas les impacta en su desempeño académico; generando, en ocasiones, una desvirtualización de los beneficios que se pueden conseguir al considerarlas como herramientas tecnológicas en el *E learning*. [5] [6]



[11]

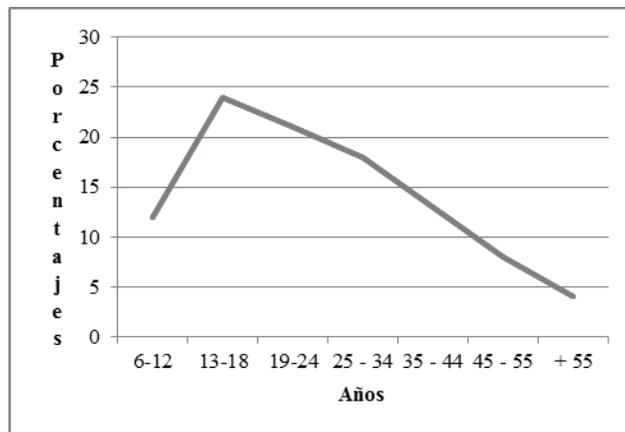
**Figura 11. Histórico de usuarios 2006 – 2013**

\*Cifras en millones calculadas por el IFETEL al mes de diciembre de 2013 con base en información de AMIPCI y el INEGI

La innovación tecnológica contribuye al desarrollo de nuevos modelos educativos, por tal motivo es imperante incluir a las redes sociales como una plataforma virtual en la que se puede interactuar en comunidades de aprendizaje promoviendo el conocimiento a través de sistemas de enseñanza y la implementación de los mismos. [7].

El servicio educativo en México considera, entre otras, a la educación media superior, que es al concluir la educación básica, en promedio a partir de los 12 años y la educación superior que continua a la media superior como parte de la formación académica. [3] [8]

En el Estudio realizado por la Asociación Mexicana de Internet 2014 refleja los hábitos del usuario mexicano. En la Figura 12 muestra el rango por edad de internautas, indicando así, que es dentro de las edades de 13 a 24 años los que tiene mayor incidencia en Internet; por tal motivo a los jóvenes se les debe de atender en el medio en el que se desenvuelven, siendo las redes sociales un punto de atención para contribuir en generar nuevas oportunidades para el desarrollo de los estudiantes. [8]



**Figura 12. Perfil por edad de usuarios en Internet**

#### IV. E –LEARNING Y LAS REDES SOCIALES

La antropología inglesa conceptualiza las redes sociales como las diferentes relaciones entre los individuos; creando otras redes sociales y modelos de relación por cada punto de partida convirtiéndose en un espacio útil y difícil de abarcar dentro de un mismo momento y espacio temporal. [7]

La educación a distancia como un sistema tecnológico de comunicación masiva y bidireccional que reemplaza la interacción personal en el aula del profesor y alumno, como medio preferente de enseñanza, por la acción sistemática y conjunta de diversos recursos didácticos y el apoyo de una organización tutorial, proporcionando el aprendizaje autónomo de los estudiantes. [9]

Como en todos los modelos educativos, es necesario llevar a cabo un adecuado diseño pedagógico enfocado a motivar a los estudiantes a su crecimiento académico mediante el desarrollo de competencias educativas en contexto de la cognición, habilidades y aptitudes que les ayude a enfrentar situaciones que se llegan a plantear en la vida cotidiana

##### A. *Diseño instruccional*

Es el arte y ciencia de establecer estrategias pedagógicas en base a teorías de aprendizaje que contribuyan a generar conocimientos y habilidades para fortalecer, en los estudiantes, el comportamiento consciente con el beneficio que representa [10].

El diseño instruccional es una herramienta eficaz en la administración de cursos, indicando cómo llevar a cabo el proceso pedagógico, considerando las necesidades y características de cada institución educativa, para desarrollar en sus educandos habilidades y aptitudes que les permita elevar el nivel de conciencia en los estudiantes en el contexto cognitivo. [11]

##### B. *Integración de un diseño instruccional a través de las redes sociales en el E-Learning*

En un modelo educativo constructivista, la implementación de un diseño instruccional en el *E-Learning* es necesario considerar algunos factores que permiten orientar a la práctica pedagógica enfocándose a los objetivos y la estructura de los programas, así como de las actividades a desarrollar para generar las evidencias o aportaciones correspondientes. [12] [13]

Dentro de los elementos que influyen en el proceso enseñanza – aprendizaje para que se lleve a cabo de manera significativa están el asesor, las actividades de apoyo, las aportaciones correspondientes a los estudiantes; el material proporcionado y evaluación del curso. [14]

##### C. *Factores influyentes*

Al analizar los factores necesarios para incluir las redes sociales como herramienta tecnológica dentro del *E-Learning* se debe considerar el diseño, la producción, entrega y evaluación enfocándolo a un curso virtual. [13]

Hay elementos como el objetivo del aprendizaje, la orientación teórica, los contenidos, las características de los alumnos son aspectos importantes que aún en la educación tradicional se consideran, en el aula virtual deben de adaptarse para ser abordadas de manera integral basándose en los lineamientos de los cursos en línea.

##### D. *Orientación de los factores incluyentes*

La integración de estos factores va enfocada a la propuesta de elevar la conciencia del discente acerca del desarrollo de habilidades, permitiéndole la exploración de un contexto en donde el cambio genere un compromiso en el proceso de enseñanza – aprendizaje, fomentando la autonomía pedagógica y la autoevaluación en cada uno de los alumnos para que reevalúen su situación actual pretendiendo la toma de conciencia y despertar el interés en aprender y fortalecer el comportamiento consciente y el beneficio que representa.

## V. LAS REDES SOCIALES Y EL SENTIDO DE PERTENENCIA

Es trascendental generar un efecto positivo a los estudiantes a través de una puntual retroalimentación a cada una de las actividades que realiza, contribuyendo así a fortalecer el estudio independiente, el desempeño académico y acrecentar la comunidad de aprendizaje a través de la interacción constante entre los participantes, acrecentando así el sentido de pertenencia al trabajar entre pares, intercambiando conocimientos y experiencias para ayudar en su formación alimenta el ánimo de contribuir en beneficio social.

## VI. BENEFICIOS OBTENIDOS

La inclusión de las redes sociales como herramienta tecnológica en el proceso enseñanza –aprendizaje, es prometedor y visionario, los beneficios alcanzados al utilizarlas como plataforma educativa virtual contribuye a fortalecer el proceso enseñanza – aprendizaje reflejando un aumento arriba del 2% de las puntuaciones obtenidas de las evaluaciones realizadas. Los grupos que participan en la interacción de comunidades de aprendizaje en las redes sociales, tienden a compartir ideas, proyectos, experiencias y conocimientos reflejándose un beneficio al potencializarse el desempeño académico de cada estudiante. [5]

Basta con analizar la cantidad de usuarios en Internet para saber que el uso de las redes sociales en la educación es de innegable utilidad, siendo una ventaja que los jóvenes se sientan en un ambiente confortable al navegar en la mismas; atrápidolos así de manera positiva para potencializar su desempeño académico.

## VII. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Durango en la representación del Rector Ing. Arturo Fragos Corral por su apoyo para la realización de este proyecto.

A la Universidad de Zaragoza por su contribución para la elaboración de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] OCDE, «Acuerdo de cooperación México-OCDE para mejorar la calidad de la educación de las escuelas mexicanas,» OCDE, México, 2010.
- [2] G. García Arámbula, R. Guerrero Rodríguez y R. Yparrea Arreola, «3er Congreso Internacional de Automatización y Robótica 2014,» de *Análisis del impacto de la robótica educativa en el desarrollo de las habilidades cognitivas en el adolescente*, Cuernavaca, 2014.
- [3] Secretaria de Educación Pública, «Principales Cifras del Sistema Educativo Nacional,» México, 2012 - 2013.
- [4] «Secretaria de Educación Pública,» 23 enero 2014. [En línea]. Available: [http://www.sep.gob.mx/es/sep1/programa\\_sectorial\\_de\\_educacion\\_13\\_18#.U-k2jWO4Mbc](http://www.sep.gob.mx/es/sep1/programa_sectorial_de_educacion_13_18#.U-k2jWO4Mbc). [Último acceso: 11 agosto 2014].
- [5] R. Guerrero Rodríguez, «La asesoría hacia pares una estratégica en el apoyo a la tutoría académica en el aprendizaje de lenguajes de programación,» de *Sexto Encuentro Nacional de Tutoría*, México, 2014.
- [6] F. Martínez Gutiérrez, «Las redes sociales: una aproximación conceptual y una reflexión teórica sobre los posibles usos y gratificaciones de este fenómeno digital de masas,» *TecCom Studies*, Vols. %1 de %2ISSN 2173-6588, n° 1, pp. 1-5, 2014.
- [7] A. Asúnsolo, «Qué son y cómo funcionan las Redes Sociales,» 27 mayo 2011. [En línea]. Available: <http://www.microsoft.com/business/es-es/Content/Paginas/article.aspx?cbcid=71>. [Último acceso: 6 noviembre 2011].

- [8] AMIPCI, *Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México 2014*, México: elogia marketing, 2014.
- [9] A. Solari y M. Germán, «Un desafío hacia el futuro: Educación a distancia, nuevas Tecnologías y docencia Universitaria.,» marzo 2004. [En línea]. Available: [http://micampus.udavinci.edu.mx/file.php/1437/Programa\\_curso/Lecturas/Latin\\_educa\\_2004.pdf](http://micampus.udavinci.edu.mx/file.php/1437/Programa_curso/Lecturas/Latin_educa_2004.pdf). [Último acceso: 8 octubre 2011].
- [10] S. V. Mortis Lozoya, R. J. Rosas Jiménez y E. K. Chairez Flores, «Concepto de diseño instruccional, en Modelos de diseño instruccional,» 2010. [En línea]. Available: [http://biblioteca.itson.mx/oa/educacion/oa32/molde los\\_diseno\\_instruccional/z2.htm](http://biblioteca.itson.mx/oa/educacion/oa32/molde los_diseno_instruccional/z2.htm). [Último acceso: 31 octubre 2011].
- [11] M. Allens's, «DESIGNING SUCCESSFUL E- LEARNING,» de *Designing Successful E-Learning Forget What You Know About Instructional Design and*, San Francisco, CA, Published by Pfeiffer, 2007, pp. 89-110.
- [12] F. Diaz Barriga, «Principio de diseño instruccional de entornos de aprendizaje apoyados con TIC: un marco de referencia sociocultural y situado,» *Tecnología y Comunicación Educativas*, n° 41, pp. 4-7, 2005.
- [13] Á. Alvarado, «Diseño Instruccional para la Producción de Cursos en Línea y e-learning,» 2003. [En línea]. Available: <http://especializacion.una.edu.ve/teoriasaprendizaje/paginas/Lecturas/Unidad%204/Alvarado2003.pdf>. [Último acceso: 31 octubre 2011].
- [14] A. D. C. Martínez Rodríguez, «El diseño instruccional en la educación a distancia. Un acercamiento a los Modelos,» abril 2009. [En línea]. Available: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=68812679010>. [Último acceso: 14 noviembre 2011].
- [15] F. García Cruz, «Sin Embargo.Mx,» *Periodismo digital cn rigor*, 9 septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.sinembargo.mx/09-09-2014/1111923>. [Último acceso: 1 enero 2015].

# El Internet de las Cosas en Redes Digital Signage

J. D. de Hoz-Diego<sup>1</sup> Miembro IEEE, R. Guerrero-Rodríguez<sup>2</sup>; F.J. Mar-Luna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad de Zaragoza Campus Río Ebro María de Luna, 350018 Zaragoza

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Durango, Carretera Durango – Mezquital Km. 4.5 34080 Durango, México.

**Resumen**— La cantidad de dispositivos conectados a Internet supera, por más de tres veces la población mundial, pronosticándose su duplicidad en los próximos años. El concepto Internet de las Cosas describe la tendencia de incorporar aspectos de diseño y funcionalidad en nuevos dispositivos para tener éxito al integrarse en Internet. Las redes Digital Signage empleadas tradicionalmente para comunicación audiovisual siguen muchas pautas marcadas por Internet de las Cosas: interoperabilidad, movilidad, escalabilidad y ubicuidad tanto en el acceso y control de los dispositivos como en la información generada. Este documento plantea el emplear Digital Signage como sustrato para desplegar dispositivos que puedan beneficiarse de las bondades que estas ofrecen. Para ello, se analizan los principales retos de integración relacionados con el esquema de tunelación bidireccional que emplea la red Digital Signage presentada y se proponen soluciones para los efectos del planteamiento de tunelación en escenarios con restricciones de ancho de banda.

**Temas claves**— Digital Signage, Internet de las Cosas, tunelación UDP.

**Abstract**— The number of Internet-connected devices exceeds by more than three times the world population and it is predicted to double within the following years. The Internet of Things concept describes the tendency to incorporate aspects of design and functionality in new devices to succeed when integrated into Internet. Digital Signage networks traditionally used for audiovisual media follow several guidelines set by the Internet of Things: interoperability, mobility, scalability and ubiquity both in access and control of devices as in the information generated. To achieve this goal, all major integration challenges related to bidirectional tunneling scheme employing the Digital Signage network solutions presented are discussed, as the effects of tunneling approach in scenarios with bandwidth constrains.

**Keywords**— Digital Signage, Internet of Things, UDP tunneling.

## I. INTRODUCCIÓN

El Internet de las cosas viene a revolucionar el concepto tradicional de la red de redes. En este nuevo escenario se plantea la conectividad universal gracias a la facilidad de crear interconexiones entre redes de distintos dispositivos.

Paralelamente, las redes *Digital Signage* (DS), se han empleado tradicionalmente para interconectar dispositivos audiovisuales a través de una red lógica que permitiese flexibilidad, fiabilidad y control con independencia de la ubicación geográfica entre cada dispositivo de la red. La principal finalidad de este tipo de redes consiste en comunicar contenido multimedia, en algunos casos con capacidades de interactividad, a través de dispositivos digitales de tecnología reciente. En este sentido se puede plantear el emplear la tecnología DS para interconectar otros tipos de dispositivos de forma transparente, escalable y con capacidad de movilidad orientándola hacia la filosofía presentada por el concepto de Internet de las Cosas. En el presente artículo se describe la estructura de una red DS ya desplegada y los avances enfocados a la optimización de su sistema de comunicación tunelada.

## II. INTERNET DE LAS COSAS

Internet de las cosas (IdC) es un concepto que nace por la necesidad de definir los cambios que está experimentando la estructura de Internet. La IdC está construida por diferentes redes que tienen como objetivo controlar sistemas de comunicación, telefonía, seguridad, control y funcionamiento de dispositivos

conectados alrededor del mundo, brindando la capacidad de incorporar, examinar y distribuir información y conocimientos a través de la red. [1], [2]

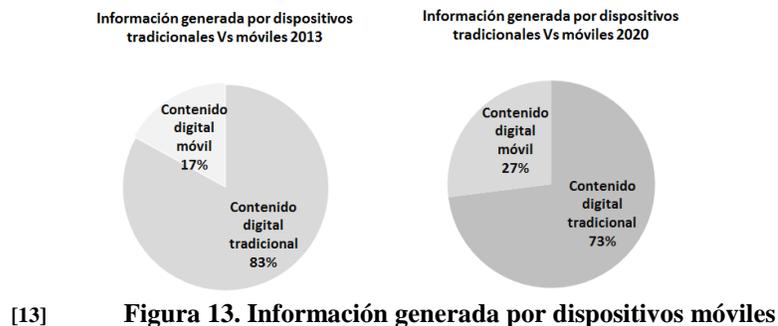
Como se indica en la TABLA III, para el 2020 se prevé que por cada individuo existan 6.6 dispositivos conectados en la red; permitiendo generar con ello aplicaciones con alto potencial para el Internet Sensorial. Esto permitirá aprovechar invenciones en donde al analizar datos y procesar la información se puedan identificar tendencias y patrones elaborados a partir de la información de sensores omnipresentes y sistemas de control. [3]

TABLA IV  
Proyección de dispositivos conectados hasta el 2020

Año	2010	2015	2020
Dispositivos conectados*	2.5	5	10
Dispositivos conectados por persona	.8	.5	.6
Población mundial*	.8	.2	.6

[12] \*Mil millones

El aumento de dispositivos conectados influye por tanto en la autoría de la información disponible en Internet. La Figura 11 muestra resultados de algunos estudios recientes [3], [4], donde una parte significativa de la información publicada en Internet está generada de forma automática por dispositivos conectados a la misma. Basándose en esta evolución, se plantea la necesidad del uso de tecnología que permita facilitar el procesado de esta información a través de sistemas que faculten la autoconfiguración e interoperabilidad entre dispositivos vinculados [5].



### III. DIGITAL SIGNAGE

Digital Signage (DS) o cartelera digital, es una tecnología de comunicación audiovisual para difusión selectiva, la cual se enfoca en el despliegue multimedia a través de pantallas. Los contenidos distribuidos engloban videos, animaciones, sonidos, imágenes y aplicaciones interactivas [6].

La estructura principal de cualquier sistema DS está compuesta por dos elementos principales: *i)* los *players*, los cuales reproducen los contenidos y *ii)* un servidor central o una red de servidores conformando una nube DS, a través de la cual se accede a diversos servicios que permiten controlar los dispositivos y distribuir los contenidos.

En la actualidad la tecnología DS no cuenta con estandarización o descripción específica de funcionalidades. Por este motivo se plantea una solución basándose en tecnología abierta aplicada tanto al servidor central como los *players*; y haciendo uso eficiente del concepto de Internet de las Cosas para

generalizar la interactividad y accesibilidad a través del gestor de red, donde se controle cualquier *player* vía interfaz web y se permita control en tiempo real de los dispositivos a través de los servidores [7].

#### A. Trabajos relacionados

En [7], se describe una arquitectura de red Digital Signage implementada por algunas empresas en la cual la propuesta contempla elementos de diseño de gran relevancia a la hora de plantear un uso más generalista de la red siguiendo la filosofía de IdC. Fundamentalmente se indica para dispositivos fijos y en movilidad; donde la implementación de seguridad en las comunicaciones y su arquitectura permiten una flexibilidad en el despliegue de la red.

#### B. Esquema de interconexión

La red DS expuesta en [7], tiene un esquema de conexión lógica híbrida. Consiste principalmente en una arquitectura lógica en estrella, entendiéndose que cada dispositivo se conecta con los servicios centralizados en la nube de forma directa. Sin embargo, en ciertos casos, los dispositivos DS pueden comunicarse entre ellos sin usar los servicios centralizados en la nube. Esto ocurre cuando los dispositivos se encuentran en una misma red local y necesitan distribuirse contenidos comunes.

Las comunicaciones entre los dispositivos y la nube se producen siguiendo un esquema de tunelación bidireccional indicado en la Figura 12, mostrando cómo se comparten ciertas similitudes con la que presentan algunos protocolos planteados en movilidad IP [8], [9]. Este esquema de conexión permite el acceso a los dispositivos en tiempo real desde cualquier terminal conectada a Internet. Las comunicaciones son tuneladas a nivel de transporte en tres canales diferenciados: *i)* transmisión de contenidos, *ii)* gestión, *iii)* control.

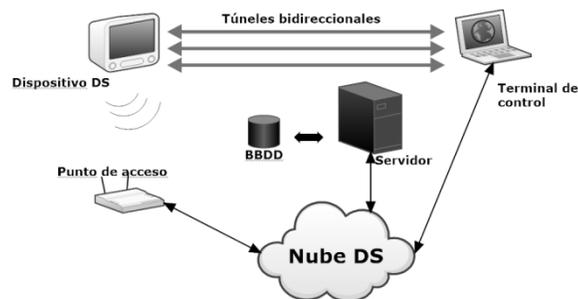


Figura 14. Comunicaciones tuneladas en la red DS

#### C. Seguridad en las comunicaciones

Este aspecto en la red DS se aborda introduciendo encriptación en las comunicaciones tuneladas vía SSL (*Secure Socket Layer*). La encriptación se realiza mediante pares de llaves público-privada RSA2048 que se asignan en fábrica. El registro del dispositivo y su asignación al usuario final en la nube se lleva a cabo en el momento de la compra. Este tipo de seguridad contribuye a proteger la integridad de los datos y a garantizar la fuente de los mismos evitando suplantación de identidad a la hora de actualizar contenidos [10].

#### D. Calidad de servicio (QoS)

Las comunicaciones pueden clasificarse según su nivel de prioridad en tres grupos: Control, gestión y distribución de contenidos. Los escenarios de degradación de la QoS más comunes suelen estar vinculados con el grado de congestión en los nodos locales de acceso a Internet [7], y por ese motivo se implementa en los dispositivos DS un sistema QoS basado en 802.11e [11]- [12], mejorando el acceso al medio de las comunicaciones prioritarias [7].

#### IV. REDES DIGITAL SIGNAGE ORIENTADAS PARA EL INTERNET DE LAS COSAS

Las redes DS contienen características intrínsecas que se formulan como necesarias en el despliegue de dispositivos del IdC. Sin embargo, existen problemas relativos al esquema de conexión empleado entre los dispositivos que deben resolverse para que esta idea pueda aplicarse en términos generalistas y no implique restricciones de servicio.

##### E. Problemas derivados de la tunelación

El sistema de comunicación planteado en la red DS basado en túneles bidireccionales SSL presenta problemas cuando la información transmitida consiste en datagramas TCP encapsulados. En estas circunstancias se produce una comunicación extremo a extremo en la que intervienen dos pilas TCP con sus correspondientes buffers y algoritmos de control de congestión. En [13], [14] se desarrollaron escenarios en los que se refleja una degradación del ancho de banda en entornos de congestión, fundamentalmente debido a la interacción entre los algoritmos de ambas pilas. Por otro lado, el efecto del *buffering* tampoco es despreciable. En entornos con altas pérdidas de paquetes, la tunelación TCP de datagramas TCP también introduce efectos no deseados.

##### F. Degradación de la latencia y ancho de banda

Para cuantificar la incidencia de los *buffers* en una conexión tunelada se realiza una serie de medidas en las comunicaciones entre dos terminales idénticos. Estos terminales cuentan con sistema operativo *Ubuntu* 14.3 conectados por cable directo Gbit *Ethernet*. El protocolo TCP en ambos dispositivos cuenta con los parámetros por defecto y el sistema de control congestión TCP RENO.

Se plantean dos escenarios de medidas: *i*) Una conexión directa TCP de un terminal a otro y *ii*) Una conexión tunelada TCP por SSH entre ambos dispositivos. Para generar el tráfico y medir estadísticas se usa la herramienta *Iperf* [15] y para generar pérdida de paquetes se emplea *Netem* [16] sobre la interfaz de cable del terminal origen de los datos. Se realizan en cada escenario cinco transmisiones con *Iperf* con una duración máxima de 20 segundos en las que la aplicación intenta emplear todo el ancho de banda disponible en el enlace. Cada transmisión se practica aplicando un porcentaje de pérdida de paquetes diferente sobre la interfaz de red a través de *Netem*. Los porcentajes de pérdida son del 0%, 1%, 5%, 10% y 20% respectivamente.

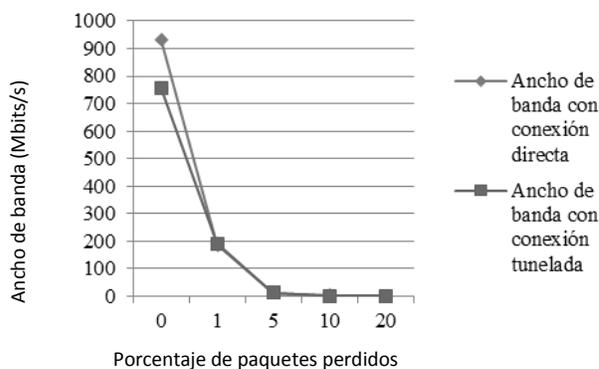
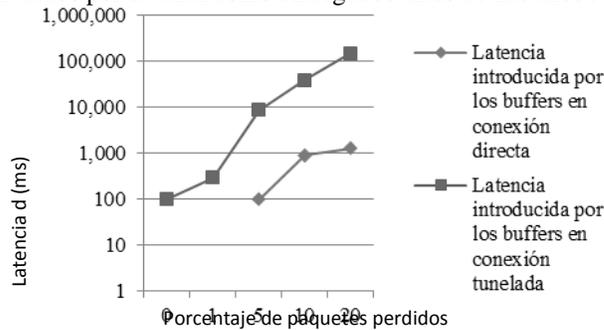


Figura 15. Comparativa del ancho de banda disponible entre conexiones directas v tuneladas

En los resultados de las pruebas realizadas se observa que la incidencia en el ancho de banda disponible sólo se presenta en situaciones de escasa pérdida de paquetes. En esas circunstancias, este ancho de banda se reduce en torno a un 18,95%. Sin embargo en entornos con alta pérdida de paquetes el comportamiento resulta similar o incluso mejor [13].

En lo referente a la latencia, se detecta cuantificando el uso de *buffering* intermedio durante las pruebas. Para ello, se pondera la diferencia en tiempo necesaria para recibir la información frente a la empleada en transmitirla.

La Figura 16 muestra los resultados donde se concluye que en casos de envíos masivos de información, el comportamiento de la conexión tunelada introduce latencias muy elevadas cuando existen pérdidas de paquetes significativas. Ocurriendo esto debido a que la tunelación reconoce los datagramas TCP enviados por el túnel como entregados antes de haberlos recibido el destino.



**Figura 16. Comparativa de la latencia introducida por los buffers de TCP de una conexión directa frente a una tunelada**

#### G. Pérdida de conexión a nivel de aplicación

La elevada latencia introducida por los esquemas presentados de conexión por tunelación, representan un problema que ya se ha experimentado en la red DS presentada anteriormente en ciertos entornos de movilidad. Este hecho supone un fuerte inconveniente si se pretende emplear este esquema de red siguiendo la filosofía de Internet de las Cosas y aplicarlo a otros dispositivos, ya que las conexiones TCP se perderían esporádicamente debido a problemas derivados de la tunelación.

#### H. Modificaciones propuestas para la red DS

Para poder emplear este tipo de redes en Internet de las Cosas se necesitan mejorar los comportamientos de latencia y ancho de banda de la red en entornos de congestión o con altas tasas de pérdida de paquetes. La estructura de conexión por tunelación bidireccional es válida, ya que aporta flexibilidad y seguridad en el establecimiento de conexiones. Sin embargo, se propone como solución sustituir la tunelación TCP por tunelación UDP, entendiendo la tunelación como multiplexación de los datagramas de la información a transmitir en datagramas UDP y no como aplicación *proxy* [14], [17].

Así mismo, se recomienda no multiplexar las conexiones tuneladas en una misma sesión SSL, sino generar tres sesiones independientes para cada una de las comunicaciones tuneladas que establece el *player*. Esto permite a cada sesión SSL marcar el campo TOS de los paquetes adecuadamente para que la disciplina de gestión de colas de Linux por defecto (*pfifo\_fast*) coordine el envío de los datagramas en base a su grado de prioridad [18] permitiendo minimizar los efectos de la congestión al aplicar políticas de servicios diferenciados. De este modo, La elevada latencia aplica únicamente al túnel de transmisión de contenidos que no requiere de interactividad. La congestión de esta comunicación tunelada no se propaga a las otras dos comunicaciones establecidas por el *player* para la gestión remota y control de los sistemas y servicios.

## V. CONCLUSIONES

La cantidad de dispositivos que requieren compartir información tiene elevada expectativa de crecimiento en los próximos años. El Internet de las Cosas es un concepto que perfila una serie de características y funcionalidades a seguir por los dispositivos y redes que permitirán simplificar el acceso y gestión de dispositivos e información generada. En este sentido, las redes *Digital Signage* orientadas tradicionalmente para la gestión de dispositivos audiovisuales pueden servir como propósito de redes diseñadas para estructurar, distribuir y recopilar información y para poder controlar dispositivos en tiempo

real. Sin embargo, existen ciertas limitantes en entornos de movilidad y escaso ancho de banda que reducirían el campo de aplicación de esta tecnología sustancialmente.

Tras analizar las causantes de estas limitantes se concluye que el sistema de tunelación bidireccional empleado basado en *OpenSSH* tiene dos problemas de diseño que deben corregirse: No debe realizarse tunelación de datagramas TCP sobre túneles TCP, sino sobre UDP y tampoco deben multiplexarse las comunicaciones tuneladas en una misma sesión SSL.

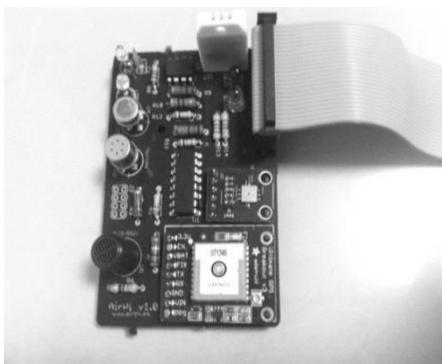
La solución de estos dos problemas es factible. En el primer caso se debe modificar la implementación original de *OpenSSH* para poder definir túneles UDP. Esta medida mejorará el funcionamiento de todas las conexiones tuneladas en entornos de congestión con pérdidas de paquetes al evitar que dos pilas TCP interactúen negativamente entre sí. Respecto a la segunda problemática su solución es más inmediata, ya que únicamente requiere reprogramar el proceso de establecimiento de conexiones SSL y aplicar DiffServ marcando adecuadamente el campo ToS de los paquetes de cada conexión.

## VI. PROYECTOS RELACIONADOS Y TRABAJO FUTURO

El esquema de red DS expuesto junto con las mejoras propuestas en el establecimiento de conexiones SSL han hecho factible el desarrollo de otros proyectos que requieran de una red de comunicación de estas características.

### A. Red de sensores para la calidad del aire

La plataforma AirPI [19] es un claro ejemplo de dispositivo ajeno a la *Digital Signage* que puede incorporarse en la red DS ya descrita. Este elemento cuenta con diversos sensores ambientales y funciona como *shield* de la plataforma *RaspberryPI* [20] en tecnología ARM. Su integración en la red DS descrita fue muy sencilla y permite obtener status en tiempo real de todos los dispositivos desplegados.



**Figura 17. Dispositivo AirPI para medir parámetros ambientales.**

En la Figura 17 se ilustra un dispositivo *AirPi* totalmente autónomo que se instala en los tótems de exterior ubicados en distintos puntos de la ciudad.



**Figura 18. Tótem de exterior instalado por STI Durango en la Feria de Durango 2014**

En la Figura 18 se muestran los tótems empleados para realizar comunicación visual mientras que las AirPI se utilizan para obtener mediciones de los parámetros ambientales. La interacción entre ambos dispositivos se produce a nivel web y la integración de los datos de todas las AirPI instaladas se efectúa a través de la red DS.

#### *Red de pantallas en el MetroBus de Ciudad de México*

En la Ciudad de México, TeleUrban está colaborando con Servicios de TI de Durango para dotar a los autobuses de *players* DS con conectividad por 3G. Los dispositivos además constan de GPS para realizar geo posicionamiento del autobús con el que poder ofrecer otros servicios. Los *players* se encuentran en un entorno de movilidad con restricciones moderadas de ancho de banda y conectividad.



**Figura 19. Autobús de la red de transporte público de la Ciudad de México**



**Figura 20. Disposición interior de las pantallas en los autobuses**

## VI. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo al proyecto No. 213823, aprobado en el “Programa de Estímulos a la Innovación PEI-682/2014

A la Universidad Tecnológica de Durango en la figura del Rector Ing. Arturo Frago Corral por su apoyo para la realización de este proyecto.

A la Universidad de Zaragoza por su contribución para la elaboración de este artículo

## REFERENCIAS

- [1] S. Paniagua, «El Internet de las cosas,» 15 abril 2012. [En línea]. Available: <http://www.sorayapaniagua.com/2012/04/15/internet-de-las-cosas-nube-datos-ipv6-y-algoritmos/>. [Último acceso: 16 noviembre 2014].
- [2] T. y. Reyes, «Internet de las cosas,» A la carta Televisión y Radio, España, 2013.
- [3] D. Evans, «Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo,» Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.
- [4] V. Turner y J. F. Gantz, «The Digital Universe of Opportunities,» de *Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things*, Framingham, MA, 2014.
- [5] International Telecommunication Union, «ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things,» Diciembre 2006. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/>. [Último acceso: 21 noviembre 2014].
- [6] D. T. Morillo-Velarde, «Cartelería Digital (Digital Signage) frente a la Difusión Selectiva (Narrowcasting),» de *Diseño y Desarrollo de un Marco para Aplicaciones de Difusión Selectiva de Contenido Multimedia*, Madrid, 2011, pp. 25-29.
- [7] J. D. de Hoz Diego, «Caracterización y planificación del tráfico en una red Digital Signage,» Zaragoza, España, 2013.
- [8] J. Jaehoon, P. Jungsoo y K. Hyoungjun, «Dynamic Tunnel Management Protocol,» *IEEE Xplore*, vol. 7, pp. 4754 - 4757, 2004.
- [9] W. Xiaoming, «A framework of enhanced local mobility routing,» *IEEE Xplore*, vol. 3, pp. 2030 - 2034, 2003.

- 
- [10] e. a. Cooper, *Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile*, 2008.
- [11] Heinanen y et al, «IETF Network Working Group, «RFC2597: Assured Forwarding PHB Group»,» junio 1999. [En línea]. Available: <http://tools.ietf.org/html/rfc2597>. [Último acceso: 20 noviembre 2014].
- [12] B. Davie y et al, «IETF Network Working Group, «RFC3246: An Expedited Forwarding PHB»,» Marzo 2002. [En línea]. Available: <http://tools.ietf.org/html/rfc3246>.. [Último acceso: 20 noviembre 2014].
- [13] « Wi-Fi Alliance, «Wi-Fi CERTIFIED™ for WMM™ - Support for Multimedia Applications with Quality of Service in Wi-Fi® Networks»,» 2 septiembre 2004. [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/wi-fi-in-your-life>. [Último acceso: 19 noviembre 2014].
- [14] O. Honda y et al, *Understanding TCP over TCP: Effects of TCP Tunneling on End-to-End Throughput and Latency*, Suita Osaka, Japan, 2005.
- [15] M. Ullholm Karlsson y M. A. Habib, *SSH over UDP*, Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2010.
- [16] M. Gates y et al, «Iperf,» [En línea]. Available: <https://iperf.fr/>. [Último acceso: 21 noviembre 2014].
- [17] Linux Foundation, «NetEm: Network Emulation,» 19 noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://www.linuxfoundation.org/collaborate/workgroups/networking/netem>. [Último acceso: 22 noviembre 2014].

# Análisis y Diseño del Software para el Control de la Acreditación de las Actividades Complementarias

M.G. Flores-Luevanos<sup>1</sup>, E. Moreno-Nuñez<sup>1</sup>, E.V.J Solorio-Vega<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México.

**Resumen**— La presente investigación se centrará en el análisis y diseño del software “Sistema de Actividades Complementarias” (SAC).

Se describe de manera general en qué consisten las actividades complementarias que se realizan en los Institutos Tecnológicos de nuestro país y en específico en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, el proceso para llevarlas a cabo y acreditarlas.

Se detalla el objetivo del SAC, el cual es: “Coadyuvar en la formación integral de los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, brindando un conjunto de herramientas que faciliten el control de la acreditación de las actividades complementarias”; se presentan los productos principales del análisis y diseño del software y se describe la metodología utilizada para su desarrollo. Al final se incluyen las conclusiones de este proceso.

**Temas claves**—Actividades Complementarias, análisis, diseño, software.

**Abstract** – this research will focus on the analysis and design of the "Complementary Activities System" (SAC) software.

It generally describes the complementary activities that take place in the Technological Institutes of our country (México) and specifically in the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, the process to carry out and accredit.

The objective of the SAC, which is detailed: "To assist in the formation of students of the Superior Technological Institute of Lerdo, providing a set of tools that facilitate the control and accreditation of complementary activities"; the main products of analysis and software design are presented and described the methodology used for development. Finally the conclusions of this process are included.

**Keywords** — Complementary activities, analysis, design, software.

## I. INTRODUCCIÓN

Las actividades complementarias son todas aquellas que realiza el estudiante de los Institutos Tecnológicos, en beneficio de su formación integral con el objetivo de complementar sus competencias profesionales. Éstas pueden ser: tutorías, actividades extraescolares, proyectos de investigación, participación en eventos académicos, productividad laboral, emprendimiento, fomento a la lectura, construcción de prototipos y desarrollo tecnológico, conservación al medio ambiente y participación en ediciones, o aquellas que defina el comité académico.

El valor curricular para el conjunto de las actividades complementarias establecidas en el plan de estudios es de 5 créditos, considerando que por cada crédito equivale a 20 horas y su cumplimiento debe ser dentro de los seis primeros semestres.

Cada una de las actividades complementarias autorizadas por el plantel, no deben de tener más de 2 créditos. En el ITSL estas actividades tienen un valor curricular de un crédito cada una.

## Fundamento Teórico

Para llevar a cabo este proyecto, se hará uso de las herramientas tecnológicas siguientes: Project, UML así mismo para el desarrollo se usarán CSS, ASP, SQL, Visual Studio: C#.

### UML

Es una herramienta para el modelamiento de software basado en los estándares UML (Unified Modeling Language) y MDA (Model Driven Architecture), actualmente es de licencia abierta GNU/GPL. Es una de las mejores alternativas gratis que hay en Internet para el modelamiento de software y probablemente una gran ayuda a la hora de programar juegos. (Schmuller, 2001).

Entre sus principales características:

Soporte completo al diseño UML mediante el uso de.

- Diagrama de casos de uso
- Diagrama de clase
- Diagrama de secuencia
- Diagrama de colaboración
- Diagrama de estados
- Diagrama de actividad.

### Microsoft Project

Project ayuda a planificar proyectos y a colaborar con otras personas fácilmente teniendo todo organizado y realizando el seguimiento de los proyectos con el único sistema de administración de proyectos diseñado para trabajar sin ningún problema con otras aplicaciones de Microsoft y servicios en la nube. (Gamboa, 2011)

### Metodología.

La metodología para el desarrollo de software es un modo sistemático de realizar, gestionar y administrar un proyecto con altas posibilidades de éxito, esta sistematización indica cómo se divide un proyecto en módulos pequeños llamados etapas y las acciones que corresponden a cada una de ellas, ayuda a definir entradas y salidas para cada una y normaliza el modo en que se administrará el proyecto.

Existen dos metodologías que tienen analogía en la práctica con los paradigmas de programación: metodología estructurada y metodología orientada a objetos.

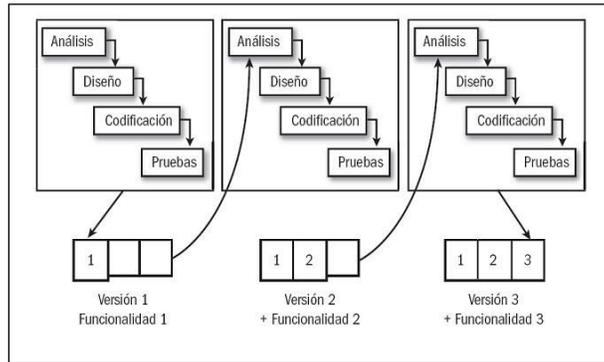
## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Metodología

La metodología propuesta para este proyecto es la orientada a objetos. Ésta consiste en armar módulos basados en componentes y cada componente es independiente del otro. Esto permite que el código sea reutilizable y es más fácil de mantener pues los cambios están localizados en cada componente. Su principal diferencia con la metodología estructurada es que ésta última comprende los procesos como funciones y cada función a realizar por el sistema se descompone en pequeños módulos individuales y finalmente se unen las soluciones para crear la solución al problema.

La ISO (International Organization for Standardization) en su norma 12207 define al ciclo de vida de un software como un marco de referencia que contiene las actividades y las tareas involucradas en el desarrollo, la explotación y el mantenimiento de un producto software, abarcando desde la definición hasta la finalización de su uso.

Ciclo de vida propuesto: incremental.

**Figura 1 Ciclo de vida de software**

Una forma de reducir los riesgos es construir solo una parte del sistema, reservando otros aspectos para niveles posteriores; el desarrollo incremental es el proceso de construcción siempre incrementando subconjuntos de requerimientos del sistema.

En este modelo se desarrolla el sistema para satisfacer un subconjunto de requisitos especificados y en posteriores versiones se incrementa el sistema con nuevas funcionalidades que satisfagan más requisitos.

#### **Características.**

Combina elementos del modelo de cascada con la filosofía interactiva de construcción de prototipos.

- ✓ Cada secuencia lineal produce un producto operacional con cada incremento de la misma forma que progresa el tiempo en el calendario.
- ✓ El primer incremento es a menudo el núcleo.
- ✓ Como un resultado de evaluación y/o utilización se desarrolla un plan para el incremento siguiente, este proceso se repite hasta llegar al producto completo.
- ✓ Este modelo es particularmente útil cuando la dotación de personal no es suficiente para una implementación completa.
- ✓ Los primeros incrementos se pueden implementar con menos recursos.
- ✓ Si es muy riesgoso desarrollar el sistema completo de una sola vez, entonces debería considerar este modelo.

#### **Ventajas.**

- Construir un sistema pequeño es siempre menos riesgoso que construir un sistema grande.
- Al ir desarrollando parte de las funcionalidades, es más fácil determinar si los requerimientos planeados para los niveles subsiguientes son correctos.
- Si un error importante es realizado, sólo la última iteración necesita ser descartada y utilizar el incremento previo.

#### **Desventajas.**

- Se presupone que todos los requisitos se han definido al inicio.
  - Se requiere de una experiencia importante para definir los incrementos de forma de distribuir en ellos las tareas en forma proporcional.
  - Si el sistema a desarrollar es de gran magnitud y se cuenta con un único grupo para construirlo se corre el riesgo que el desarrollo se prolongue demasiado en tiempo.

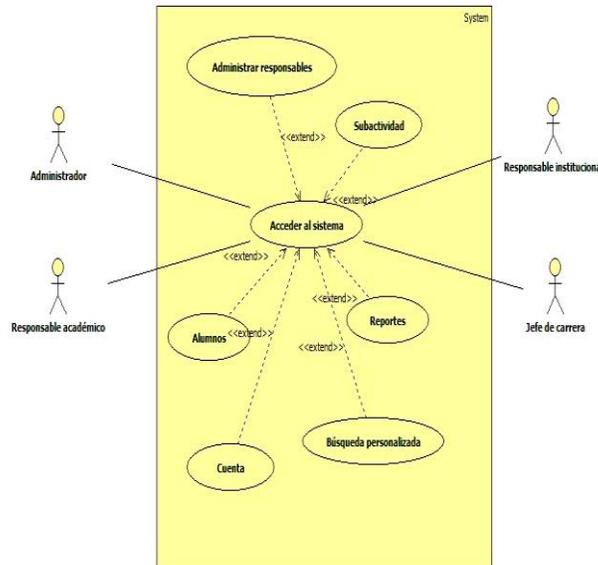
*B. Especificación de requisitos según el estándar de IEEE 830.*

Después de la recopilación y verificación de los requisitos, éstos se detallan en un documento, el que ha sido elaborado en colaboración con las profesoras responsables del proyecto de desarrollo del software mencionado.

Esta especificación se ha estructurado basada en las directrices dadas por la última versión del estándar “IEEE Recommended Practice for Software Requirement Especifications (ANSI/IEEE) 830-1998”

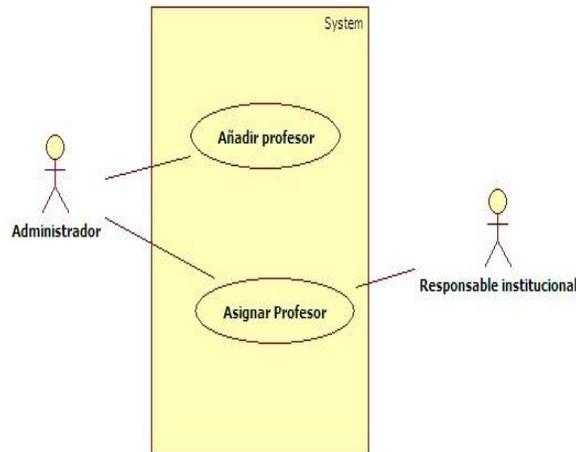
*C. Análisis orientado a objetos.*

En esta fase se crearon diagramas de casos de uso, de clases, descripciones de escenarios, diagramas de proceso y de actividades, de secuencia, entre otros. A continuación se presentan los diagramas de caso de uso.



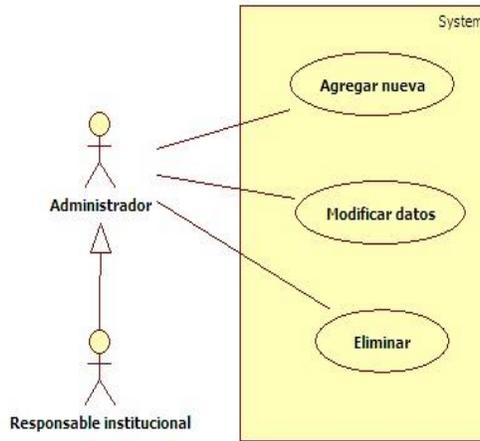
**Figura 2 Casos de uso Acceder al Sistema**

El sistema le solicita al usuario su número de checador y su contraseña de acceso.



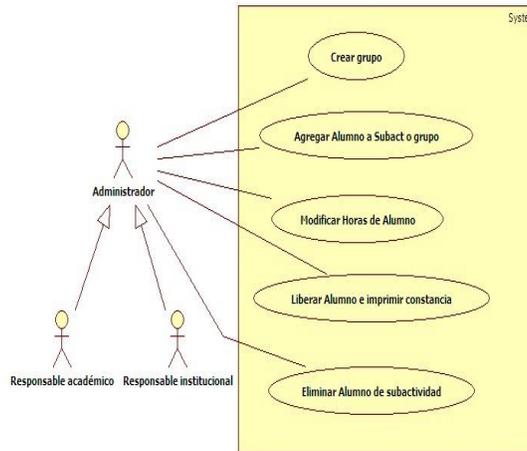
**Figura 3 Casos de uso módulo asignar responsables**

El sistema solicita al interesado el número de empleado del profesor responsable, el nombre de la actividad complementaria y el nombre de la sub-actividad a las cuales se les asignarán.

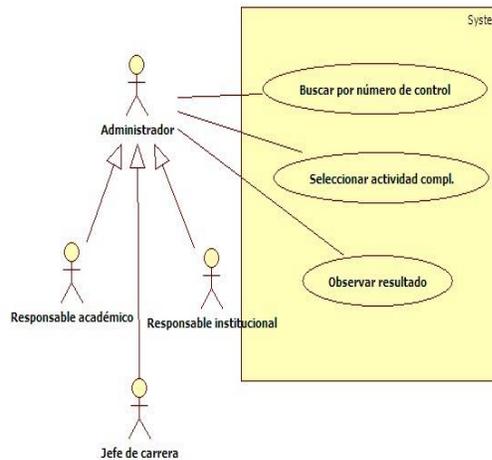


**Figura 4 Casos de uso Módulo Subactividad**

El sistema le solicita al interesado el nombre de la sub-actividad complementaria.



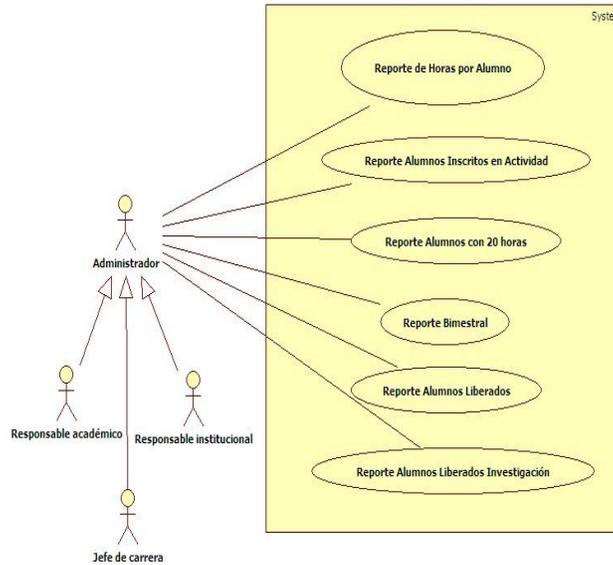
**Figura 5 Casos de uso Módulo Alumnos**



**Figura 6 Casos de uso Módulo Búsqueda**

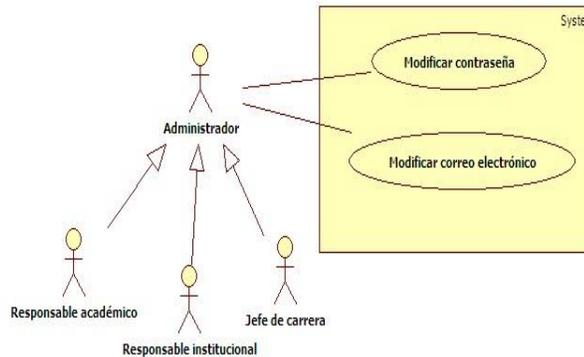
El sistema le solicita al interesado el número de control del alumno y el nombre del grupo de la sub-actividad complementaria.

El sistema le solicita al responsable institucional o académico el número de control del alumno y le solicita que elija el nombre de la actividad complementaria



**Figura 7 Casos de uso Módulo Reportes**

El sistema permite generar diferentes reportes para un mejor control de las actividades complementarias.



**Figura 8 Casos de uso Módulo Reportes**

Modelado de clases

Mediante el Diagrama de Clases de la Figura 9 mostramos la estructura principal del Sistema.

Diagrama de clases

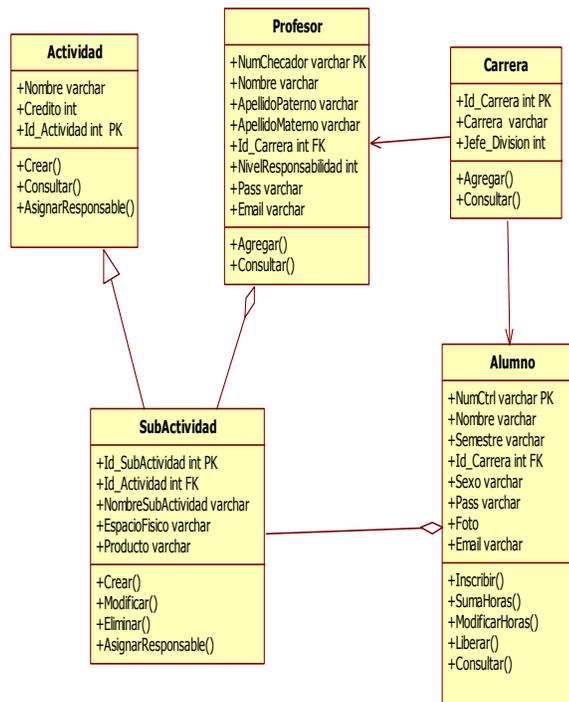


Figura 9 Diagrama de Clases del Sistema

Modelo Relacional

Mediante el Modelo Relacional mostrado en la figura 10 podemos visualizar la forma en que se almacenará y relacionará la información manejada por el sistema.

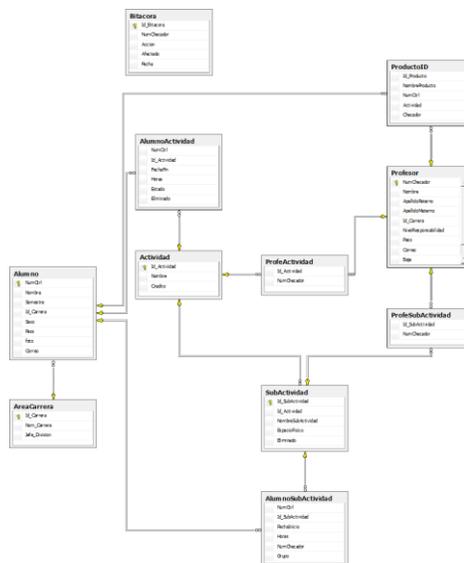


Figura 10 Esquema Relacional de la Base de Datos

Diccionario de Datos de las Tablas principales.

Mediante el Diccionario de datos, podemos enlistar las características lógicas de los datos que vamos a utilizar en el sistema, tales como nombre, descripción, contenido. En la figura 11 mostramos el diccionario de datos de las tres tablas principales del sistema a desarrollar

Tabla		Actividad						
columna	tipo	EsNulo	EsAutonumerico	EsUnico	EsPrimaryKey	descripción	max_length	precisión
Id_Actividad	int	FALSO	VERDADERO	Verdadero	VERDADERO	NULL	4	10
Nombre	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	30	0
Crédito	int	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	4	10

Tabla		Alumno						
columna	tipo	EsNulo	EsAutonumerico	EsUnico	EsPrimaryKey	descripción	max_length	precisión
NumCtrl	varchar	FALSO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	50	0
Nombre	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	70	0
Semestre	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	2	0
Id_Carrera	int	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	4	10
Sexo	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	1	0
Pass	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	30	0
Foto	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	50	0
Correo	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	50	0

Tabla		SubActividad						
Columna	tipo	EsNulo	EsAutonumerico	EsUnico	EsPrimaryKey	descripción	max_length	precisión
Id_SubActividad	int	FALSO	VERDADERO	Verdadero	VERDADERO	NULL	4	10
Id_Actividad	int	FALSO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	4	10
NombreSubActividad	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	50	0
EspacioFisico	varchar	VERDADERO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	30	0
Eliminado	varchar	FALSO	FALSO	Verdadero	VERDADERO	NULL	2	0

**Figura 11 Diccionario de datos de tablas principales del Sistema (Coronel, 2011)**

**Conclusiones**

El proyecto a realizar contribuirá de manera importante al control de la acreditación de las actividades complementarias realizadas por los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

Dado que se realizó un análisis detallado de los requerimientos y las necesidades que se quieren satisfacer, es posible realizar este sistema con el mínimo riesgo de cambios durante su desarrollo.

**III. AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento es para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por su apoyo a este proyecto.

**REFERENCIAS**

- [1] Coronel, C., Morris, S., & Rob, P. (2011). *Base de Datos, Diseño, Implementación y Administración*. México, DF: Cengage Learning Editores, S.A.
- [2] Gamboa, F. G. (2011). *Microsoft Project 2010: Microsoft Project 2010*. Microsoft.
- [3] Microsoft. (2010). *Microsoft Project 2010: guía interactiva de la correspondencia entre los menus y la cinta de opciones*
- [4] Pressman, R. S. (1993). *Ingeniería del Software Un Enfoque Práctico*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- [5] Schmuller, J. (2001.). *Aprendiendo UML en 24 horas*. Prentice Hall.

# Configuración de un esquema de autenticación y validación de documentos electrónicos mediante una autoridad certificadora

*J. R. González-Cadena, R. E. Telona-Torr<sup>2</sup>, E. Y. Honorato-Rodríguez, J. S. Rodríguez-Aguirre*

Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla, Carretera Costera del Golfo KM 140+100, San Andrés Tuxtla, C.P. 95804, Veracruz, México.

**Resumen**—Hoy en día la mayor parte de la producción de documentos se realiza por medio de herramientas informáticas (procesadores de texto,...), estos pueden ser solo documentos que contengan información general, científica, personal u oficial, así mismo estos documentos pueden ser utilizados de manera discrecional ya que la gran mayoría de ellos no cuentan con las medidas necesarias de seguridad y cualquier persona puede modificar dichos documentos.

En este contexto en el Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (ITSSAT) es necesario implementar un esquema de validación y autenticación de documentos electrónicos con la finalidad de: a) disminuir el consumo de papel en apoyo al sistema de gestión ambiental (norma ISO 14001), b) agilizar la emisión-recepción de documentos y c) la seguridad del documento.

El presente trabajo describe cómo implementar una Autoridad Certificadora que permita emitir y controlar los certificados digitales así como permitir firmar electrónicamente los documentos del ITSSAT.

**Temas clave:** documento digital, autoridad certificadora certificado digital.

**Abstract-** Today most of the production of documents is performed by means of software tools (word processors, ...), these can be only documents containing general scientific, personal or official information, also these documents can be used in a discretionary manner and that the vast majority of them do not have the necessary security measures and anyone can modify these documents.

In this context Superior Technological Institute of San Andrés Tuxtla (ITSSAT) is necessary to implement a schema validation and authentication of electronic documents in order to: a) reduce the consumption of paper in support of the environmental management system (ISO 14001 ) b) expedite the issuance and reception of documents c) document security

This paper describes how to implement a Certificate Authority for the originating, control digital certificates, and allow electronically sign documents ITSSAT.

**Keywords:** digital document certifying authority, digital certificate.

## I. INTRODUCCIÓN

Como sabemos, la creciente penetración de las tecnologías de la información en las empresas y en los servicios públicos ha elevado, sustancialmente, el volumen de documentación creada y transmitida por medios electrónicos.

Esta documentación, que ha sido inicialmente creada por vía electrónica, deberá permanecer en este formato durante toda su vida útil. Sucede que, en este momento, las normas de autenticación y archivo, ampliamente usadas y aceptadas para los documentos de papel, no están siendo adaptadas ni normalizadas teniendo en cuenta este nuevo tipo de documentación. Actualmente se corre el riesgo de perder, o de poder quedar inaccesibles, documentos de gran valor para las organizaciones. Es frecuente que documentos de importancia fundamental se destruyan inadvertidamente o se mezclen con una amalgama de otra información sin importancia, perdiéndose su rastro por completo.

Por lo tanto es de gran importancia el establecimiento de buenas prácticas en la gestión de los documentos electrónicos durante todo su ciclo de vida y la aplicación de requerimientos archivísticos en los organismos públicos o privados de información y gestión, tal como ocurre en el Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (ITSSAT).

Debido a la gran demanda en la expedición de documentos válidos en el ITSSAT, en materia de fiscalización o verificación irrevocable y autenticación, se ha llegado a la necesidad de desarrollar entidades certificadoras propias, para el uso adecuado de los documentos imprimibles, ligado al control de la seguridad y legitimidad de los derechos de autoría. Evitando así la falsificación de documentos.

Se realizó un esquema para la emisión de certificados digitales y poniendo en evidencia la validación de las Autoridades Certificadoras, a través de llaves privadas y el firmado de los documentos a prueba.

Para ello se configuraron las herramientas necesarias (OpenSSL y PHP) las cuales servirán para el desarrollo de una aplicación Web sencilla, que consulta la validación y contenido de los certificados digitales de los documentos emitidos solamente en el Área Académica del ITSSAT ya que es el área donde se

El proceso de certificación de firma trae consigo ciertos procedimientos establecidos por entes encargados de la prestación de este tipo de servicios, enmarcados en requisitos (tecnológicos, económico- financiero, legal y de auditoría) que deberán cumplir las instituciones interesada en la incorporación y utilización de la firma electrónica, abarcando una serie de etapas debidamente estudiadas, que garanticen la total eficiencia del empleo de estas herramientas.

Todo esto da una visión general de que el empleo de este tipo de instrumentos tecnológicos genera ventajas significativas y mejoras a largo plazo en las organizaciones, originando mayor competitividad en sus operaciones, permitiendo la agilización y mejora de sus procesos tanto interno como externo, es decir, que las mismas, a la hora de ser ejecutada aseguren la privacidad de la información.

El ITSSAT forma parte de las organizaciones que se unen a la idea de implementar cambios tecnológicos que contribuyan a mejorar los servicios y garantizar la calidad de los mismos para satisfacer las necesidades de la comunidad tecnológica. De tal manera, que el uso de estas TIC's (Tecnologías de Información y Comunicación) cambiarán la forma en que se gestionan estas transacciones dentro de la institución, originando así, la instauración de una nueva cultura en el manejo de documentación, en cuanto al uso, alcance y efecto de la implementación de estos medios electrónicos en los procesos de gestión administrativas. Formando nuevos escenarios tecnológicos y sociales que constituye una oportunidad única para que la institución impulse múltiples actuaciones a fin de modernizar su actividad de gestión, lo que representa un gran desafío para adaptarse a las enormes posibilidades que ofrece la tecnología a la hora de prestar mejores servicios de una forma más eficaz y eficiente.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### *D. Metodología.*

La investigación parte del estudio de los hechos sobre la situación actual de firmado de los documentos en el ITSSAT con el fin de determinar las necesidades presentes y conocer la forma en que la misma lleva sus procesos administrativos en sus distintas áreas. Además de la indagación tanto en el aspecto jurídico, técnico, así como de funcionalidad y operatividad de los procesos de certificación presentes actualmente en materia de certificación electrónica, correspondientes a las instituciones encargadas de promover e impulsar este tipo de herramientas (firma electrónica).

En este trabajo para la selección de la población se consideró solamente al Área Académica del ITSSAT. Para así delimitar el ámbito de la investigación, se tomó como muestra representativa a todos los jefes de carrera del instituto para el estudio, la cual está integrada por 8 personas. Simbolizando una muestra representativa para el análisis.

Para efecto de este proyecto las técnicas empleadas para la recopilación de información basada en el logro del objetivo trazado en esta investigación y siguiendo ciertos esquemas en cuanto a técnicas existentes para la obtención de datos del entorno bajo estudio, fueron: la observación directa, la revisión bibliográfica, la encuesta y la entrevista no estructurada. Todas ellas enfocadas en la obtención de los datos más importantes y fundamentales para la investigación.

La metodología aplicada para el modelo fue la del método *GRAY WATCH* el cual describe los procesos técnicos gerenciales y de soporte que deben emplear los equipos de trabajo, que deberá ser instanciado, es decir, adaptado cada vez que se aplique. El mismo se centró en las etapas de Modelado de Negocios e Ingeniería de Requisitos del cuerpo del Modelo de Proceso Técnicos, así como la generación de los productos asociados al cuerpo del Modelo de Producto y los procesos de gestión, verificación, configuración y calidad del cuerpo del Modelo de Apoyo del respectivo método. A continuación se hace una descripción de las etapas de la metodología operativa utilizada:

*Etapa I: Estudio del Negocio.*

En esta etapa se llevó a cabo las dos primeras fases de la metodología utilizada (**Fase I, Gestión y Fase II, Soporte**), centrada en una serie de procesos que se ejecutaron a todo lo largo de la investigación, gestionando así el aseguramiento de calidad del producto, y el control de los cambios que modifican al mismo. Se realizó un estudio sobre la firma electrónica, con el fin de obtener información necesaria sobre su manejo.

De igual forma se investigó sobre las instituciones que actualmente están al servicio del desarrollo de estas nuevas tecnologías de información, además de determinar los fundamentos que esta herramienta (firma electrónica) ofrece a las organizaciones que deseen incorporarla en sus operaciones administrativas. Así como los beneficios, que la misma pueda generar para quienes la empleen.

*Etapa II: Requisitos del Modelo.*

Aquí se desarrolló parte de la tercera fase de la metodología, denominada *Análisis*, estructurado de acuerdo a las interrelaciones y productos que se obtuvieron durante la investigación. Lo primero fue definir los procesos y funciones involucradas para la generación de la firma, así como los componentes físicos necesarios, considerados en cuanto a tecnología, mediante un estudio de las herramientas presentes en el mercado para así poder generar las especificaciones necesarias para la construcción del modelo. Durante esta etapa (requisito del modelo) se evaluaron las características y funcionalidades del modelo en cuanto a la aplicación requerida para la autenticación del documento. Los productos generados se enmarcaron en: Documento de requisito del modelo y unas especificaciones generales donde se describieron las propiedades de la aplicación a utilizar para su futura implementación.

*Etapa III: Diseño del Modelo.*

En esta etapa se completó la tercera fase de la metodología, donde se definieron e integraron todos los componentes, procesos requeridos para la configuración de la autoridad certificadora de firma digital.

• *Elementos del documento firmado.*

Los documentos firmados digitalmente constan de 4 elementos en la firma, seleccionados para garantizar la autenticidad del documento. Estos elementos son:

**La cadena original** es la secuencia de datos formada con la información contenida dentro del documento electrónico. Toda la cadena original se encuentra expresada en el formato de codificación UTF-8.

La secuencia de formación está conformada por los siguientes datos y en el orden en el que aparecen: a) Código del documento, b) Sello digital y c) Fecha de emisión del documento.

**Sello digital**, toda cadena original es sellada digitalmente, para eso se aplica el algoritmo de encriptación de base de 64 y está compuesto por: a) Folio del documento, b) Propietario del certificado emisor y c) Propietario del certificado receptor.

**Sello institucional**, es la secuencia de caracteres que identifica a la institución donde se emiten los certificados y está compuesta por: a) Propietario del certificado de la autoridad certificadora.

**Código QR**, código de barras bidimensional que contiene información encriptado en una serie de cuadros y que es decodificada por un lector de códigos QR y contiene: a) Sello digital.

- *Requerimientos de hardware y software:*

Servidor con Linux, Apache, PHP, Adobe Acrobat, Qrencode y OpenSSL.

- *B. Configuración de la autoridad certificadora.*

Para poder configurar la autoridad certificadora en nuestro directorio necesitamos tener los siguientes directorios: certs, csr, crl, certs y private. Pero también vamos a requerir dos archivos con el nombre de serial, crlnumber y para finalizar un archivo de texto index.txt.

Descripción de directorios y archivos:

- **newcerts:** directorio para contener los nuevos certificados emitidos.
- **private:** directorio que contiene el fichero cakey.key.
- **serial:** archivo que contiene el número de serie de certificados.
- **crlnumber:** archivo que contiene el número de serie de certificados revocados.
- **certs:** directorio para contener certificados.
- **csr:** directorio para contener los archivos de solicitud de certificados.
- **crl:** directorio para contener certificados revocados.
- **index.txt:** archivo con el índice de certificados firmados.

- *Creación de la autoridad certificadora.*

Para la creación de una Autoridad Certificadora se debe crear una llave privada y un certificado firmado por la misma llave. Una Autoridad Certificadora firma todos los certificados que son generados y asignados a los diversos departamentos o usuarios que conforman una empresa, estos certificados son firmados por la misma autoridad y hacen que tengan una validez mientras estos no expiren o sean revocados.

- *Comando para la creación de la autoridad certificadora.*

```
openssl req -config openssl.cnf -new -x509 -extensions v3_ca -keyout private/ca.key -out certs/ca.crt -  
days 3650  
password: auitssat
```

- *Creación de certificados digitales (ejemplo: División Ingeniería en Informática)*

Primer paso generar la llave privada del certificado, la cual sirve para descifrar el contenido del certificado a generar:

```
openssl genrsa -des3 -out private/DivInf.key 1024 password: inf7div
```

Después se debe realizar una petición de un certificado usando la llave que se ha creado anteriormente:

```
openssl req -new -key private/DivInf.key -out csr/DivInf.csr password: inf7div
```

- *Petición de un certificado usando la llave anterior.*

En la generación de la solicitud del certificado se especifica la llave con la cual se asocia así como el nombre de la solicitud que se envía, si se desea una cantidad específica de días de vida del certificado solo es necesario agregar el comando `-days` seguido del número de días, ya que el número de días de un certificado por default es de 365.

La solicitud consta de algunos datos que corresponden al solicitante; el código del país al que pertenece el solicitante, el nombre del estado o la provincia, el nombre de la ciudad, el nombre de la compañía, el nombre del departamento o área que está solicitando el certificado, el nombre del servidor en caso de que tenga disponible una red o bien el nombre del encargado del departamento o área y un correo electrónico de ese mismo departamento.

- *Firmado de una solicitud de un certificado.*

Y en el último paso, la Autoridad Certificadora debe firmar la solicitud realizada por algún cliente que

requiere de un certificado digital para su correspondiente firmado de documentos.

```
openssl ca -config openssl.cnf -in csr/DivInf.csr
```

En este caso va a pedir el password de ca.key que es: auitssat

Para el firmado de la solicitud solamente se usa el archivo de solicitud y se accede al archivo de configuración de OpenSSL ya que en él se encuentran guardados la ubicación y el nombre tanto de la llave privada como del certificado de la Autoridad Certificadora. Al preguntar si se desea firmar la respuesta debe ser sí.

Para comprobar que el certificado se ha creado es necesario ingresar a la carpeta *newcerts*, en ella se encuentra el archivo con el número de serial y la extensión *.pem*

Una vez creado los certificados estos deberán ser enviados al personal que va a hacer uso de ellos, para ello se debe entregar la llave privada y su correspondiente certificado. El certificado debe cambiar de ubicación con un nombre que sea fácil de identificar y en formato *.crt* ya que esta extensión es más usual en algunos navegadores cuando se requiere instalar el certificado.

- *Instalación de los certificados digitales.*

Para el sellado electrónico es necesaria la instalación del certificado digital en el equipo de cómputo del personal encargado de emitir los documentos. El certificado emitido es recomendable instalarlo en formato p12, ya que él contiene tanto la llave privada con la que se firman los documentos como la llave pública con la cual firma los datos del certificado.

- *Generar el sello de la institución.*

Para que un departamento pueda emitir un documento firmado digitalmente la Autoridad Certificadora debe generar los sellos según el número de peticiones que solicite la entidad emisora.

Un documento digital firmado debe contener una cadena original, un sello digital, y el sello de la institución. La cadena original se compone del código del documento, el sello digital y la fecha de emisión del documento.

El sello digital está compuesto por el número de folio de cada documento, el cual es asignado por la misma Autoridad Certificadora, los datos del emisor y los datos del receptor. El sello de la institución se conforma de los datos propios de la Autoridad Certificadora.

Una vez que se cuenta con el archivo SelloITSSAT con la información, se va proceder aplicarle un método de encriptación basado en md5, este permite cifrar la información a código binario, al final se genera otro archivo de texto con el código generado.

```
openssl dgst -md5 -sign private/ca.key -out firmas/SelloITSSATmd5.txt firmas/SelloITSSAT.txt
```

- *Generar el sello digital y la cadena original.*

Para crear un sello digital se tiene que realizar la consulta de los propietarios tanto de emisor como de receptor y copiarlos dentro de un archivo de texto anexando el número de folio asignado por la misma Autoridad Certificadora.

```
openssl x509 -in certs/AreaAca.crt -noout -subject openssl x509 -in certs/DivInf.crt -noout -subject
```

- *Creación del código QR.*

El Código QR se usó en el sellado del documento dentro de la institución es con la finalidad de contar con una alternativa más de protección de la información que se envía, a través de la representación de una imagen en donde incluye el sellado digital.

Para poder realizar el código QR hay que instalar Qrcode y siendo este un software libre, puede distribuirse y/o modificarse bajo los términos de la Licencia Pública General GNU.

El comando cuenta con parámetros que hace que se genere el código QR, en el caso de *qrencode* se colocara para poder entrar al programa y que pueda reconocer los otros parámetros, el *-o* (corresponde a output) y se coloca porque es la salida del archivo de ahí va el nombre del archivo con la extensión

- *Proceso de revocación de certificados digitales.*

La revocación de un certificado es cuando este expira la validez de un certificado, esto se puede presentar por varias razones como lo es: el robo de la llave privada, uso incorrecto del certificado, cambio del personal encargado de firmar los documentos en algún departamento, cambio de políticas dentro de la institución o por la actualización de la Autoridad Certificadora.

```
openssl ca -config openssl.cnf -revoke certs/DeptoSist.crt
```

Cuando se inserta el comando de revocación del certificado y se ejecuta nos va pedir el *password* de la llave, que en este caso es de la autoridad certificadora, posteriormente nos indica que ha sido revocado el certificado y han bien nos da el número de la serie cuando fue creado.

- *Creación de una lista de revocación.*

La generación de la lista de revocación es muy importante, en ella se va almacenar la información de los certificados que han sido revocados y se actualiza cada vez que un certificado sufre el mismo cambio.

Comando correspondiente para la creación de la lista:

```
openssl ca -config openssl.cnf -gencrl -out crl/ca.crl
```

Tenemos que verificar que se ha creado la lista de revocación y principalmente revisar el contenido de esta lista, para ello tenemos que abrir el archivo *ca.crl*.

Con los procesos que fueron realizados el certificado ya no puede ser usado para firmar los documentos electrónicos, en dado caso que se firmara el software de verificación va mostrar que dicho documento no es válido y que ha sido emitido por una entidad desconocida.

### C. Aplicación Web para la consulta y validez del contenido de los certificados.

Una vez realizado la instalación, configuración de la Autoridad Certificadora y se hayan emitido los certificados, sellos digitales y códigos QR, mediante una aplicación Web que estará disponible en el servidor Web del ITSSAT, los usuarios podrán verificar la validez del documento como se muestra en la figura 1.

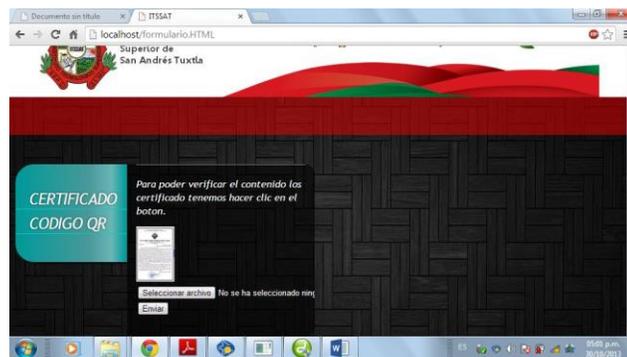


Figura 1. Aplicación Web

### III. APÉNDICE A: BENEFICIOS

La implementación de la Autoridad Certificadora es parte de la investigación denominada “**Gestión de Servicios y Documentos Electrónicos Mediante Estándares de Comunicación**”, la cual pretende ser un complemento al sistema de gestión ambiental implantado en el ITSSAT.

Mediante la implementación de esta Autoridad Certificadora, todos los documentos electrónicos que se generen se podrán firmar digitalmente, esto permitirá una disminución sustancial del consumo de papel, así como espacio de almacenamiento de esos documentos, se agilizará el flujo de documentos entre las diferentes divisiones del área académica del ITSSAT que permitirán disminuir el consumo de papel que en estimaciones realizadas, se proyecta a continuación:

A. Consumo estimado de papel en el área académica del ITSSAT.

Esta estimación está basada en el cuerpo de docentes del ITSSAT, en la Tabla 1 se muestra dichas estimaciones.

TABLA 1

Número de docentes	Paquete de hojas semestral (por docente)	Contenido de hojas por paquete	Hojas consumidas por docentes al semestre	Hojas consumidas por docentes al año
70	1	500	35000	70000

• *Consideraciones:*

- Un árbol con edad entre 10 y 14 años, produce 20 kilos de papel de calidad.
- En promedio un paquete pesa 2.5 kilos.
- En el ITSSAT se consumen al año, aproximadamente, 140 paquetes de hojas, siendo un total de 350 kilos equivalentes a 14 árboles por año.
- Para que un árbol sea considerado “maduro” para explotarlo debe crecer durante 14 años, siendo que en ese periodo se habrían consumido las hojas producidas por 196 árboles.
- En una hectárea se siembran aproximadamente entre 350 y 400 árboles, lo que se contabilizaría en la deforestación de 2.5 hectáreas.

Con la implementación de la Autoridad Certificadora, todos los documentos electrónicos que se generen se firmaran digitalmente, se garantizara la validez del mismo, además se complementarían con el uso de otras herramientas las cuales permitirán la creación de grupos de trabajo colaborativo agilizando el flujo de documentos electrónicos entre las diferentes divisiones del área académica del ITSSAT, así mismo tendrá un impacto importante a nivel ambiental como se puede observar en la Tabla 1.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla el apoyo brindado para este proyecto de investigación y para la publicación del mismo.

#### REFERENCIAS

- [1] HURTADO, J. Metodología de la Investigación Holística, (3ed.), Editorial SYPAL, Caracas, Venezuela.
- [2] ARIAS, F. El Proyecto de Investigación, (5ed.), Editorial Episteme, Caracas, Venezuela.
- [3] Montilva C., Jonas, Barrios A. Judith y Rivero A. Milagros. Método de Desarrollo de Software para Aplicaciones Empresariales. Edición 2008
- [4] ANÓNIMO, “Entidad Emisora de Certificados digitales (CA) for Servidor de Correo Exchange 2003”, en <http://es.scribd.com/doc/46041116/6/Entidad-Emisora-de-Certificados-digitales-CA>,
- [5] ANÓNIMO, “Generando Certificado de Firma Electrónica Avanzada”, en <https://www.comimsa.com.mx/portales/firma-digital/resources/MaterialDeApoyo/GenerandoCertificadoDeFirmaElectronicaAvanzada.pdf>
- [6] Enrique V. Bonet Esteban, “Creación y administración de certificados de seguridad mediante OpenSSL”, <http://informatica.uv.es/it3guia/AGR/apuntes/teoria/documentos/Certificados.pdf>,

- 
- [7] Estaban Saavedra López, Joseph Sandoval Falomici, “Gestión de Certificados Digitales con OpenSSL (2da parte)”, en <https://speakerd.s3.amazonaws.com/presentations/e038d590245b01307e0222000a9d06e0/openssl02.pdf>
- [8] Esteban Saavedra López, Joseph Sandoval Falomici, “Gestión de Certificados Digitales con OpenSSL (1ra Parte)”, en <https://speakerd.s3.amazonaws.com/presentations/91eafef0245b0130ac9c22000a9d03c4/openssl.pdf>.
- [9] Toni de la Fuente Díaz, “Usando OpenSSL en el mundo Real”, en [http://blyx.com/public/docs/security/Usando\\_OpenSSL\\_en\\_el\\_mundo\\_real.pdf](http://blyx.com/public/docs/security/Usando_OpenSSL_en_el_mundo_real.pdf).

# Sistema RFID en apoyo de invidentes y débiles visuales

C. U. Flores Prince<sup>1</sup>, D. K. Moreno López<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Torreón. Carretera Torreón-Matamoros S/N Km. 10 Ejido el Águila.

**Resumen**— Este proyecto muestra el desarrollo de un prototipo que emplea dispositivos RFID para permitir la incorporación de personas débiles visuales e invidentes en ambientes en los que actualmente no se encuentran adaptados para ellos, como son los centros comerciales, los cuales no están habilitados para que este tipo de discapacitados puedan realizar sus compras en forma autónoma. Esto se logra incorporando una aplicación a un dispositivo móvil y un detector de tarjetas RFID mediante comunicación BLUETOOTH. Todo esto instalado en una pulsera que apoyará a la persona discapacitada durante sus compras. Esta pulsera además incluye una aplicación que la comunica con el dispositivo móvil.

**Temas claves**—Bluetooth, Tarjetas RFID, App para dispositivo móvil, Invidentes y débiles visuales.

**Abstract**— This project shows the development of a prototype that uses RFID devices to let blind or partially sighted people in environments which are not adapted for them, for example malls that aren't enabled to let this people do their shopping themselves. This is achieved by incorporating an application to a mobile device and a detector RFID cards using BLUETOOTH communication. All of this is installed in a bracelet that will help the blind person for shopping. This bracelet also includes an application that communicates with the mobile dispositive.

**Keywords**— Bluetooth, RFID devices, blind or partially sighted people.

## I. INTRODUCCIÓN

Las personas invidentes o débiles visuales cuando asisten a algún centro comercial se encuentran con que no se cuenta con personal capacitado que los auxilie al realizar su compras [1], esto aun con los avances de la tecnología. De aquí nace la inquietud de desarrollar un prototipo basado en la tecnología RFID, además de incorporar aplicaciones para portátiles con sistema operativo ANDROID. Esta fácil incorporación se logra gracias a la iniciativa de empresas como GOOGLE con su plataforma de desarrollo APP INVENTOR, que facilita la realización de aplicaciones bajo esquemas de programación basados en bloques. Actualmente se están desarrollando aplicaciones en mayor medida destinadas a grupos minoritarios [2], este sistema pretende ser un auxiliar para que personas con esta discapacidad, puedan realizar sus compras en centros comerciales que cuenten con adecuación con elementos RFID, permitiendo a este tipo de comercios entrar al mundo de empresas incluyentes.

## II. DESARROLLO

La idea de desarrollar este proyecto, nace de la dificultad que tienen las personas invidentes o débiles visuales al desenvolverse como lo hace una persona usualmente dentro de un centro comercial. Ya que estos centros no cuentan con infraestructura para dar soporte a este grupo minoritario dentro de la sociedad.

### A. Componentes del prototipo.

El prototipo consta básicamente de 5 componentes:

- Tarjetas o tags RFID.

- Módulo lector de tarjetas RFID.
- Tarjeta ARDUINO NANO.
- Modulo Bluetooth.
- Aplicación en dispositivo móvil. (Celular o tableta).

A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

-Tarjeta RFID o tag mostrada en la figura 1. Emplea como se indica tecnología RFID, esta es una tecnología para la identificación de objetos a distancia, de forma confiable y rápida, sin necesidad de contacto o línea de por medio de ondas de RF que pertenece a las denominadas tecnologías de Auto-ID[3]. Consisten básicamente de 3 elementos: transpondedores de RFID o etiquetas (tags), lectores de RFID figura 2 (Modulo lector de tarjetas RFID) y el sistema de procesamiento. Los lectores emiten una señal de RF, que es captada por las etiquetas y estas responden con otra señal de RF con el código contenido en esta. Estos sistemas sustituyen actualmente a los códigos de barras, que requieren una perfecta colocación frente al captor óptico para su lectura.



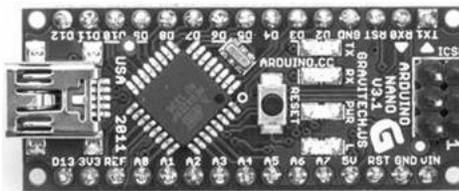
**Figura 1. Tarjeta RFID**

La tarjeta que consiste en un microchip que va adjunto a una antena de RF la cual sirve para identificar unívocamente al objeto que lo porte mediante un reader o Escáner [3].



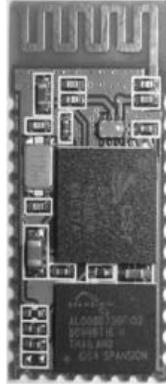
**Figura 2. Lector de tarjeta RFID**

-Tarjeta Arduino Nano que se muestra en la figura b, es una plataforma de hardware libre, que contiene un microcontrolador ATmega 328, este microcontrolador provee la facilidad de implementar comunicación serial con otros dispositivos, además de contar con terminales de entradas y salida digitales y analógicas entre otras. Su tamaño lo hace ideal para esta aplicación.



**Figura 5. Arduino NANO**

-Módulo Bluetooth HC-06, este módulo permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos electrónicos empleando este estándar través de radiofrecuencia en la banda de 2.4GHz. El módulo HC-06 ilustrado en la figura 4 utiliza el protocolo UART RS 232 serial, ideal para la comunicación entre el microcontrolador y el dispositivo móvil. Este dispositivo fue seleccionado debido a que cuenta con buen alcance, es fácil de obtener, de fácil manejo y muy económico.



**Figura 4. Módulo HC-06**

-Aplicación desarrollada para el sistema operativo ANDROID, dicha aplicación fue desarrollada mediante APPINVENTOR2. App Inventor es un entorno de desarrollo de aplicaciones para dispositivos Android, creado por el MIT (Instituto tecnológico de *Massachusetts*) y GOOGLE, el cual permite desarrollar aplicaciones mediante programación con bloques.

#### *B. Operación del Prototipo.*

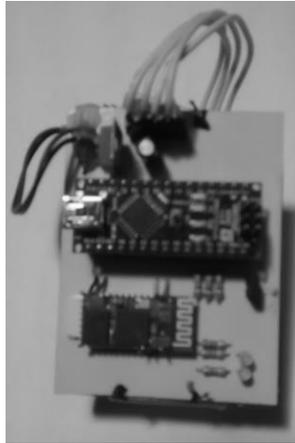
El objetivo del prototipo permitirá a los usuarios realizar las compras con ayuda mínima o nula dentro del centro comercial, ya que les facilitará la identificación de los productos que se encuentran a su alcance mediante ayuda auditiva a través del dispositivo móvil.

En la estantería del centro comercial se colocaran tarjetas RFID pasivas en todos los productos, estas tarjetas cuentan con un código único, este código será relacionado automáticamente con el nombre del producto en la aplicación. El usuario al arribar al centro comercial, se le proporcionará la pulsera que cuenta con el lector de tarjetas y demás componentes que envían el código del producto al móvil, se le solicita la descarga de la aplicación, ya que diariamente deberá ser actualizada con la base de datos de los precios.

El usuario al trasladarse por los diferentes pasillos y al acercarse a los diferentes productos, la pulsera leerá la tarjeta próxima (que se encuentre dentro del rango) transmitiendo a la aplicación en el móvil vía bluetooth el código del producto, este será decodificado en la aplicación y se reproducirá el audio, correspondiente al producto, permitiéndole identificar el producto de su preferencia y el precio del mismo, para ser agregado a su carrito, de esta forma se le daría la posibilidad de realizar sus compras de forma casi independiente, siendo este el anhelo de las personas discapacitadas.

#### *C. Implementación del Prototipo e interacción de los componentes que lo forman.*

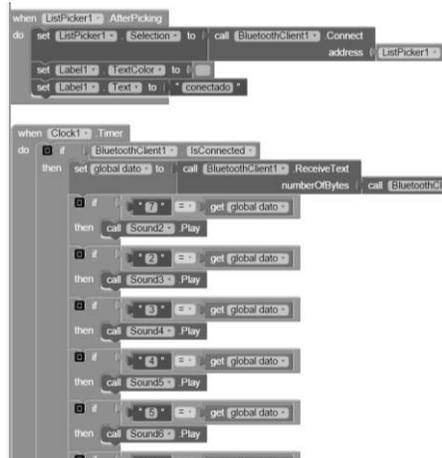
Las tarjetas RFID colocadas en el stand junto a los productos correspondientes de la tienda, al momento de identificar el producto, son leídas mediante el lector RFID ID-20 al aproximarlos mediante la colocación de la pulsera cerca de la tarjeta por el usuario, en la figura 6 y se muestra el prototipo.



**Figura 6. Circuito impreso del prototipo.**

El lector transmite en forma serial a 9600 baudios el código hexadecimal de 16 caracteres de la tarjeta. El micro controlador de la tarjeta Arduino nano recibe el código por el puerto serial, procesándolo para transmitir un número equivalente al producto identificado.

La trasmisión del número del producto se realiza de forma inalámbrica mediante el módulo HC-06, este debe ser previamente enlazado con el dispositivo móvil que se muestra en la figura 7 mediante la aplicación en el mismo, en la figura 8 se muestra un fragmento del código desarrollado en APPinventor. El número recibido por el móvil vía Bluetooth, es procesado por la aplicación para reproducir el audio correspondiente al producto, permitiendo al usuario identificar el producto frente a él.



**Figura 7. Fragmento de código en APPinventor.**



**Figura 8. Aplicación en dispositivo móvil.**

Es recomendable que los usuarios empleen auriculares. El audio es cargado al móvil al instalar la aplicación, es por esto que debe ser actualizado constantemente. La frase grabada menciona el nombre del producto, su presentación y su precio.

### **III. CONCLUSIONES**

Después de pruebas en laboratorio con 10 tags y con la participación de usuarios invidentes, se ha constatado que el prototipo cumple con las expectativas de empleo. Este prototipo fue desarrollado y probado por personal docente y participación también de alumnos de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Torreón.

Cabe destacar que este proyecto fue presentado en el concurso nacional “Leamos La Ciencia Para Todos” logrando un segundo lugar en la categoría de “Ensayo y Diseño de Prototipo”.

### **IV. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen las facilidades prestadas por los directivos de la Universidad Tecnológica de Torreón. También agradecemos a las personas que participaron durante desarrollo y pruebas del prototipo y que nos retroalimentaron para su mejora.

### **REFERENCIAS**

- [1] Sandra Sandoval. “Somos Invidentes” Revista del Consumidor Agosto 2005, pp 66 – 69.
- [2] Yoorah ju, Elisa Illescas “Aplicaciones móviles para persona con discapacidad visual” CEDITEC UPM 2015.
- [3] Valmiro José Rangel Galvis, Adrián Alberto Guerrero Taborda, “RFID, una tecnología que se está tomando el mundo” Fragua, Vol. 1, No. 3, pp. 75-88 – Febrero-julio de 2009

# Sistema de Rastreo de Vehículos de Transporte por Medio de Tecnología GPS

K.V. Rodríguez-Lozano<sup>1</sup>, N.G. Marín-Castañeda<sup>1</sup>, F.E. Rodríguez-Campos<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México.

**Resumen**— En este artículo se presentará la información referente a un sistema de rastreo de unidades vehiculares utilizando localizadores GPS y tecnología GSM. En una primera instancia se muestra la investigación sobre el funcionamiento de la tecnología GPS y la configuración e instalación de un localizador que utilice dicha tecnología. Posteriormente se describe la plataforma de software desarrollada en el lenguaje de programación C# .NET y con la tecnología WPF para recibir, interpretar, almacenar y mostrar la información recibida desde un localizador GPS a través de los mapas proporcionados por el servicio de Google Maps. Finalmente se discuten aspectos relacionados al volumen de datos recibidos y las cuestiones de seguridad relacionadas a la información manejada por el sistema.

**Temas claves**— Tecnología GPS, C#, WPF Google Maps®.

**Abstract**— this article will show information relating to a vehicle units tracking system by using GPS tracers and GSM technology. In the first instance it shows the research about the performance of GPS technology and the configuration and installation of a tracer which uses such technology. Described later the software platform in the C# .NET programming language and with WPF technology for receive, interpret, store and show the information received from a GPS tracer across the maps provided by the Google Maps® service. Finally discusses aspects related to data volume received and security issues related to information managed by the system.

**Keywords**— Tecnología GPS, C#, WPF Google Maps®.

## I. INTRODUCCIÓN

Los vehículos son un bien con un costo bastante elevado, asegurar su cuidado y buen funcionamiento durante un largo periodo de uso es sin duda una gran prioridad para cualquier propietario, pero, aun siendo esta una gran prioridad, hay cuestiones que salen de nuestro alcance. Un claro ejemplo de esto es el robo de vehículos, una situación en la cual nos vemos ante un gran problema al no poder ubicar nuestro vehículo con facilidad.

Si bien, algunos de los vehículos más actuales proporcionan mecanismo de rastreo para poder actuar ante estas situaciones, no todos los vehículos los incorporan y resulta complicado poder acceder a estos servicios.

El rastreo vehicular en tiempo real es algo que no se encuentra al alcance de todos. Los altos gastos en combustible provocados por rutas mal evaluadas, robos, desviaciones de las rutas de trabajo, accidentes, incumplimientos de políticas de trabajo son solo algunos de los muchos problemas que un sistema de rastreo vehicular puede solventar.

Un sistema de rastreo de unidades vehiculares es una herramienta de gran utilidad que ofrece información relacionada a la ubicación (latitud y longitud) de vehículos y unidades de transporte por medio del uso de tecnología GPS y GSM, además de permitir monitorear aspectos como la velocidad y eventos detectables por medio de las terminales analógicas y digitales que poseen los localizadores GPS. Dichos datos

pueden ser almacenados en una base de datos, de tal manera que estos estarán disponibles para ser consultados e interpretados por el usuario a través de mapas, animaciones y gráficos estadísticos.

El uso de este sistema en un entorno empresarial puede generar varios beneficios, ya que apoya la toma de decisiones con respecto a los sistemas de distribución y transporte de materiales y personal, por medio de datos confiables e interpretables. Por ejemplo, a través de este sistema se puede determinar que rutas presentan un gran número de incidencias que afecten directamente los tiempos de entrega de materias primas, para posteriormente determinar si es factible continuar utilizando dicha ruta o buscar otras alternativas. De esta forma, la empresa puede ahorrar costes de transporte y reducir costos.

### *GPS*

El sistema global de navegación por satélite permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

### *Sistema de Rastreo Vehicular*

El sistema de Rastreo Vehicular Automatizado (RVA), Localización Vehicular Automatizada o AVL (acrónimo de su denominación en inglés, Automatic Vehicle Location), se aplica a los sistemas de localización remota en tiempo real, basados generalmente en el uso de un GPS, GSM, Bluetooth, WiFi y un sistema de transmisión que es frecuentemente un módem inalámbrico. El sinónimo europeo es Telelocalización. Los sistemas en línea se apoyan en la transmisión inalámbrica de datos, la cual nos da como ventaja gran movilidad y nos permite tener una comunicación en tiempo real de lo que sucede en nuestro vehículo (Bluetooth, satélites, celulares, etc).

Los sistemas fuera de línea son aquellos en los que la información no es transmitida en tiempo real, es necesario utilizar un dispositivo de memoria para poder transportarla y analizarla.

En la mayoría de los casos, la localización es determinada utilizando un equipo GPS y la transmisión hacia el lugar de control es mediante tecnologías de comunicaciones como la satelital, celular o radio, utilizando un módem de transmisión ubicado en el vehículo como parte (o endosado) al dispositivo GPS.

### *Componentes de AVL*

a) Satélites GPS: Hay muchos satélites GPS orbitando el mundo entero, transmitiendo, posicionando y controlando información, cronometrando, día y noche en todas las condiciones climáticas.

b) Unidad GPS de móvil: Actualmente más vehículos incorporan dispositivos GPS para ser satelitalmente rastreados y calculada su posición, pero esta posición sólo puede ser vista localmente, habida cuenta de que el sistema puede ser usado solo parcialmente ya que no es un sistema de "llave en mano" Un sistema AVL normal podría básicamente:

- Recibir señales de satélite GPS.
- Calcular su posición, velocidad, dirección y altitud.
- Comunicarse con la Estación Base utilizando diferentes tecnologías celulares.
- Utilizar un diseño inteligente, decidir cuándo reportar datos y cómo.
- Recibir el tiempo y fecha precisos.
- Registrar históricamente, datos de rastreo y localización geográfica.

c) Red de Comunicaciones: Un transceptor celular seguro, lo cual ofrece, comunicación exacta y económica a través de la red celular, de forma que, el vehículo puede transmitir su posición y otras informaciones a la Estación Base sin errores. La comunicación transita en ambos sentidos permitiendo que la Estación Base puede chequear el estado de sus vehículos y si es necesario, enviarles nuevas instrucciones, como, por ejemplo, comandos remotos.

d) Mapas: Una de las más sobresalientes características de AVL es que puede usarse el software de la Estación Base para automáticamente desplegar la ubicación de los vehículos en un mapa geográfico real. Dependiendo del software de representación geográfica, se podrán ampliar o reducir los mapas, para lograr prácticamente cualquier nivel o detalle y pueden ser programados para hacer un seguimiento, automáticamente, de un vehículo designado.

#### *Protocolo Estándar NMEA*

El estándar NMEA 0183 ha sido desarrollado por la Nacional Marine Electronics Association para establecer comunicación de todo tipo de instrumentos marinos entre sí. Este estándar fue adoptado por todos los fabricantes de receptores GPS a fin de poder conectarlos otros instrumentos de navegación. El protocolo de intercambio está constituido por diferentes frases que se transmiten de modo que puedan ser leídas como texto. Cada frase empieza una nueva línea con el signo \$. Las dos letras siguientes determinan el origen del mensaje. Así, la frase que empieza por \$GP procede de un receptor GPS. No obstante, éstos pueden transmitir mensajes no definidos por el estándar NMEA 0183.

El contenido de dichos mensajes viene únicamente determinado por el fabricante y debe empezar por \$. Las tres siguientes letras definen el tipo de frase. He aquí algunas empleadas por los receptores GPS: \$GPRMC Demora y distancia del waypoint al que nos dirigimos. \$GPGGA Latitud y longitud de la posición geográfica actual.

#### *Google Maps®*

Google Maps® es un servicio de mapas al que puedes acceder desde un navegador web. Dependiendo de tu ubicación, podrás ver mapas básicos o personalizados e información sobre negocios locales, como su ubicación, datos de contacto e indicaciones para llegar hasta ellos en coche. Podrás ver imágenes de satélite de la ubicación elegida, ampliarlas y desplazarte por ellas. (Google Maps®, 2014).

Google Maps® dispone de un amplio conjunto de APIs que te permiten trasladar la gran funcionalidad y la utilidad diaria de Google Maps® a tu propio sitio web y a tus propias aplicaciones, así como superponer tus datos.

El API de JavaScript de Google Maps® permite insertar Google Maps® en tus páginas web. La versión 3 de esta API está especialmente diseñada para proporcionar una mayor velocidad y que se pueda aplicar más fácilmente tanto a móviles como a las aplicaciones de navegador de escritorio tradicionales.

La versión 3 del API de JavaScript de Google Maps® es un servicio disponible para cualquier sitio web que sea gratuito para el consumidor. Permite obtener rutas para distintos medios de transporte. Este objeto se comunica con el servicio de rutas del API de Google Maps®, que recibe solicitudes de rutas y devuelve los resultados calculados.

Las rutas pueden especificar los orígenes y los destinos como cadenas de texto (por ejemplo, "Chicago, IL" o "Darwin, NSW, Australia") o como valores LatLng. El servicio de rutas puede devolver rutas

segmentadas mediante una serie de hitos. Las rutas se muestran como poli líneas que trazan la ruta en un mapa, o también como una serie de descripciones textuales en un elemento de HTML.

El API de JavaScript de Google Maps® ofrece el servicio Street View que permite obtener y manipular las imágenes utilizadas en Street View de Google Maps®. Google Street View proporciona vistas panorámicas de 360 grados desde las carreteras designadas en todas las áreas donde tiene cobertura. La cobertura del API de Google Street View es la misma que la de la aplicación Google Maps®.

### *Marcadores*

Los marcadores identifican ubicaciones en el mapa. De manera predeterminada, utilizan un icono estándar, aunque puedes establecer un icono personalizado. El marcador especifica las propiedades iniciales. A continuación se indican algunos campos especialmente importantes que se suelen definir al crear un marcador.

- position (obligatorio): especifica un valor de LatLng (Latitud y Longitud) que identifica la ubicación inicial del marcador.
- map (opcional) especifica el objeto Map en el que se sitúa el marcador.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### *Programación e instalación de los localizadores GPS*

Los localizadores GPS son dispositivos electrónicos programables mediante comandos AT. A través de estas instrucciones es posible ajustar diferentes parámetros y activar funciones tales como el envío de datos de geolocalización, medición de velocidad, eventos en las entradas analógicas y digitales, etc.

En la figura 1 se muestran los comandos que fueron utilizados específicamente en este proyecto para tomar la lectura de las coordenadas de geolocalización de las unidades vehiculares cada 30 segundos, utilizando una dirección IP pública fija.

```
Comandos AT- Configuración del GPS
AT
AT&F
AT&W
AT$AREG=2
AT+CGDCONT=1,"IP","internet.itelcel.com
AT%CGPCO=1,"webgprs,webgprs2002",0
AT$MDMID="GPS1"
AT$TCPAPI=1
AT$FRIEND=1,1,"172.168.2.1",,1
AT$EVTIM1=30
AT$EVDEL=10
AT$EVENT=10,1,12,1,1
AT$EVENT=10,3,52,10,4188
```

**Figura 1 Comando AT**

Para ingresar estos comandos se conecta el localizador GPS a un extremo del cable RS-232 y el otro extremo a un puerto USB del equipo de cómputo de escritorio, siguiendo el diagrama que se muestra en la figura 2.

Pin #	User Name	Description
1	Ear (-)	Ear Phone - Note: This is an output only that is connected directly to the modem. Input voltages should not be applied.
2	Ear (+)	Ear Phone + Note: This is an output only that is connected directly to the modem. Input voltages should not be applied.
3	1-Wire	1-Wire Interface Note: Maximum voltage on this pin is 3.3 VDC.
4	ADC in #2	Analog-to-Digital Input, 0 – 32 VDC
5	ADC in #1	Analog-to-Digital Input, 0 – 32 VDC
6	Ground	System Ground
7	Ground	System Ground; Connector has longer pin for MFR.
8	Digital Input #2 (GP#)	Digital Input #2 (GP#)
9	Digital Input #1 (GP#)	Digital Input #1 (GP#)
10	RS-232 CTS	RS-232 CTS Out Note: This is an output only. Input voltages should not be applied.
11	Ignition Sense	Vehicle Ignition Sense
12	MIC (-)	Microphone - Note: Although this signal is AC (capacitively coupled to the modem, there is a 1k Ohm resistor to ground with a power rating of 0.0625 W. This limits maximum input voltage to <math>1.7</math> VDC. Designed for audio only, any other signals or voltages may damage the device.
13	MIC (+)	Microphone + Note: Although this signal is AC (capacitively coupled to the modem, the MICBIAS output from the modem has a 250 Ohm to 1k Ohm voltage divider with a 10 uF, 6.3 V capacitor connected between the two resistors and to ground. Assuming a 2.0 V MICBIAS output, this limits the maximum voltage that may be applied to the MIC input to approximately <math>1.5</math> VDC, so that the voltage rating of the capacitor is not exceeded.
14	Digital Output 1	Output, High-Current Sink, Low-Current Source, Latched (GPIO)
15	Digital Output 2	Output, High-Current Sink, Low-Current Source, Latched (GPIO)
16	Digital Output 3	Output, High-Current Sink, Low-Current Source, Latched (GPIO)
17	Power In	Vehicle Power from 12 or 24 V Vehicles
18	Power In	Vehicle Power from 12 or 24 V Vehicles
19	Digital Input #3 (GP#)	Digital Input #3 (GP#)
20	RS-232 RTN	RS-232 RTN In Note: -25 VDC to 25 VDC
21	RS-232 TX	RS-232 TX In Note: -25 VDC to 25 VDC
22	RS-232 RX	RS-232 RX Out Note: This is an output only. Input voltages should not be applied.

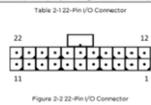


Figura 2 Configuración cable RS-232

Después de realizar la conexión, se utiliza el programa informático ExtraPuTTY, el cual sirve de interfaz entre el localizador GPS y el usuario que realiza la configuración del mismo. ExtraPuTTY muestra una pantalla parecida a la consola de línea de comandos (figura 3) del sistema Operativo Windows, a través de la cual se ingresan los comandos que fueron mostrados anteriormente. Al terminar, se desconecta el localizador y se procede a instalarlo en el vehículo que se rastreará posteriormente.

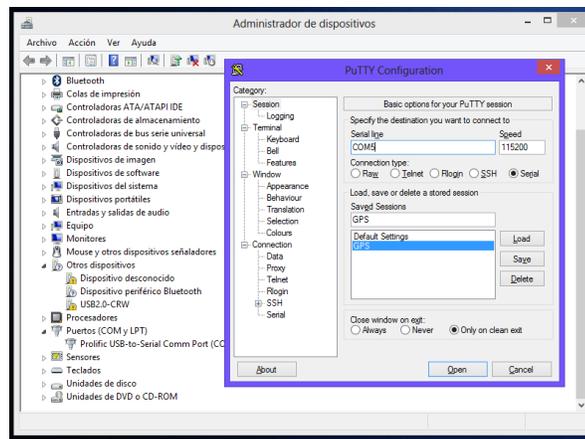


Figura 3. Programa informático ExtraPuTTY

*Creación de servicio para recepción y almacenamiento*

Los localizadores GPS envían una cadena NMEA de caracteres que contiene la información relacionada a la altitud y latitud de su ubicación, velocidad, hora y fecha, entre otros parámetros que se hayan configurado. Para este proyecto se utilizó la cadena mínima recomendada \$GPRMC. A continuación se muestra un ejemplo de la cadena recibida y la tabla de su significado.

*Ej.\$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E\*68*

Parte de la cadena	Significado
225446	Time of fix 22:54:46 UTC
A	Navigation receiver warning A = OK, V = warning
4916.4 5,N	Latitude 49 deg. 16.45 min North
12311. 12,W	Longitude 123 deg. 11.12 min West
000.5	Speed over ground, Knots
054.7	Course Made Good, True
191194	Date of fix 19 November 1994
020.3,E	Magnetic variation 20.3 deg East
*68	mandatory checksum

Tabla 1. Significado de la Cadena

Dicha cadena tiene como destino una dirección IP la cual hace referencia a una computadora que actuara como receptor de estos datos y como servidor de almacenamiento de los mismos. Para ello, es necesario que un servicio o proceso de software se mantenga en escucha, esperando recibir la información, decodificarla y almacenarla en la base de datos local.

Este servicio se desarrolló utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado Microsoft Visual Studio Ultimate 2012 en el lenguaje de programación C#.NET, bajo el paradigma de la Programación Orientada a Objetos. Fue instalado en una de las computadoras, la cual actuará como servidor almacenando la información recibida en una base de datos utilizando el gestor de base de datos SQL Server 2008.

#### *Desarrollo de la plataforma de software.*

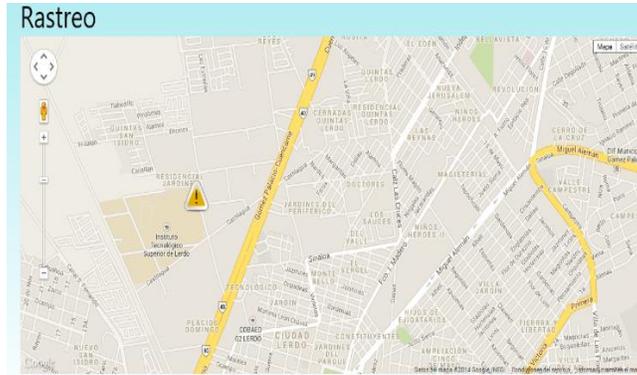
Con la finalidad de presentar la información de rastreo al usuario de una forma sencilla y clara, se diseñó y programó un sistema informático con el lenguaje de programación C#.NET y la tecnología WPF. A través del uso de la API de Google Maps, se incrustó en la interfaz principal de rastreo un mapa que permite visualizar la ruta seguida por los vehículos que tienen instalados los localizadores GPS.

#### *Resultados*

Después de aplicar los métodos descritos anteriormente, se obtuvo una plataforma de software capaz de realizar el rastreo en tiempo real de varios vehículos que tengan instalado un localizador GPS. Estos están ubicados en la parte inferior del tablero del vehículo y se conectan a la alimentación e ignición para funcionar. Esta plataforma de rastreo se encuentra dividida en diferentes módulos los cuales permiten registrar los datos relacionados a las rutas predeterminadas que deberán seguir los vehículos que serán monitoreados, para que en caso de no ser respetadas, se registren una serie de alertas en la base de datos que podrán ser consultadas por el usuario posteriormente. Además, se pueden registrar los datos de conductores y asociarlos a un vehículo, con el objetivo de establecer un mejor control de las acciones de los mismos.

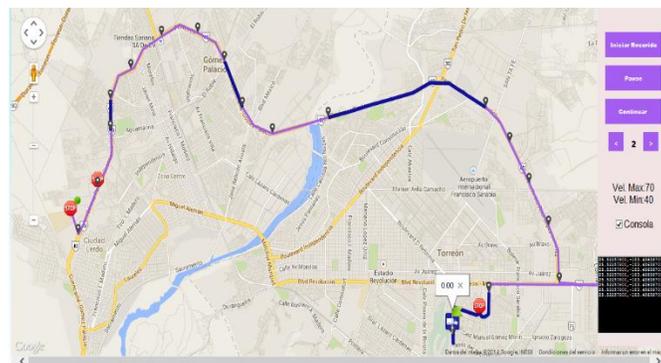
El sistema está configurado para recibir cada 30 segundos datos desde el localizador GPS, los cuales son recibidos por el servicio que está instalado en una computadora que funciona como servidor. Este proceso se encarga de interpretar la información que es recibida en formato de una cadena de texto, para posteriormente guardarla en nuestra base de datos.

Es posible realizar el rastreo en tiempo real del vehículo, el cual se visualiza a través de los mapas proporcionados de forma gratuita por el servicio de Google Maps, como se muestra en la figura 5.



**Figura 4. Visualización de Google Maps**

Debido a que todos los viajes realizados por un vehículo están almacenados en una base de datos, es posible consultar esa información y visualizarla a través de una animación en un mapa del servicio de google Maps (figura 6).



**Figura 6. Secuencia de ruta**

En este último mapa se puede observar la ruta que fue seguida por el vehículo y cada una de las alertas generadas durante su viaje. Entre estas alertas están exceso de velocidad, salirse de la ruta y parada del vehículo. Si se desea simular el viaje completo, se pueden utilizar los controles ubicados a la derecha de la pantalla (botones en color morado).

Debido a que el envío de datos desde el localizador GPS requiere usar una red de telecomunicaciones propia o rentada a un proveedor, es importante determinar el volumen de datos que estará viajando a través de dicha red. En este proyecto, se determinó que se transmiten 342 KB aproximadamente desde un solo GPS al día, lo cual equivaldría a 13MB al mes. Sin embargo, es importante mencionar que esta cantidad podría reducirse si se utilizara la codificación binaria de los datos que son enviados desde el GPS, la cual puede o no configurarse dependiendo del modelo del GPS. En este caso no se utilizó debido a la complejidad en el proceso de programación para interpretar la información utilizando esta codificación.

Otro aspecto importante a considerar al momento de implementar ese sistema es la cantidad de vehículos que se desea rastrear y monitorear. El sistema desarrollado permite administrar datos enviados desde diferentes localizadores GPS, sin embargo, la conexión de red utilizada por el servidor de datos se ha configurado como una línea dedicada para evitar que sea afectada por el resto de tráfico presente en la red local. Si la cantidad de localizadores es muy grande y la red posee una gran cantidad de tráfico, es posible que la información se pierda en un determinado tiempo, con la consecuencia de no poder ser recuperada y tener que esperar otros 30 segundos hasta recibir la información. Por tal motivo, es necesario configurar la red de cómputo local para evitar que esto suceda, estableciendo la prioridad de servicios y estableciendo una jerarquía en las conexiones a la red.

En el apartado de seguridad, esta debe considerar en dos aspectos: seguridad física del localizador GPS

y seguridad lógica de la información. En la primera debe de considerarse que el dispositivo puede ser desconectado de forma intencional por el conductor o bien por otra persona, por lo cual se recomienda instalarlo en un área no visible del tablero del vehículo o de difícil acceso. En el segundo aspecto, los peligros a los que se enfrenta la información manejada son la captura de paquetes que contienen la información de geolocalización en la red local o bien la copia no autorizada de la base de datos. Las soluciones a estos problemas podría ser aplicar medidas de seguridad a la red local para evitar que personas no autorizadas conecten sus equipos y capturen los paquetes, el uso de contraseñas en las cuentas que manejan la base datos y la encriptación de datos.

Finalmente, es importante señalar que la integridad y acceso de la información puede verse afectado si el servidor de datos se apaga repentinamente por algún daño o por no recibir energía desde el suministro eléctrico. Es recomendable en este caso determinar una ubicación para el servidor que no se vea afectada por ninguna clase de desastre natural o por cortes contantes de energía eléctrica, para lo que también puede ser necesario utilizar equipos e respaldo eléctrico como No-Breaks.

### III. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y CONACYT por el apoyo económico para realizar este trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] Alan G. *RFID: Introducción a la identificación por radiofrecuencia*. Argentina: Telectrónica.
- [2] Asociación de empresas de electrónica, tecnologías de la información y telecomunicaciones de España. *La tecnología RFID: Usos y oportunidades*. España: ©red.es
- [3] Cohen K, D & Asín L, E. (2000), *SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LOS NEGOCIOS Un enfoque para la toma de decisiones*. McGraw-Hill/ Interamericana Editores. MÉXICO.
- [4] Date C. J. (2001) *Introducción a los Sistemas de bases de datos*. Addison Wesley Longman, Inc. USA, 7ª Edición.
- [5] Syed H., & Ilyas M. (2008). *RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy*. CRC Press Taylor & Francis Group. USA.



# Incidencia de la Cultura Organizacional en la Participación de Instituciones Educativas en Certámenes de Calidad.

P.A. Valenzuela-Martínez<sup>1</sup>

Universidad Tecnológica de la Laguna Durango. Ejido Las Cuevas, Lerdo, Durango.

**Resumen--** La cultura organizacional es un factor clave en el proceso de certificación de las instituciones educativas y de su éxito al participar en certámenes de calidad. Muchas instituciones fracasan en su intento de obtener algún reconocimiento en el certamen Premio Región Lagunera Hacia la Calidad, debido a que no se considera como factor determinante a la cultura organizacional.

El presente artículo muestra los resultados obtenidos a partir de un estudio realizado en una institución de la Comarca Lagunera, donde se efectuó una evaluación de la cultura organizacional, (utilizándose el instrumento para el diagnóstico de la cultura organizacional - Diagnosing Organizational Culture de Roger Harrison que incluye 15 preguntas que evalúan a través de 4 variables nominales, los 4 tipos de cultura organizacional), que permitiera relacionar los factores culturales con las variables que llevaron al éxito de la institución en su participación en el Premio Región Lagunera Hacia La Calidad - PRLHC, y con esto poder diseñar estrategias que faciliten la implementación de modelos de calidad.

**Temas claves—** Calidad, Cultura Organizacional, Premio Región Lagunera Hacia la Calidad

**Abstract—** Organizational culture is a key factor in the process of certification of educational institutions and their success by participating in competitions quality. Many institutions fail in their attempt to get some recognition in the contest Premio Región Lagunera Hacia la Calidad, because organizational culture is not considered as a determining factor.

This paper presents the results from a study in an institution of the Region Lagunera, where an assessment of organizational culture was made, (using the instrument for the diagnosis of organizational culture - Diagnosing Organizational Culture of Roger Harrison includes 15 questions that assess through 4 nominal variables, the 4 types of organizational culture), which allow to relate cultural factors to the variables that led to the success of the institution's participation in the Premio Región Lagunera Hacia la Calidad - PRLHC, and thereby to design strategies to facilitate the implementation of quality models.

**Keywords—** Quality, Organizational Culture, Premio Región Lagunera Hacia la Calidad.

## I. INTRODUCCIÓN

Los recursos humanos son el activo más valioso con el que cuentan las organizaciones, por lo cual la satisfacción con el trabajo y el clima laboral ha adquirido gran importancia, así como la cultura organizacional.

La cultura debe ser conocida y utilizada para fines gerenciales dentro de las organizaciones, esto para fomentar la motivación y el compromiso de sus empleados con sus labores cotidianas.

Se han encontrado diferentes formas de motivar al personal, por ejemplo: el estímulo económico, tener el reconocimiento de sus jefes y compañeros, son formas de hacerlo y gracias a esto se obtiene una gran motivación.

### I.1 Cultura Organizacional

La cultura organizacional es “un sistema de símbolos compartidos y dotados de sentido que surgen de la historia y gestión de la compañía, de su contexto sociocultural y de sus factores contingentes (tecnología, tipo de industria, etc.), estos importantes símbolos se expresan en mitos, ideología y principios que se traducen en numerosos fenómenos culturales; tales como ritos, ceremonias, hábitos, glosarios, léxico, metáforas, lemas, cuentos, leyendas, arquitectura, emblemas, etcétera”.

La cultura determina la forma como funciona una empresa, ésta se refleja en las estrategias, estructuras y sistemas. Es la fuente invisible donde la visión adquiere su guía de acción. El éxito de los proyectos de transformación depende del talento y de la aptitud de la gerencia para cambiar la cultura de la organización de acuerdo a las exigencias del entorno.

#### I.1.1 Tipos de cultura organizacional

La organización de poder (cultura del poder) está basada en la inequidad en el acceso a los recursos. Un recurso puede ser cualquier persona que controle lo que otra persona quiere. En las empresas, algunas “monedas” de poder son el dinero, los privilegios, la seguridad en el trabajo, las condiciones en el trabajo y la habilidad de controlar el acceso de otros a éstos. La gente en el poder utiliza estos recursos para satisfacer o frustrar las necesidades de otros y, así, controlar su comportamiento. El liderazgo reside en la persona del jefe(s) y recae sobre él, la habilidad y voluntad de administrar recompensas y castigos. Las personas en las organizaciones de poder son motivadas por las recompensas y castigos y por el deseo de ser asociados con un líder fuerte.

La cultura de funciones sustituye a un sistema de estructuras y procedimientos para el poder simple de los líderes. Las estructuras y los sistemas dan protección a los subordinados y estabilidad a la organización. La lucha por el poder es moderada por la imposición de reglas. Las obligaciones y las recompensas de los miembros son cuidadosamente definidas, usualmente por escrito, y son objeto de un contrato implícito o explícito entre la organización y los individuos. Las personas realizan funciones específicas con el fin de recibir las recompensas definidas.

La organización de logros (cultura de logros) ha sido llamada la organización alineada porque “alinea a las personas” detrás de una visión o propósito común. Utiliza a la misión para atraer y liberar la energía personal de sus miembros en la persecución de metas comunes. La misión sirve para enfocar la energía personal de los individuos. Porque los miembros hacen contribuciones libremente en respuesta a su compromiso con un propósito compartido, están dispuestos a dar más a su organización, y todo prospera en consecuencia.

La cultura de personas podría ser definida como un clima organizacional que está basado en la confianza mutua entre el individuo y la organización. En tal organización, la gente cree que son valorados como seres humanos, y no sólo como engranes de una máquina. Una cultura de personas fomenta la calidez e incluso el amor, no sólo conduce al entusiasmo. A las personas les gusta ir a trabajar en la mañana, no sólo porque les gusta su trabajo sino porque también se preocupan por las personas con las cuales trabajan.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La participación en certámenes que evalúan la calidad de las organizaciones, puede garantizar a los clientes o consumidores que están adquiriendo un producto o servicio de calidad. Es por ello que debe promoverse la participación de las instituciones de educación superior en este tipo de eventos.

Particularmente, esta investigación, se centra en la participación de la institución educativa que fue objeto de estudio en el Premio Región Lagunera Hacia La Calidad, y se relacionan los criterios del mismo con las variables de la cultura de esta organización.

Así pues, partiendo de estas bases, la pregunta de investigación en la cual se centra este estudio es: ¿Los factores culturales de la institución educativa incidieron en la obtención del Premio Región Lagunera Hacia La Calidad?

Para la realización de este estudio se utilizó el Instrumento para el diagnóstico de la cultura organizacional (Diagnosing Organizational Culture) de Roger Harrison que incluye 15 preguntas que evalúan a través de 4 variables nominales, los 4 tipos de cultura organizacional anteriormente descritos.

El diseño de la investigación seleccionado, respecto al tipo y número de variables, fue no experimental transeccional descriptivo, ya que no se realizaron múltiples observaciones ni manipulación alguna de las variables, puesto que son estudiadas tal y como se presentan en su contexto, es decir, se mide el comportamiento de la cultura en un momento dado de tiempo.

También fue utilizado el Reporte de Retroalimentación realizado después de la evaluación que realizó el grupo de evaluadores del Premio Región Lagunera Hacia La Calidad 2007 (Ramírez 2007), para tener una base de comparación y relación entre los factores culturales y las variables del Premio.

La aplicación del cuestionario, recolección de datos y análisis de los mismos se realizaron siguiendo los pasos que a continuación se describen:

1. Selección del instrumento de diagnóstico, de acuerdo a las variables definidas.
2. Recolección de datos poblacionales del Instituto Tecnológico de la Laguna.
3. Selección del tamaño de la muestra.
4. Aplicación del cuestionario a la muestra seleccionada de personal docente, administrativo y de apoyo.
5. Procesamiento estadístico y tabulación de datos.
6. Análisis de los datos y realización de gráficas.

Con el fin de garantizar la representatividad de la muestra con respecto a la población total, se siguió el procedimiento recomendado por Sampieri (2006) para el cálculo del tamaño de la muestra, obteniéndose los resultados presentados en la tabla II.1.

**Tabla II.1 Distribución de muestral según tipo de trabajador.**

<b>Tipo de trabajador</b>	<b>Población</b>	<b>Muestra</b>
Docente	364	35
Administrativo	100	9
De apoyo	61	6
<b>Total</b>	<b>525</b>	<b>50</b>

Se eligió el instrumento de Roger Harrison y Herb Stokes “Diagnosing Organizational Culture”, el cual identifica los cuatro tipos de cultura que se definieron en el punto I.1.1, y que incluye quince ítems para evaluarlos, además de proporcionar una guía para establecer las puntuaciones.

La validez y confiabilidad de este instrumento se determinó a través de la información proporcionada por el autor del mismo, el cual calculó estos datos basado en una muestra de 231 personas de un total de 500, que van desde técnicos hasta el presidente de la compañía Fortune. La confiabilidad de las escalas (Poder,

Funciones, Logros y Personas) se calculó utilizando la fórmula de Spearman-Brown con los resultados presentados en la siguiente tabla.

**Tabla II.2 Distribución de promedios de los ítems del instrumento de evaluación.**

Ítem	Cultura de Poder	Cultura de Funciones	Cultura de Logros	Cultura de Personas
1	2.22	<b>2.76</b>	2.74	2.28
2	2.46	2.44	<b>2.68</b>	2.42
3	<b>2.74</b>	2.68	2.4	2.18
4	2.18	2.68	<b>2.98</b>	2.16
5	2.38	<b>2.86</b>	2.54	2.22
6	2.3	<b>2.7</b>	2.5	2.5
7	<b>2.84</b>	<b>2.84</b>	2.3	2.02
8	2.54	2.54	<b>2.7</b>	2.22
9	2.62	<b>2.96</b>	2.5	1.92
10	2.32	2.56	<b>2.58</b>	2.54
11	2.6	<b>2.66</b>	2.64	2.1
12	<b>2.88</b>	2.7	2.42	2
13	<b>2.86</b>	2.72	2.4	2.02
14	2.22	2.56	<b>2.9</b>	2.32
15	2.18	<b>2.72</b>	2.68	2.42
Totales	37.34	<b>40.38</b>	38.96	33.32

## II.2 Análisis de resultados

En base a los anteriores resultados se puede observar que la mayor puntuación promedio se obtuvo en la cultura de funciones, que es la que prevalece en la institución educativa según la percepción del personal.

En seguida se presenta una tabla en la cual se puede observar un resumen de las puntuaciones que obtuvo la institución en la evaluación del PRLHC.

**Tabla II.3 Puntaje obtenido por la institución educativa en la evaluación del Premio Región Lagunera Hacia la Calidad 8ª Edición.**

Criterio	Puntaje Máximo	Puntaje Obtenido	Porcentaje
1.0 Clientes	100	40	40%
2.0 Liderazgo	100	40	40%
3.0 Planeación	100	40	40%
4.0 Information y conocimiento	100	50	40%
5.0 Personal	100	73	73.33%
6.0 Process	100	30	30%
7.0 Responsabilidad Social	100	80	80%
8.0 Competitividad de la organización	300	84	28%

<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>43</b>	<b>43.73</b>
<b>000</b>	<b>7</b>	<b>%</b>	

En la anterior tabla puede observarse que los puntajes más elevados se obtuvieron en los criterios de 5.0 Personal y 7.0 Responsabilidad Social, y en la tabla 5.3 se puede observar que las puntuaciones para cada cultura son semejantes, siendo la mayor la que corresponde a la cultura de funciones. Con base a estas referencias se realizó una relación entre los criterios del Premio Región Lagunera Hacia la Calidad y los tipos de cultura organizacional en los cuales se basa el instrumento de evaluación.

**Tabla II.4. Relación de Criterios del Premio y Tipos de Cultura**

Tipo de Cultura	Preguntas del Instrumento	Criterios con los cuales se relaciona
<i>Cultura de Poder:</i> En esta cultura los miembros de la organización dependen de una fuente central de poder, cuya influencia se dispersa a partir de una figura central.	3, 7 12, 13	Liderazgo Personal
<i>Cultura de Funciones:</i> Se basa en la fortaleza de sus pilares, funciones o especialidades. Estas organizaciones están coordinadas por un grupo estrecho de alta discreción. En esta cultura, el papel o la descripción de puesto, algunas veces es más importante que la persona que lo cubre.	1, 5 6, 9 11, 15	Liderazgo Planeación Personal Procesos
<i>Cultura de Logros:</i> El énfasis radica en hacer el trabajo, pero formando grupos y equipos a fin de realizarlo. Se puede enlazar con un matriz. Lo que prevalece dentro de esta cultura es la experiencia y capacidad de hacer las cosas, en lugar de la posición dentro de la organización o del poder personal.	2, 4 8, 10 14	Personal Procesos Competitividad de la Organización
<i>Cultura de Personas:</i> Es en la que el individuo es primordial. Si la cultura tiene alguna estructura, ésta es flexible y existe sólo para servir a las personas en su interior.		Clientes* Responsabilidad Social

\* La cultura de personas tiene como prioridad al individuo y sus necesidades, ésta podría ser un área de oportunidad para el tecnológico, ya que basándose en este tipo de cultura puede desarrollar el criterio de 1.0 Clientes, que son los alumnos que estudian en el instituto y en los cuales debe basarse para modificar las estructuras y servir a las necesidades e intereses de éstos.

Las observaciones que señalan el grupo de evaluadores del PRLHC (Ramírez 2007), manifiestan que el liderazgo en el instituto es resultado de la buena comunicación entre los grupos de trabajo de la organización, lo que significa que toman en cuenta las ideas de sus trabajadores, quienes sienten que la institución es administrada en base a los sistemas y normas, y consideran que los líderes son igualitarios y democráticos, siendo esto una mezcla de la cultura de funciones y la cultura de logros.

Para los fines de este estudio, puede considerarse al liderazgo y la toma de decisiones como factores clave en la cultura del Instituto, ya que el personal se alinea detrás de una visión común y se compromete en la persecución de metas comunes (cultura de logros) además, existe un sistema bien diseñado basado en las estructuras y procedimientos (cultura de funciones), lo cual permite hacer el trabajo sin necesidad de que los puestos de más jerarquía estén presentes en cada departamento.

Igualmente, las observaciones en el reporte de retroalimentación, manifiestan que la gente del instituto es motivada a través de estímulos que reconocen su participación en las mejoras de la organización, lo cual se relaciona con la percepción que tienen las personas en la evaluación cultural. La asignación de puestos se basa en las necesidades de cada departamento, lo cual también es así percibido por los trabajadores del instituto, quienes creen que ésta se basa en los requerimientos de experiencia del trabajo a realizar.

Existe una gran motivación y energía en el personal de la institución, lo cual es resultado de la seguridad que sienten los empleados acerca de su trabajo. Las deficiencias que puede mostrar una organización con una cultura de logros, tales como la desorganización en sus estructuras, es compensada por los sistemas bien diseñados que tienen las organizaciones con cultura de funciones, esto queda en manifiesto

en el tecnológico que, nuevamente, mostró una mezcla de estas culturas para factores como la motivación, comunicación y metas de la organización.

### III. CONCLUSIONES

Es posible también concluir a partir de los resultados de esta investigación, que la institución educativa tiene una cultura de funciones, la cual se basa en los sistemas bien estructurados.

Con relación a si la cultura permite o beneficia la implementación de modelos de calidad se puede concluir que esto es posible, basados en las comparaciones realizadas entre los tipos de cultura y los criterios del premio que demuestran que la cultura de funciones logra que el personal esté comprometido con la misión y visión de una organización, lo cual facilitará que se realicen cambios estructurales o sistemáticos, y además, el trabajo en equipo permite poner en marcha sistemas basados en modelos como el ISO 9000 o el Modelo Nacional de Calidad Total.

Los puntos básicos para el éxito de la institución educativa en su participación en el Premio Región Lagunera Hacia la Calidad, considerados a partir de la evaluación de la cultura y el reporte de retroalimentación, son los siguientes:

- Un sistema bien diseñado de funciones o puestos. (Cultura de Funciones).
- El liderazgo democrático e igualitario, justo y firme. (Cultura de Poder y Cultura de Logros).
- La motivación del personal, basado en el respeto a sus responsabilidades (contrato) y en el fomento al bienestar familiar. (Cultura de Funciones).
  - Las relaciones entre los grupos de trabajo cooperativas. (Cultura de Logros).
  - La seguridad que sienten los empleados acerca de sus puestos de trabajo, así como los estímulos que reciben en base a su participación en el mejoramiento de los procesos y servicios. (Cultura de Funciones).
  - La asignación de puestos basados en la experiencia y capacidades de los empleados, identificados en la cédula de necesidades por departamentos de la misma organización. (Cultura de Funciones).
  - Contar con la certificación ISO 9000, en la cual se basan sus procesos. (Cultura de Funciones).

### IV. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de la Laguna por las facilidades otorgadas para realizar el presente proyecto.

### REFERENCIAS

- [1] Evans, R. James y Lindsay M. William (2005). Administración y control de la calidad. México. Editorial Thomson.
- [2] Harrison, Roger; Stokes, Herb (1992). Diagnosing Organizational Culture. California, Estados Unidos. Jossey-Bass/Pfeiffer.
- [3] Hernández, Sampieri Roberto; Fernández-Collado, Carlos; Baptista, Lucio Pilar (2006). Metodología de la investigación. México. Editorial Mc Graw Hill.
- [4] Ramírez Cisneros A. (2007). Reporte de Retroalimentación del Premio Región Lagunera Hacia la Calidad 8ª. Edición. Canacinfra Gomez Palacio, Dgo.

# Incubación de empresas en México

M.J. Sandoval -Luevano<sup>1</sup>, E Castro-Juarez<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N Colonia Periférico, Ciudad Lerdo, Durango.

**Resumen—** Las principales problemáticas que enfrentan las PYMES son el financiamiento, la falta de asesoría empresarial, una deficiente administración, recursos humanos no calificados, desconocimiento de mercados y tecnologías y una mala organización contribuyen a la baja competitividad de las pymes en nuestro país (Mundial, 2008). Uno de los principales actores que contribuyen en la creación y fortalecimiento del sector empresarial son las incubadoras de empresas. La incubación de empresas es un proceso de apoyo al emprendedor que acelera el desarrollo exitoso de empresas nuevas y jóvenes ofreciendo a los emprendedores una variedad de servicios y recursos enfocados. (NBIA, 2008). Las incubadoras de empresas ofrecen a los emprendedores de herramientas que le permitirán elevar su nivel de supervivencia. Actualmente en México la secretaria de economía a través del Instituto Nacional Emprendedor el programa de incubación en línea “Crea tu empresa”, mediante la cual los emprendedores se beneficiaran de capacitación, acompañamiento y apoyo económico para iniciar su negocio. La presente investigación consiste en realizar un análisis de la información teórica encontrada referente a la incubación de empresas y los programas de incubación en México que permiten fortalecer a las PYMES y con ello elevar la tasa de supervivencia de las mismas.

**Temas claves—** Incubación de empresas, Pymes.

**Abstract—** The main problems faced by SMEs are funding, lack of business advisory, poor management, human resources unskilled, lack of markets and technologies and poor organization contribute to the low competitiveness of SMEs in our country (World, 2008). One of the main actors contributing to the creation and strengthening of the corporate sector are business incubators. Business incubation is a process that supports entrepreneurs that accelerates the successful development of new businesses and young entrepreneurs offering a variety of services and focused resources. (NBIA, 2008). Business incubators provide entrepreneurs with tools that allow you to raise your level of survival. Currently in Mexico Secretary of Economy through the National Institute Entrepreneur incubation program online "Create your business", whereby entrepreneurs benefit from training, support and financial support to start your business. This research is an analysis of theoretical information found regarding business incubation and incubation programs in Mexico that allow strengthen SMEs and thus increase the survival rate thereof.

**Keywords—** Business incubation, SME.

## I. INTRODUCCIÓN

En México existen aproximadamente 4 millones 15 mil unidades empresariales, de las cuales 99.8% son PYMES (PROMEXICO, 2015), generan el 52 por ciento del Producto Interno Bruto. (Manzur, 2015), las Pymes contribuyen con siete de cada 10 empleos formales que se generan en el país, por eso es fundamental que se incrementen los programas que permitan fomentar su desarrollo, del mercado interno, mediante la creación más empresas que generen empleos, las Pymes del país constituyen tienen una gran capacidad de generar empleos y aplicar nuevas tecnologías para su desarrollo, favoreciendo así el avance de la economía nacional; a pesar de ello es importante señalar que existen factores que ponen en riesgo su estabilidad y sobrevivencia, se hace necesario fortalecer a las nuevas empresas a través de desarrollo de capacidades empresariales, la integración de diferentes mecanismos y actores del sector público y privado (Sandoval, 2015)

Las incubadoras de empresas juegan un papel importante en la economía del país, ya que cuentan con diferentes modelo de incubación los cuales integran diferentes mecanismos permiten incrementar la supervivencia y éxito de las nuevas empresas a través de desarrollo de capacidades empresariales.

En el presente artículo se analizarán los antecedentes de las incubadoras de empresas, el programa de incubación en línea "Crea tú empresa, su importancia en el apoyo al emprendedor para iniciar su negocio y brindar de herramientas que tienen como objetivo fortalecer sus capacidades e incrementar la tasa de supervivencia de las Nuevas empresas.

## II. DESARROLLO

El concepto de Incubadora de empresas dio sus primeros pasos en la década de los 50 en Silicón Valley, California, a partir de las iniciativas de la Universidad de Stanford, la cual creó un parque industrial y posteriormente, un parque tecnológico (Stanford Research Park), con el objetivo de promover la transferencia de tecnología desarrollada en la Universidad, El éxito obtenido con esa experiencia estimuló la replicación de iniciativas semejantes en otras localidades, dentro y fuera de los Estados Unidos. (Toledo, 2007)

En Europa, las incubadoras surgieron inicialmente en Inglaterra, subsidiadas por la British Steel Corporation, que estimuló la creación de pequeñas empresas en áreas relacionadas con la producción de acero. (Toledo, 2007)

La estructura de las Incubadoras actuales, se configura en la década de los setenta, en los Estados Unidos. A partir del final de esta década y principios de los ochenta, en Europa occidental. (Toledo, 2007)

La experiencia internacional del concepto Incubadora ha sido exitosamente aplicada en el todo el mundo, pero Estados Unidos es ciertamente la nación más avanzada en la creación y operación de incubadoras de empresas, según estimaciones de la Asociación Nacional de Incubadoras de Empresas (NBIA) (Toledo, 2007)

Actualmente es posible encontrar programas de incubación empresarial en prácticamente todas las principales economías del mundo, así como también en muchos países en desarrollo, como por ejemplo China, India, México, Brasil, Turquía y Polonia, entre otros. (Toledo, 2007)

El país latinoamericano más avanzado en el desarrollo de incubadoras de empresas es Brasil, que comenzó a trabajar en incubación en 1984 cuando se crearon cinco fundaciones para realizar transferencia de tecnología de las universidades al sector productivo. A fines de ese año se estableció la primera incubadora de empresas, que fue también la primera de América Latina. En 1987 se crea ANPROTEC (Asociación Nacional de Entidades Promotoras de Emprendimientos de Tecnologías Avanzadas) con el objetivo de articular el proceso de creación de incubadoras de empresas. (Toledo, 2007)

Programas de incubación de negocios están diseñados para acelerar el desarrollo exitoso de empresas de nuevas tecnologías a través de una serie de recursos y servicios de apoyo a las empresas (David A. Lewis, 2011)

En México en el año 2002 se sentaron las bases de la creación de mecanismos de creación y apoyo para PYMES, se agrupó a todos los programas y herramientas de apoyo a estas empresas en una sola subsecretaría la subsecretaría de la pequeña y mediana empresa, ya que anteriormente se encontraban dispersos por las diferentes secretarías de estado y en otras instituciones de gobierno. (Talonía, 2009), el siguiente acierto fue la clasificación y diferenciación en los planes de desarrollo de la subsecretaría la cual clasificó a las empresas en cinco categorías principales: Microempresas, las pequeñas y medianas empresas, las empresas gacelas, las empresas tractoras, y un sistema de emprendedores para la creación de nuevos proyectos empresariales, las cuales reciben cinco productos principales por parte de la subsecretaría, como son: la comercialización, el financiamiento, la capacitación y consultoría, la gestión e innovación y el desarrollo tecnológico. (Secretaría de Economía 2009) (Talonía, 2009)

En el año 2013 en México se crea el INSTITUTO NACIONAL DEL EMPRENDEDOR INADEM es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Economía, que tiene por objeto instrumentar, ejecutar y coordinar la política nacional de apoyo incluyente a emprendedores y a las micro, pequeñas y medianas empresas, impulsando su innovación, competitividad y proyección en los mercados nacional e

internacional para aumentar su contribución al desarrollo económico y bienestar social, así como coadyuvar al desarrollo de políticas que fomenten la cultura y productividad empresarial. (INADEM, 2015)

El INADEM, cuenta con una red de 195 incubadoras basicas, 24 incubadoras de alto impacto, 3 espacios de vinculación y 24 aceleradoras.

Las incubadoras basicas son centros que brinda servicios de capacitación y mentoría a los emprendedores para que elaboren su plan o modelo de negocio y los acompañan hasta la puesta en marcha de la empresa. (INADEM, 2015)

Las incubadoras de alto impacto, se caracterizan por ofrecer al emprendedor un espacio físico dotado con laboratorios, equipamiento e infraestructura para desarrollar modelos de negocio. (INADEM, 2015)

Los espacios de vinculación son un lugar de encuentro para miembros del ecosistema emprendedor, que busca crear una comunidad integrada por profesionales afines al emprendimiento. (INADEM, 2015)

Las aceleradoras, son organizaciones que impulsan el crecimiento de empresas con alto potencial a través de servicios de mentoría, innovación y gestión comercial. (INADEM, 2015)

El INADEM ofrece el programa de incubación "Crea tu empresa" es en linea, en la cual pueden incubarse todos aquellos emprendedores que deseen iniciar un negocio.

Los requisitos que debe cubrir un emprendedor son:

Contar con una idea de negocio, Una cuenta personal de correo electrónico, Conocimientos básicos de manejo de paquetería de Office e internet y Computadora con acceso a internet. (INADEM, 2015)

El proceso de incubación es gratuito, el emprendedor puede elegir incubarse por su cuenta o ser asistido por una incubadora reconocida por el INADEM.

El proceso de incubación consiste en iniciar un registro en la red de apoyo al emprendedor e inscribirse en el programa de incubación, debe decidir si continua el proceso por su cuenta o acompañada por una incubadora, parte de la red del INADEM.

El curso consiste de una serie de herramientas basicas que guiaran al emprendedor a crear un modelo de negocio, un plan financiero y un plan de puesta en marcha que le permitira sentar las bases de un negocio exitoso.

Al concluir el curso el emprendedor presentara un examen el cual debera aprobar con mas de 65 puntos y recibir un certificado de viabilidad de su negocio el cual le permitira acceder a dos opciones de apoyo, la primera es la convocatoria 2.3 en la cual podra solicitar un apoyo de \$ 40,000 a empresas de comercio y servicios y \$80,000 a empresas de industria ligera la segunda opción cursar el módulo 5 del curso, muestran al emprendedor diferentes opciones para poder acceder a fuentes de financiamiento como el Programa "Tu Primer Crédito", en el cuál el emprendedor puede obtener de \$50,000 hasta \$150,000 para iniciar su negocio.

La tasa de supervivencia de las pymes en México 8 de cada 10 nuevas empresas desaparecen en un lapso no mayor a 2 años (Enrique Jacob Rocha, 2013), esto hace necesario contar con ua guia y acompañamiento que le brinde de herramientas y desarrollo de habilidades que le permitiran tener mayor probabilidad de supervivencia.

Las incubadoras brindan a los emprendedores de acompañamiento, asesorias y consultoria que permite al emprendedor tener mas probabilidad de éxito de obtener el apoyo para arranque del negocio.

Las incubadoras ofrecen principalmente apoyo al emprendedor en tres etapas, preincubación, incubación y pos incubación. los principales servicios que ofrecen son capacitación, Mentora, Proveedores de servicios, Networking y coaching. (NBIA, 2008)

Estos servicios estan orientados a diseñar programas para dar asistencia en el desarrollo de habilidades de negocios (NBIA, 2008); se nutren con los conocimientos, especialización y experiencia en areas especificas como finanzas, mercadeo, Ventas, Administración , entre otros (NBIA, 2008) que ofrecen las incubadoras atravez de sus tutores, mentores y consultores.

Dentro de los principales servicios que ofrecen las incubadoras son los siguientes:

- Capacitación y consultoría
- Asesoramiento legal, contable y administrativa.
- Apoyo técnico-académico de carácter general
- Asesoramiento en mercadotecnia y ventas
- Consultoría especializada de acuerdo a la actividad economica de las empresas.
- Acompañamiento, asesoria para elaborar planes de negocios y su seguimiento
- Asesoramiento para la búsqueda de fuentes de financiamiento
- Vinculación a los principales actores del ecosistema emprendedor.
- Servicios de asesoria para registros de propiedad intelectual.
- Asesoria en transferencia tecnologica, entre otros.

Servicios

- Acceso a centros de computo e Internet.
- Acceso a laboratorios especializados.
- Periféricos (impresoras láser, scanner, proyector para presentaciones).
- Portal en Internet para publicación de información de las empresas incubadas.
- Renta de oficinas equipadas y uso de linea telefonica.

Asistencia secretarial.

- Salas de reuniones. Entre otros.

Como se observa las incubadoras ponen al servicio de los emprendedores su experiencia, contactos e infraestructura con el fin de captar y fortalecer las habilidades y capacidades de las empresas incubadas con el fin de increnetar su supervivencia y éxito.

### III. CONCLUSIONES.

Los programas de incubación de empresas son importantes y de gran trasendencia, su objetivo es ayudar a los emprendedores a definir sus ideas de negocio y convertirlas en modelos de negocios exitoso.

Los programas actuales de incubación y fomento de la cultura emprendedora en Mexico, son parte de una estrategia de la secretaria de economia que busca fomentar la creación de nuevas empresas que a su vez generaran empleos y con ello reactivar la economia de la región, estado y pais.

Existen diferentes tipos de incubadoras y cada una de ellas ofrece una variedad des servicios como: capacitación, vinculación , mentoría, espacios fisicos, oficinas que incluyen asistente, mobiliario acceso a internet y salas de juntas que pueden obtener a travez de una renta mensual, esto permite al emprendedor que apenas inicia con tar con sevicios de oficinas a un costo accesible y en lugares estrategicos por su ubicación y logistica interna del negocio

Cabe mencionar que los servicios de las incubadoras tiene un costo para el incubado, este costo si la incubadora es parte de la red de incubadoras reconocidos por el INADEM, es subsidiado en un 80% del costo, maximo \$5000.00 al concluir el proceso de incubación en linea, con el certificado de viabilidad del negocio.

Esto genera que algunos emprendedores opten por incubar su negocio por su cuenta, o no iniciarlo ya que consideran el costo del acompañamiento de la incubadora como un gasto y no una inversión en su negocio.

Se hace necesario reforzar las estrategias de difusión y comunicación de estos programas para que sea una participación más incluyente y representativa por estado, sector y actividad económica.

Permite mayor acceso a los emprendedores a apoyos y programas que permitirán tener

Con estos programas de incubación y promoción de emprendedurismo permitirá sentar las bases de una nueva cultura nacional emprendedora y empresarial, basada en la innovación (INADEM, 2015), se espera que estas acciones tengan un impacto positivo en el desarrollo económico, que permita una mejor calidad de vida e impulse la inserción exitosa de las MIPYMES al mercado empresarial.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

A los familiares que nos antecedieron y se nos adelantaron en el camino y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por facilitar los medios para la realización del presente artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] Arce, B. E. (21 de Marzo de 2007). Elevado índice de mortandad de pymes en México. *Elevado índice de mortandad de pymes en México*. El Economista.
- [2] Enrique Jacob Rocha. (2013). Fortalecimiento de las Empresas Mexicanas. *8° Summit de Capital Privado Emprendedor y Semilla en México*.
- [3] Financiera, N. (2000). erie Encuestas. *La empresa mexicana frente al reto de la modernización Fase I*. Mexico: Ediciones Nafin.
- [4] Fuente, R. A. (2011). *Universidad anahuac*. Obtenido de [http://ols.uas.mx/fen/gestione/Desp\\_Arts.asp?titulo=475](http://ols.uas.mx/fen/gestione/Desp_Arts.asp?titulo=475)
- [5] INADEM. (2015). *INADEM*. Obtenido de [https://www.inadem.gob.mx/templates/protostar/sectores\\_estrategicos.php](https://www.inadem.gob.mx/templates/protostar/sectores_estrategicos.php)
- [6] INEGI. (2009). *INEGI*. Obtenido de [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default\\_t.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default_t.aspx)
- [7] Manzur, M. M. (enero de 2015). *Página oficial de la secretaria de economía*. Obtenido de <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/sala-de-prensa/comunicados/6616-las-pymes-generan-siete-de-cada-10-empleos-formales-en-el-pais>
- [8] NBIA. (2008). *The Fundamental of business Incubation*.
- [9] PROMEXICO. (2015). *Página oficial PROMEXICO*. Obtenido de <http://www.promexico.gob.mx/negocios-internacionales/pymes-eslabon-fundamental-para-el-crecimiento-en-mexico.html>
- [10] Sandoval, M. (2015). *Mecanismos de Apoyo y fortalecimiento de las PYMES. CONINCI 2015*. Lerdo, Durango, Mexico.

# Evaluación de la calidad del proceso de producción en una empresa del ramo metal-mecánico

A.M. García-Rangel<sup>1</sup>, G. García-Legaspi<sup>2</sup>, R.A. Herrera-García<sup>2</sup>, L.I. Cháirez- Acosta<sup>2</sup>, M.E. Rodríguez-Torres<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ALCO Diseño y Manufactura S.A. de C.V. Gómez Palacio, Dgo.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Torreón Carretera Antigua Torreón-San Pedro Km 7.5 Torreón, Coahuila.

**Resumen**—Se presentan los resultados de un estudio para implantar la metodología cero defectos en el personal de la línea de producción de estructuras, esto monitoreado con los indicadores de Desperdicios, Retrabajos y First Pass Yield (FPY), en una empresa metal-mecánico. Las causas de la elevada cantidad de retrabajos y desperdicios, eran la deficiente comunicación, la falta de capacitación y adiestramiento y la creación de nuevos puestos o roles. El FPY, antes de implantar el control de calidad, estaba por debajo de la meta de 90% y los índices de retrabajo y desperdicio estaban por encima de la meta de 0.50 y 0.10 dólares, respectivamente. Después de implantar el control de calidad, el índice de retrabajos y de desperdicios disminuyó un 55%. Para el indicador FPY se logró la meta propuesta de 95%.

**Temas claves**— Causa-Efecto, Desperdicios, Ishikawa, Retrabajos, Seis Sigma.

**Abstract**— The following are the results of a research to establish the methodology of zero defects of the personnel of the production line of structures, with the results of scrap, rework and First Pass Yield, at a metal-mechanic company. The causes of the high values of rework and scrap were the low communication, the lack of training and the creation of new positions.

The FPY, before the establishment of the quality control, was lower than the goal of 90% and the results of rework and scrap were higher than the goal of 0.50 and 0.10 dollars, respectively. After the establishment of the quality control, the results of rework and scrap decreased a 55%. The FPY results reached the goal of 95%.

**Keywords** – Cause-Effect, Ishikawa, reworks, Six sigma, scrap,

## I. INTRODUCCIÓN

La Calidad es la herramienta básica para una propiedad inherente de cualquier producto que permite que ésta sea comparada con cualquier otro de su misma especie. La Tecnología de la Calidad se aplica en las Organizaciones, generalmente mediante una inversión significativa, para estandarizar y mejorar continuamente sus procesos, y con el objetivo de obtener productos y servicios estandarizados, uniformes, estables y confiables que satisfagan en forma continua al cliente para el cual están diseñados, y también lograr una mayor productividad, competitividad, seguridad, y globalización de las actividades, operaciones, productos y servicios, entre otros beneficios. La calidad de un producto o servicio la dicta el cliente, ya que es él quien indica qué características debe tener y cuáles de éstas son las más importantes según se satisfagan sus necesidades [1].

La aplicación de la Tecnología de la Calidad en una organización involucra un cambio cultural de la misma, fuertemente influenciado por actividades de sensibilización, capacitación y formación del recurso humano. Este cambio cultural suele ser un proceso lento, que requiere de un largo y continuado esfuerzo de toda la Organización y un Liderazgo muy importante de la Alta Dirección [2].

Existen diferentes metodologías y herramientas que se utilizan para evaluar la calidad de los productos o procesos en las empresas como son Cultura de Cero Defectos o 6 SIGMA, Manufactura Esbelta (Lean-

manufacturing), Mejora Continua (Kaizen), la Gestión de Calidad Total (TQM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM), la estandarización, el Sistema 5 S's, Justo a Tiempo, Benchmarking, Verificación del Proceso (JIDOKA), los Dispositivos para prevenir Errores (POKA YOKE), y el Control Estadístico de Procesos (SPC) los cuales se utilizan conjuntamente con el resto de las herramientas básicas de la calidad: Diagrama de Dispersión, Diagrama de Ishikawa, Histograma, Diagrama de Pareto, Estratificación y Hoja de Recogida de Datos [3].

También son importantes las Actividades de Grupos Pequeños o Círculos de Control de Calidad, ya que incrementan la participación activa del personal en la solución de problemas relacionados tanto a la calidad, como a los costos, productividad, seguridad, atención al cliente entre muchas otras, así como el Sistema de Sugerencias, y el Despliegue de las Políticas entre otras [3].

La calidad es muy importante ya que el costo de hacer los trabajos mal, retrabajar el producto, corregir los errores más frecuentes, tener muchos desperdicios y otros factores, es muy elevado. Además, elaborar productos de calidad es sinónimo de ventaja competitiva con otras empresas similares y, por lo tanto, los clientes estarán más satisfechos con el trabajo de la empresa y con el producto que están adquiriendo [4].

Al respecto diversos estudios se han realizado aplicando estas técnicas en la industria manufacturera con óptimos resultados [5]-[6].

El objetivo del estudio fue implantar la metodología “Validación del Cliente” y de cero defectos en el proceso que realiza el personal de la línea de producción, para manejar un proceso común para unificar los esfuerzos o iniciativas y mejorar la calidad de abajo hacia arriba, esto monitoreado a través de los indicadores de Desperdicios, Retrabajos y First Pass Yield (FPY), con el fin de hacer a cada empleado responsable de la calidad de su producto.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El proyecto se desarrolló en una compañía ubicada en el Parque Industrial Ferropuertos, de Torreón, Coah., del ramo industrial metal-mecánico, empresa especializada en maquinarias para la construcción. La actividad principal que se realiza en la nave de producción es la soldadura de componentes y estructuras, además, algunos de los productos se envían a la nave de pintura. Sus mayores clientes se encuentran en los Estados Unidos, principalmente en los estados de Carolina del Norte, Illinois y Missouri, que reciben las estructuras de esta empresa y de otras instalaciones para finalmente ensamblarlas y tener como resultado las maquinarias para la venta.

La empresa cuenta con 4 áreas de servicio, 18 departamentos y un aproximado de 900 trabajadores. El área en la que se realizó el estudio fue en el área de producción, específicamente en calidad. La línea de estructuras es un área de soldadura que consta de 190 m<sup>2</sup>, se trabaja con un total de 40 soldadores, 2 montacarguistas, 1 supervisor, 1 analista de calidad y 3 inspectores. La línea de estructuras trabaja un turno; en dicho turno la gente está dividida en subgrupos de subcomponentes: primero se puntean las piezas a soldar (armado inicial), después se sueldan estas partes (armado final) y se termina en detallado y calibración.

El modo que opera el área de trabajo de la línea de estructuras según el organigrama de la empresa es el Gerente de Calidad, Supervisor de Calidad, Analista de Calidad, Inspectores y Soldadores. Una de las principales funciones del Departamento de Calidad es manejar los indicadores de retrabajos, desperdicios, Partes por Millón (PPM's), y First Pass Yield (FPY). Los resultados de los indicadores se comparten con otros departamentos para aplicar mejoras en los procesos o en las áreas de trabajo y también inspeccionar los productos terminados antes de entregarlos al cliente final para ofrecerles productos 100% libres de defectos.

Los problemas que se tenían antes de implantar el control de calidad en el proceso y que requerían de acciones inmediatas eran el dar solución a los defectos que se generaban en la línea de producción retrabajando la pieza fabricada para poder recuperarla, o en caso de que no se pudiera recuperar, tirarla. Si el defecto llegó hasta el cliente, determinar lo que se tiene que hacer en seguida, ya sea reponer la pieza defectuosa, retrabajarla o simplemente eliminarla. Saber cuál de las soluciones es menos costosa. También se

requería investigar las causas de los defectos más frecuentes para determinar si son por culpa del proveedor o por cuestiones dentro del proceso de fabricación y por ende corregir los errores que ocurran en el proceso.

Durante varios años la calidad con el cliente ha estado en niveles aceptables lo cual en una empresa común sería el mejor indicador de que las cosas marchan bien, pero esto no siempre es la realidad. Existen costos internos que son reflejados en desperdicios, retrabajos y desempeño de la línea que en este estudio fue nombrado como FPY.

En años previos se comenzó a medir el desempeño de la línea de estructuras para establecer proyectos de mejora de la calidad interna. Esto con el fin de hacer más eficiente y economizar los procesos, todavía sin tomar en cuenta el factor más importante que es el recurso humano. En ese momento la administración estaba en el entendido de que generar gráficos con resultados y presentaciones a los empleados sería suficiente para mejorar los indicadores internos de la línea de estructuras. Al pasar el tiempo la calidad interna de la línea de estructuras continuaba desempeñándose en el mismo nivel que cuando se implementó la iniciativa de presentar los indicadores en una base semanal a los empleados de la línea de estructuras, lo cual no preocupaba mucho a la administración, ya que la calidad con el cliente iba mejorando aunque de manera muy lenta. Esto no tuvo un cambio hasta que se revisó detenidamente la cantidad de desperdicios y retrabajos que se tenían en el área de estructuras. Al analizar los datos más a fondo, se pudo constatar que la cantidad de desperdicios y retrabajos era muy elevada.

En resumen se consideró que la línea de estructuras necesitaba lo siguiente: un nuevo indicador de FPY para el monitoreo de los operadores e incluir a los operadores en la solución de problemas (Factor Humano).

La técnica utilizada para definir donde estaba el área de oportunidad fue a través de la metodología de 6 sigma, para lo cual se formó un grupo pequeño integrado por operadores de la línea de estructuras y de soporte y se definieron las áreas a trabajar; en la cual se identificó que la cultura de los operadores no está enfocada a la calidad en el origen, sino a la cantidad de piezas producidas y a la inspección final por parte del área de calidad [7], [8].

Para poder medir el desempeño de cada operador fue necesario utilizar como indicador de desempeño el First Pass Yield (FPY) individual, cuya meta es tener un 95% de efectividad, si se hace la equivalencia a la tabla de 6 sigma esto representa a 3 sigmas, después de mantener estos resultados sin variación, comienza la mejora continua hacia 6 sigma [3], [7].

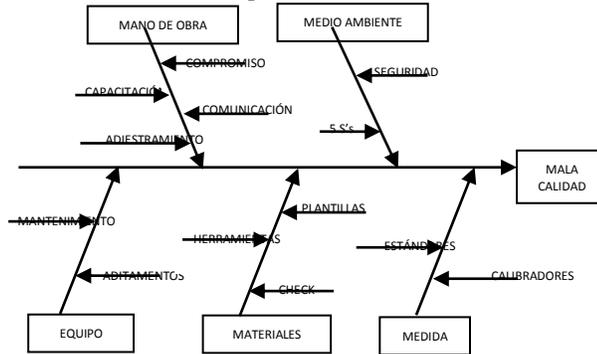
Se realizó un pre-trabajo, que consistió en el registro y el análisis de los datos de desperdicios, retrabajos y FPY, que tenía la empresa para después poder iniciar con las actividades de implantación, a partir de entonces y hasta el día de hoy, se lleva un seguimiento semanal y mensual de los indicadores para poder analizarlos y tomar las acciones necesarias en caso de que los datos estén fuera de la meta.

Las actividades antes, durante y después de la implantación de los cambios y mejoras en el proceso consistieron en determinar el alcance y carácter del proceso, seleccionar al equipo, tener comunicación previa, realizar un Checklist de 6 Sigma, después se hicieron los Diagrama de Ishikawa, de Pareto, y de Causa-Efecto, y observar, medir y analizar el proceso actual de trabajo (estado actual). Para después formular mejoras al proceso (detallar estado futuro), unificar criterios de técnicos, inspectores y supervisores, implantar los cambios propuestos, ejecutar, evaluar, verificar y detallar el nuevo estado actual. Todo lo anterior con la finalidad de establecer los nuevos procesos, hacer Reporte de Salida y como seguimiento posterior, discutir y compartir las lecciones aprendidas y hacer la comunicación posterior de los cambios, resultados y logros obtenidos

Además, se verificó que en el área de trabajo existieran las medidas de seguridad apropiadas, que se tenga implementada la metodología 5S's, que haya las herramientas y el equipo necesario para la realización de su trabajo y que cuenten con los check list para reportar los defectos y cualquier anomalía que surja. Así mismo, el trabajador debe tener la capacitación y adiestramiento adecuados para desempeñar sus labores.

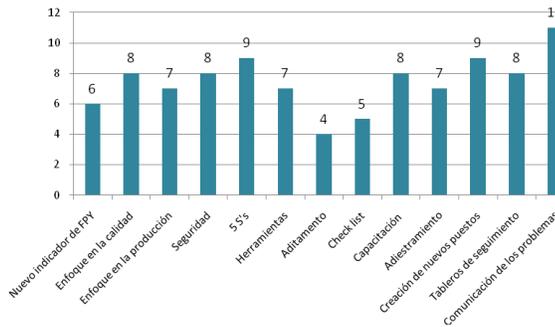
Se realizó un recorrido por la línea de estructuras para conocer las áreas de oportunidad para la mejora del proceso. Se encuestó al personal de la línea y posteriormente se efectuó una junta con los diferentes

departamentos involucrados como son calidad, procesos, diseño, entre otros. La Figura 1 es un diagrama de causa-efecto que se realizó para detectar los factores que inciden en la mala calidad del producto.



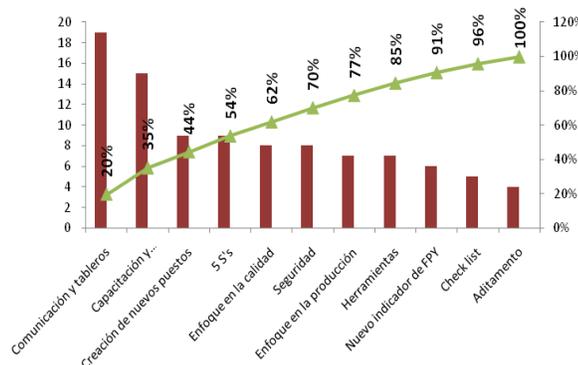
**Figura 1. Diagrama causa-efecto en la línea de estructuras.**

La Figura 2 muestra el histograma con las frecuencias obtenidas en el análisis de la línea de estructuras respecto a las causas de los retrabajos y desperdicios.



**Figura 2. Histograma de causas de retrabajos y desperdicios en la línea de estructuras.**

El Diagrama de Pareto mostrado en la Figura 3 al igual que lo observado en la Figura 2, muestra que las principales causas por las que son frecuentes los retrabajos y el desperdicio, son la deficiente comunicación, la falta de capacitación y adiestramiento y la creación de nuevos puestos o roles. Por lo tanto, es en lo que se debe poner mayor atención.



**Figura 3. Diagrama de Pareto de causas de retrabajos y desperdicios en la línea de estructuras.**

Por otra parte, las actividades que se hicieron para la implantación del proceso de control de calidad fueron la creación del puesto de líder de equipo, el cual fue el responsable de un pequeño grupo de trabajo no mayor a 10 personas para dar seguimiento a la resolución de problemas y a los indicadores individuales. Los líderes de equipo fueron motivados por la empresa con reconocimientos y bonos de desempeño, según los resultados que obtuvo el grupo de trabajo y fueron el vínculo entre el soldador y el inspector de calidad.

Se reforzó el puesto de Inspector de Calidad, cuya responsabilidad fue identificar los defectos ocasionados por el operador y en conjunto con el líder de equipo dieron retroalimentación inmediata a los operadores para prevenir los defectos.

Se capacitó a los líderes de equipo e inspectores de calidad en la cultura de cero defectos y en cómo manejar los indicadores, además de reforzar puntos básicos como especificaciones de soldadura, armado y mantenimiento de máquinas y herramientas.

Se definió el área donde colocar los tableros de seguimiento en la línea, esto para tener resultados en el momento y no esperar un mes o una semana como anteriormente se hacía y era demasiado tarde para reaccionar y hacer los ajustes requeridos.

Se definieron los gráficos a utilizar: Defectos por operador, Diagrama de Pareto de Defectos, FPY y Seguimiento a las acciones correctivas. Se estableció realizar una junta semanal en la que participen todos los empleados para la solución de problemas, liderada por el supervisor de línea, cuyo objetivo fue dar solución a los problemas que no puedan ser resueltos en la línea por los operadores y que necesiten apoyo de las áreas de soporte.

La Tabla I muestra los resultados de la línea de estructuras en el año 1 antes de implantar el control de calidad. Estos mismos indicadores se tomaron en cuenta como punto de partida para la implantación de este proyecto, ya que el porcentaje de FPY estaba por debajo de la meta de 90% para ese año y los índices de retrabajo y desperdicio (YTD) estaban por encima de la meta de 0.50 y 0.10 dólares, respectivamente.

Los resultados obtenidos después de implantar el control de calidad se muestran en la Tabla II, en donde se puede observar que el índice de retrabajos disminuyó drásticamente a 0.33 dólares en comparación con los resultados del año 1 (Tabla I) y que cuya meta para el año 2 era de 0.47 dólares.

La meta para el índice de desperdicios para el año 2 es de 0.09 dólares. En lo que va del año (mes 7) se alcanzó esta meta, por lo tanto, se debe continuar trabajando y mejorando para que los meses que restan no superen la meta establecida.

El porcentaje de FPY de la línea ha mejorado en comparación con los resultados del año 1 (Tabla I) ya que se ha logrado superar la meta del año anterior que era de 90% y se han ido alcanzando porcentajes superiores a este. En lo que va del año 2, se logró la meta propuesta de un 95%.

TABLA I.  
DATOS HISTÓRICOS DE CALIDAD DE LA LÍNEA DE ESTRUCTURAS (AÑO 1)

Línea de Estructuras (Año 1)													
Mes										0	1	2	TD
Retrabajo	.736	.616	.498	.717	.493	.536	.633	.576	.635	.494	.622	.978	.615
Desperdicio	.137	.114	.053	.134	.241	.267	.055	.143	.360	.157	.089	.365	.164
FPY (%)	9	3	8	7	5	2	4	2	2	0	9	2	5

TABLA II.  
DATOS ACTUALES DE CALIDAD DE LA LÍNEA DE ESTRUCTURAS (AÑO 2)

Línea de Estructuras (Año 2)													
Mes										0	1	2	TD
Retrabajo	.32	.56	.11	.41	.09	.19	.66						.33
Desperdicio	.20	.12	.15	.05	.06	.03	.11						.09
FPY (%)	9	1	8	6	3	7	9						5

Como resultados de la implantación del control de calidad se propuso un cambio en el organigrama incluyendo un líder de equipo ubicado entre el inspector de calidad y los soldadores, por lo que ahora se tiene más control y enfoque en la calidad ya que los empleados son monitoreados día a día en sus resultados de calidad.

Los rechazos internos son detectados de forma más efectiva con este nuevo modelo, la comunicación en la línea de producción ha mejorado en gran medida, el compromiso y ánimo de la línea se ha incrementado. Esto da como resultado que los defectos encontrados en alguna parte del proceso no lleguen a la siguiente estación de trabajo, ya que el soldador revisa su pieza y la retrabaja si se da el caso, antes de pasarla a la siguiente operación o al inspector de calidad, quien es el que finalmente la libera ya sea para embarcarla o para mandarla a la nave de pintura. Si el inspector encuentra alguna no conformidad la marca en la pieza y se la comunica al soldador responsable de ésta para que no vuelva a ocurrir y se registra en su FPY individual.

Con la nueva estructura la comunicación es más directa y los equipos de trabajo más pequeños y autodirigidos.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que el factor más poderoso para definir el rumbo de una organización es el factor humano, de ahí la necesidad de definir nuevas estrategias que involucren a los mismos, ya que con este estudio se detectó la importancia de considerar que un enfoque basado en sistemas ayuda en gran forma a definir los roles y responsabilidades dentro del proceso, así como evaluar el impacto que este tendrá a lo largo de la organización en base a las decisiones que se tomen dentro del grupo de trabajo.

Los resultados obtenidos son derivados en base a la cultura interna del grupo de trabajo que se formo, considerando lo que la administración ponía atención y tomaba acciones, la manera de comunicar las estrategias e iniciativas, y los medios de reconocimiento. El comportamiento organizacional es también clave para definir el rumbo de la implantación del proceso de control de calidad.

Se puede afirmar que invertir en el factor humano dará como resultado grandes beneficios, y en la mayoría de los casos estos resultados serán positivamente inesperados.

Por esto, se deben aplicar las herramientas de la manufactura esbelta para que el trabajador pueda desempeñar su trabajo con mayor calidad, ya que, al tener su lugar de trabajo limpio, ordenado y clasificado (5S's) no perderá tiempo en buscar las herramientas que necesita para trabajar y al estar delimitadas las áreas de trabajo, se tiene un mayor control en la prevención de accidentes.

Al tener controles visuales, el operador no tiene porque equivocarse al realizar su trabajo. Además se tienen los Poka Yoke para evitar que se coloquen componentes de una manera incorrecta; que detecten fallas en las máquinas para que puedan corregirse a tiempo para que su labor no se vea afectada, es decir, que cada trabajador haga una inspección al 100% de las piezas que produce para que las libere sin defectos.

Se propone y establece un nuevo organigrama para la línea de estructuras para poder soportar el cambio y que corresponde a incluir un Líder de equipo que estará entre la línea de soldadores y el inspector de calidad.

Para finalizar, se puede recomendar que se siga llevando un check list de los defectos que se producen para eliminarlos al 100% o que tengan una ocurrencia mínima, ya que si se deja de lado las mejoras que se han ido obteniendo con la ayuda de los gráficos del FPY, el resultado será un retroceso en los avances que ya se alcanzaron. Esto es muy importante tenerlo en cuenta, ya que la meta es satisfacer la demanda del cliente al entregarle un producto de calidad.

**REFERENCIAS**

- [1] Juran, J. y Blanton, G. (2001). *"Manual de Calidad"*. Vol I. 5ta edición. McGraw-Hill. (España).
- [2] Robbins, S.P. (2004). *"Comportamiento organizacional"*. 10 edición. Pearson educación-Prentice Hall. (México, D.F.) 704 p.
- [3] Gutiérrez, H. y Vara, R. (2009). *"Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma"*. 2a edición. McGraw-Hill. (México).
- [4] Juran, J.M. y Gryna, F.M. (1993). *"Manual de control de calidad"*. McGraw Hill. (México) pp: 10-16.
- [5] Seco A., J.; Odelín P., Y. y Araujo R., J.A. (2010). Control de Calidad en los equipos DIRAMIC Revista CENIC. Centro Nacional de Investigaciones Científicas vol 41. 7 p. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509007>
- [6] Reyes A., P. y Simón D., N. (2001). Los círculos de control de calidad en empresas de manufactura en México. *Contaduría y Administración* 201 pp. 37-60. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39520105>
- [7] Orlandoni M.,G. (2012). Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis Sigma. *Telos* vol. 14 No. 2. pp. 269-274. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99323311008>
- [8] Montgomery, D. (2004). *"Control Estadístico de la Calidad"*. 3a edición. Limusa-Wiley. (México).

# Enfoque Sistémico de Innovación en la Gestión de Proyectos: Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

M.A. Rios-Favela<sup>1</sup> Miembro IEEE, R.A. Favela-Herrera<sup>1</sup>, J.A. Salinas-Marquez<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico No. 1555 sur Gómez-Lerdo Km. 14.5 Cd. Lerdo, Durango, México.

**Resumen**— El presente trabajo plantea un modelo para sistematizar la innovación en tres sentidos con el fin de impulsar en vínculo Universidad-Industria en el desarrollo de proyectos y generación de tecnología, cuyo objetivo es sistematizar las actividades de investigación, desarrollo tecnológico, e innovación dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, el cual es una Institución de Educación Superior. Una de las aportaciones de este desarrollo es plantear e implementar una serie de sistematizaciones para generar conocimiento de forma integral, es decir trabajo conjunto academia-sector productivo y a su vez comunitario enfocado a generar plataformas que aporten elementos que aceleren la competitividad de la comunidad industrial en la región.

**Temas claves**— Innovación sistémica; ecosistemas regionales; desarrollo holístico regional; capital emprendedor; empresas innovadoras.

**Abstract**— this paper presents a model in order to develop innovation in three ways to focus the University-Industry link in project management and generation of technology, which aims to systematize research, technological development and innovation within the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, which is a higher education institution. One of the contributions of this document is to propose and implement a systematization to generate knowledge holistically, that is to say working together academia-industry production and their community instead focused on generating platforms to accelerate the competitiveness of the institution and the industrial community.

**Keywords**—. Systemic innovation; regional ecosystems; holistic regional development; venture capital; innovative companies

## I. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos es una herramienta estratégica de competitividad que ha cambiado en los últimos años desde un esquema de control a uno fundamentalmente de planeación y mejora continua[1]. Dentro de este ámbito, le cabe un rol central a la Universidad como institución responsable de la formación y capacitación de nuestros jóvenes.

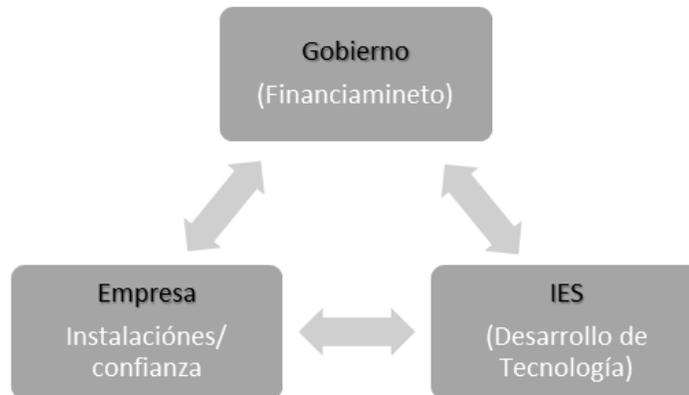
En educación superior, la participación de los docentes y alumnos en proyectos Investigación y Desarrollo Tecnológico e innovación (I+D+i) y el vínculo de esta actividad con la enseñanza son esenciales para aumentar la calidad y eficacia, contribuir al progreso de los conocimientos y transferir capacidades. Ya que, tradicionalmente, los tecnológicos y las universidades tienen la función principal de producir conocimiento y canalizar los mismos en recursos humanos.

En la actualidad las empresas requieren de condiciones industriales, sociales y ambientales especiales para poder desarrollar su actividad en forma óptima. Si no existen las condiciones de región adecuadas, no hay un desarrollo continuo. Esto es evidente en países emergentes, en donde no existen los elementos, la voluntad política-cultural ni empresarial para aprovechar en forma apropiada el impacto de la innovación en el desarrollo económico y social de estas regiones. Es por esto que, si se quiere hablar de innovación y de su impacto sobre el desarrollo regional, se debe incluir la compleja dependencia de la innovación con la estructura política, cultural y social de las regiones en donde se quiere implementar.

Gran parte del éxito de cualquier empresa que esté emergiendo de sectores noveles basados en tecnología, depende de las condiciones de la región en donde se encuentren, del impacto que la industria

pueda tener al agregar valor a sus prácticas empresariales y de sus vínculos académicos, financieros o gubernamentales.

Las empresas sin iniciativas de innovación son poco probable que prosperen. Es por ello que los sistemas gubernamentales establecen formas de financiar a los proyectos generados en el territorio nacional e incentivan a las empresas a participar en dichas actividades estableciendo un vínculo tripartita (figura 1) donde se ven involucrados tanto el sector empresarial, gubernamental y educacional, estableciendo una sinergia efectiva para el desarrollo de tecnología a través de la mano de obra de profesores y estudiantes y así se fortalezca la transferencia de conocimiento práctico a los estudiantes.



**Figura 1. Diagrama de interacción para el establecimiento de convenio de financiamiento.**  
Fuente: Elaboración propia.

## II. DESARROLLO

### A. *La innovación como necesidad nacional*

La innovación proviene de visionarios y campeones, individuos que se reúnen y difunden soluciones a las necesidades de la comunidad (Florida & Gates, 2006; Florida, Mellander & Stolarick, 2008) y que, bajo un ambiente adecuado, pueden capitalizar excepcionalmente esas iniciativas.

Los factores más importantes que potencializan a la innovación tecnológica son: la capacidad de innovación, la calidad de las instituciones de investigación científica, el gasto en I+D, la colaboración Universidad-Industria en I+D, adquisición de productos avanzados de tecnología, disponibilidad de científicos e ingenieros y el número de patentes por cada millón de habitantes (World Economic Forum).

De acuerdo al *Global Competitiveness Report, The World Economic Forum* México tiene un nivel bajo en lo que a innovación se refiere, según sus estadísticas México se posicionaban en el lugar 56 en el reporte emitido en 2012-2013 y para 2014-2015 cayó a la posición 61.(Figuras 2-4) [2][3][4]

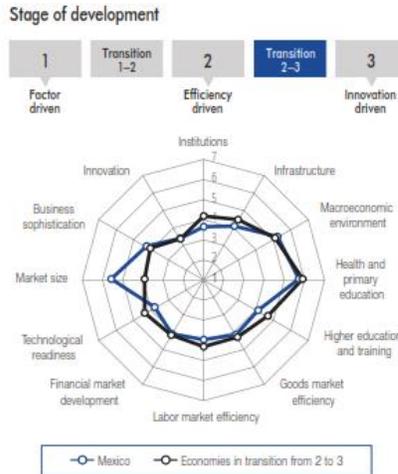


Figura 2. Indicadores de competitividad 2012-2013 Fuente: OCDE

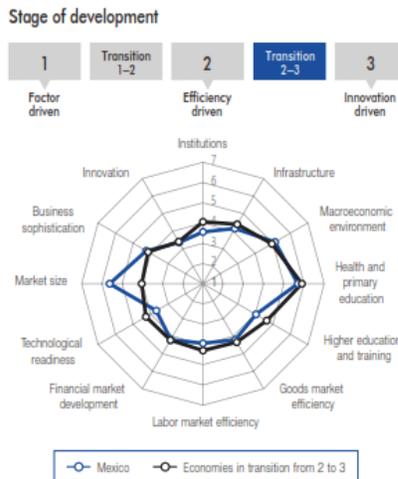


Figura 3. Indicadores de competitividad 2013-2014 Fuente: OCDE



Figura 4. Indicadores de competitividad 2014-2015, Fuente: OCDE

Basado en esta estadística se establece una metodología en el Instituto Tecnológico Superior (ITSL) de Lerdo la cual trata de fortalecer las diferentes áreas de generación de conocimiento y transmisión de tecnología a través de la generación de nuevas empresas y el fortalecimiento de las ya existentes.

La propuesta del ITSL es proveer de servicios especializados al sector industrial de la región; generar nuevas empresas a través de la incubación de ideas emprendedoras que vengán a detonar la economía y con el fortalecimiento de las empresas ya establecidas al realizar el vínculo EMPRESA – IES para recibir el financiamiento por parte de los organismos gubernamentales. Ya que existen indicadores que rigen el crecimiento de la innovación en el país, dichos indicadores son:

- La capacidad de innovación
- La calidad de las instituciones de investigación científica.
- El gasto en I+D,
- **Colaboración Universidad-Industria en I+D**
- Adquisición de productos avanzados de tecnología
- Disponibilidad de científicos e ingenieros
- Número de patentes por cada millón de habitantes

#### B. *La innovación como modelo sistémico*

De acuerdo con algunos autores [5] (Senge, Smith, Kruschwitz, Laur & Schley) son tres las capacidades que deben estar presentes en las organizaciones que aprenden (organizaciones aprendientes). Estas características son: (1) tener la capacidad de ver a los sistemas más grandes; (2) colaborar entre fronteras y (3) visualizar los futuros deseados. Para que la innovación tenga éxito debe de estar notablemente conectada con los factores externos a donde se desarrolla.[6]

En esto consiste el concepto de innovación sistémica: el cómo transferir las ideas fundamento de una innovación de producto/servicio/proceso, hacia un impacto ambiental y democrático social, que sea económicamente viable y generador de riqueza sustentable y sostenible en el largo plazo. Lo anterior quiere decir que, para competir en forma innovadora en un contexto globalizado, complejo y totalmente conectado, se requiere no solo de tener excelentes ideas o competencias medulares (core competencias), o una gran diferenciación de productos o servicios, o tener una red de clientes bien atrapados, o un nicho especializado de explotación. Actualmente, es necesario que además de todo lo anterior, la empresa, el emprendedor o la institución, estén insertados en un ecosistema industrial que, en forma sistémica e integrada, puedan fortalecer sus interrelaciones industriales, sociales y ambientales.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la innovación y la adaptación a las nuevas demandas sociales son conceptos que siempre han estado vinculados a las unidades de información y documentación mediante la incorporación de planes de proyectos que están directamente relacionados con el enfoque estratégico de estas unidades y con las instituciones de las que dependen.

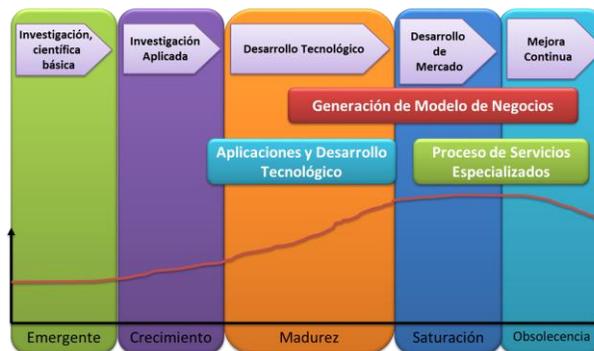
De acuerdo al modelo lineal de la innovación las Instituciones de Educación Superior (IES)[10] se encuentran en las primeras etapas de este modelo – *investigación científica e investigación aplicada*- y el sector productivo en las etapas finales enfocadas al posicionamiento de su empresa – *desarrollo de mercado y mejora continua*- estando situada la innovación en medio de estas dos entidades, es decir en el desarrollo tecnológico. (Figura 4)



**Figura 5. Modelo lineal de innovación**

En el paso de la estrategia a la acción, hemos de señalar la existencia de una relación directa entre la planificación y la gestión de proyectos, ya que para que estos proyectos puedan ser gestionados de forma adecuada deben haber sido previamente definidos en la planificación operativa de la unidad. En términos generales, se puede decir que la adquisición de conocimientos específicos sobre gestión de proyectos se configura como una formación complementaria con mayor grado de especificidad que otras materias vinculadas al management en unidades de información y documentación —es el caso por ejemplo, de la planificación como tema recurrente en este contexto[7].

De acuerdo al planteamiento realizado en el ITSL como Institución Educativa generadora de Tecnología se vea involucrada a partir de la investigación aplicada a trabajar en conjunto con el sector industrial y poder no solo realizar trabajo en las dos primeras etapas del modelo lineal de innovación. Por ello se busca que con la generación de modelos de negocio se obtenga el conocimiento no solo de tecnología sino que también se tenga conocimiento en mercadotecnia, planeación estratégica y finanzas; se provea de servicios especializados a las empresas y se genere tecnología en conjunto con ellas y así poder establecer un plan de fortalecimiento y generación de conocimiento y que tanto la industria como la IES se mantengan en un círculo continuo de mejora continua[10].. (Figura 5)



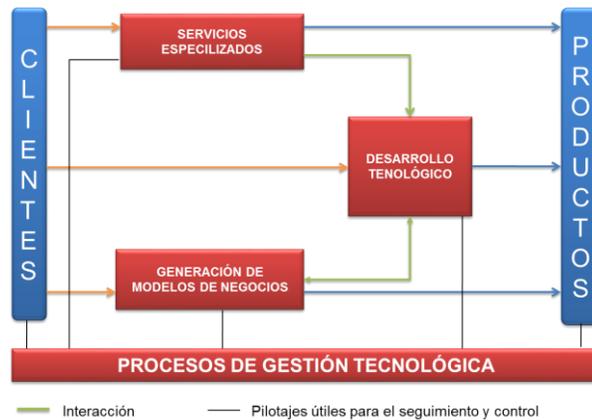
**Figura 5. Modelo lineal de innovación con las 3 estrategias de gestión de proyectos**

*C. Modelo Sistémico de gestión de tecnología*

La gestión de la innovación, entendida esta como un proceso que abarca desde la generación de la idea innovadora hasta su implementación, el diseño y evaluación de la misma, es una trama muy amplia y complicada que requiere asesoramiento y formación específica. Sin embargo, teniendo claros ciertas técnicas sencillas y estructuradas se pueden eliminar muchas de las dificultades y obstáculos que ciertas empresas encuentran a la hora de implementar esta gestión en la empresa y experimentar así, un cambio hacia el éxito innovador.[8]

El planteamiento de un sistema de gestión de proyectos[10] (figura 6) se establece en la creación de la Subdirección de Investigación y Desarrollo en el año 2006, empezando con el desarrollo de prototipos para el

sector industrial, posteriormente se oferta a este sector los servicios especializados (Análisis de ruido, luminosidad, resistencia de materiales, entre otros) y en 2010 se logra el reconocimiento de la incubadora de empresas ante Secretaría de Economía, por lo que el ITSL empieza a generar proyectos en estos tres ámbitos.



**Figura 6. Sistema 2006 – 2015 de generación de proyectos**

Bajo este esquema se realiza una proyección para la consolidación de este Modelo Sistémico de Gestión de Proyectos [10] estableciendo este sistema en el año 2006 y buscando una consolidación de las tres vertientes para el año 2020 de acuerdo a la visión establecida en el ITSL. (Figura 7)

PROCESO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Servicios Especializados	CREACIÓN			CRECIMIENTO						CONSOLIDACIÓN					
Creación de modelos de negocios	CREACIÓN						CRECIMIENTO			CONSOLIDACIÓN					
Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación	CREACIÓN						CRECIMIENTO			CONSOLIDACIÓN					
Gestión Tecnológica	CREACIÓN			CRECIMIENTO			CONSOLIDACIÓN								

**Figura 7. Plan de consolidación del modelo**

Desarrollando un esquema de medición del rendimiento técnico alcanzado (*Technical Performance Measurement –TPM*) mediante la comparación entre los parámetros técnicos alcanzados durante la ejecución del proyecto (*technical accomplishment*) con el calendario planificado de realización técnica (*schedule of technical achievement*)[9] se obtienen los resultados cuantificables para poder establecer si el método está sirviendo para poder cumplir con lo proyectado en el plan de consolidación.

### III. RESULTADOS

Las siguientes gráficas muestran los resultados obtenidos a lo largo de 8 años de trabajo en la Subdirección de investigación y desarrollo Tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

Por una parte se presenta la evolución de los servicios especializados brindados a la industria y la participación del personal involucrado, mostrándose un repunte considerable de 2006 a 2007.



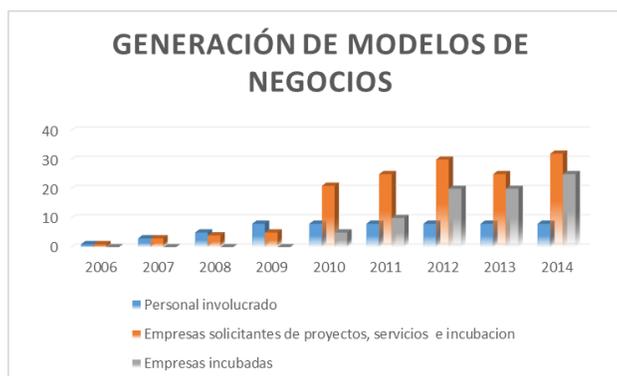
**Figura 8. Evolución de servicios prestados vs personal involucrado**

Como resultado de este modelo se genera la difusión de los proyectos de desarrollo tecnológico, de investigación aplicada en foros nacionales e internacionales; de igual forma y derivado de los prototipos desarrollados en el instituto se realiza el registro de propiedad intelectual de los mismos.



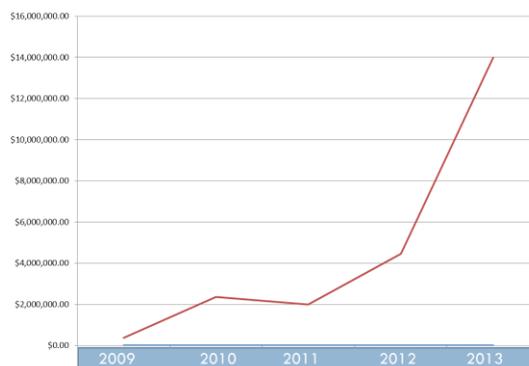
**Figura 9. Tipos de publicaciones realizadas**

Con la generación de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico se estableció un equipo de trabajo prestador de servicios y desarrolladores de tecnología, lo que encaminó a consolidar de manera sustancial el modelo propuesto en este artículo, prueba está en la gráfica de proyectos (figura 10) donde se muestra que en 2010 hubo un repunte muy evidente en la generación y participación de proyectos tanto de desarrollo tecnológico como de empresas en incubación.



**Figura 10. Evolución de proyectos realizados en el ITSL**

Con respecto al desarrollo tecnológico y el establecimiento del vínculo empresa-instituto se logró el financiamiento por parte del gobierno federal para la generación de tecnología dentro del territorio nacional y dentro de las instalaciones de empresas Laguneras.



**Figura 11. Financiamiento recibido en proyectos vinculados**

#### IV. CONCLUSIONES

De este modelo sistémico teórico-práctico, se obtienen directrices y tópicos que establecen relaciones puntuales de tipo colaborativa y complementaria entre universidad y empresas, lo que favorece y facilita la transferencia de tecnología al sector industrial, se generan amplias fuentes de nuevos conocimientos (plataformas tecnológicas); que con una adecuada evaluación ayudan a recibir fondos para la investigación y a su vez una inversión de capital con capacidad para arriesgarlo en ideas y productos experimentales, de tal forma que se genere una fuerza laboral de científicos y técnicos bien entrenados y un sistema de generación de propiedad intelectual que no impida la innovación y que remunere a los desarrolladores y a sus instituciones, así como proteja el desarrollo de ideas innovadoras de las empresas involucradas.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo el apoyo brindado a lo largo de estos años para establecer un método de generación de proyectos y de igual forma para que esta investigación se pudiera llevar a cabo.

#### REFERENCIAS

- [1] G. a Figueroa, "La metodología de elaboración de proyectos como una herramienta para el desarrollo cultural," Ser. Bibl. y Gestión Inf., p. 52, 2005.
- [2] K. Schwab, The Global Competitiveness Report The Global Competitiveness Report. 2012.
- [3] K. Schwab, X. Sala-i-Martin, and B. Brende, The Global Competitiveness Report 2012-2013. 2013, pp. 1-527.
- [4] K. S. S. B. Brende, The Global Competitiveness Report. 2014, pp. 74-102; 569.
- [5] P. Senge, "The necessary revolution," Lead. to Lead., vol. 2009, pp. 24-28, 2009.
- [6] C. Scheel Mayenberger, "El enfoque sistémico de la innovación: ventaja competitiva de las regiones.," A Syst. approach to Innov. a Reg. Compet. advantage., vol. 28, pp. 27-39, 2012.
- [7] A. R. Pacios Lozano, "La gestión de bibliotecas en España (2005-2010): tendencias y cambios significativos," Rev. Gen. Inf. y Doc., vol. 21, pp. 99-126, 2011.
- [8] M. D. E. S. Y. Consumo, "INSTRUCCIONES DE SEGUIMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DE PROYECTOS DE I + D + i," pp. 1-8, 2003.
- [9] G. D. E. Términos, "Gestión de proyectos."
- [10] Tesis para la obtención de Grado de Maestro en Ingeniería Industrial, "Modelo Institucional para la Sistematización de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo" José Alfredo Salinas Márquez, 12 de Diciembre 2008.

# Evaluación de capacidades de Calidad de Servicio de proveedores de Computación en la Nube

J. A. López-Cázar, J. F. Ibáñez-Salas, A. Díaz-Ramírez, *Miembro IEEE*, L. Villafuerte-León

Instituto Tecnológico de Mexicali, Baja California.

**Resumen**—La invención de la Web a inicios de los 80's provocó el uso masivo de Internet, así como el desarrollo de aplicaciones de negocios (*e-commerce*). Recientemente, la Computación en la Nube ha potenciado las capacidades de Internet, permitiendo que puedan desarrollarse aplicaciones en muchos ámbitos, ampliando las posibilidades de negocio y de la Web. A la fecha hay muchos proveedores de servicios de computación en la nube. Sin embargo, existen muchas diferencias entre ellos, desde opciones tecnológicas hasta facilidad de uso. En este artículo, se presentan los resultados de la evaluación de algunos de los mas importantes proveedores de computación en la nube. Particularmente, se evalúa el desempeño de Azure de Microsoft, que es una plataforma propietaria, así como las plataformas OpenShift y Koding, que son de código abierto. Los proveedores son evaluados con respecto a sus capacidades de calidad de servicio (QoS), y se discuten los resultados.

**Temas claves**—Computación en la nube, Azure, Koding, Openshift, PaaS.

**Abstract**—The invention of the Web in the early 80's motivated the massive use of the Internet, and the development of *e-commerce* applications. Recently, the cloud computing technology has enhanced the possibilities of the Internet, allowing the development of applications to be used in many areas, such as *e-business* and the Web. Nowadays, there are many cloud computing services providers. However, there are differences among them, related to the model services offered, or the easy of use. In this paper, we introduce the results of the evaluation of some of the most important cloud computing providers. Particularly, we compare the performance of Microsoft Azure, and the open source providers OpenShift and Koding. Their performances are evaluated regarding their quality of service (QoS) capabilities, and the results are discussed.

**Keywords**—Cloud computing, Azure, Koding, Openshift, PaaS.

## I. INTRODUCCIÓN

Debido al gran desarrollo tecnológico, el acceso a la Web se ha utilizado como medio de comunicación, medio de entretenimiento e indispensable para el trabajo. La proliferación y disponibilidad de la Web a motivado la búsqueda nuevas formas de ofrecer servicios con mejor desempeño, facilidad de acceso y al momento de desarrollar e implementar una aplicación se necesita agilidad y rapidez. Debido a las grandes oportunidades que brinda este mercado muchas empresas se encuentran ofertando servicios de computación en la nube. Este nuevo modelo brinda muchas ventajas para diferentes tipos de usuarios como por ejemplo: los usuarios de la computación móvil, las empresas que pueden sustituir su centro de datos por los servicios de algún proveedor en la nube, o las empresas que ofrecen servicios de Tecnologías de la Información, por mencionar algunas.

Con la computación en la nube se soluciona el problema de almacenamiento, ya que la información del usuario puede ser almacenada en la nube y así liberar espacio en los dispositivos. Otra ventaja de la computación en la nube es para las empresas o desarrolladores de software ya que este modelo brinda el rápido acceso a recursos indispensables para éste tipo de usuarios.

En este artículo se presenta un análisis comparativo entre proveedores de computación en la nube comerciales y proveedores Open Source. El objetivo es identificar la mejor opción de proveedores de plataforma como servicio (PaaS) en la nube evaluando plataformas entre distribución comercial y distribución

Open Source, en base al desempeño de calidad de servicios (QoS). Se analizan los resultados obtenidos del desempeño de estas plataformas en un caso experimental. Este documento está organizado de la siguiente manera. En la Sección II se muestran los trabajos relacionados. En la Sección III se presenta el marco conceptual de la computación en la nube. En la Sección IV se muestran los proveedores propuestos para este trabajo. El análisis comparativo de los experimentos para evaluar las plataformas de los proveedores se discute en la Sección V. en la sección VI se presentan los resultados. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se explican en la Sección VII.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Algunos trabajos comparativos realizan estudios taxonómicos sobre la descripción de la arquitectura de proveedores en la nube para después realizar una comparación [16]. Otro análisis que se realizó fue el de aplicar un algoritmo de multiplicación de matrices y variar el número de núcleos en el procesador para verificar la aceleración superlineal de Azure [6]. También se han realizado estudios centrados en los aspectos tales como la arquitectura, características y la aplicación para conocer las diferencias entre proveedores open Source y proveedores close Source en las capas SaaS, PaaS e IaaS [18]. En otro estudio se discuten en detalle las características, arquitecturas y aplicaciones de varias plataformas de computación en la nube populares, para identificar diferencias, características y ventajas de distintas plataformas [14]. En otro estudio se basó tanto en el análisis del rendimiento como en la retroalimentación de los usuarios de plataformas de computación en la nube para realizar un modelo de selección de servicios en la nube [15]. En otro artículo se hace un análisis comparativo de plataformas en la capa IaaS con un criterio de popularidad, uso de la comunidad, la modularidad, la apertura y el código abierto [19]. En este trabajo se realiza un análisis comparativo de proveedores en la capa PaaS utilizando métricas de calidad del servicio (QoS) a través de pruebas utilizando servicios web situados en la capa PaaS.

## III. COMPUTACIÓN EN LA NUBE

La computación en la nube es una forma especializada de computación distribuida, que introduce modelos de utilización para la provisión de forma remota de recursos escalables y medidos [3]. En este paradigma existen seis características las cuales son las más comunes en este entorno: uso bajo demanda, acceso ubicuo, múltiples inquilinos, uso medido, flexibilidad y elasticidad.

Uso bajo demanda. El consumidor de la nube puede acceder a los recursos de la nube dando al consumidor la libertad de elegir y configurar estos recursos.

Acceso ubicuo. El acceso ubicuo representa la habilidad del servicio de la nube sea altamente accesible, normalmente a través de internet.

Múltiples inquilinos. Es la característica de un programa informático que permite a una instancia del sistema servirle a diferentes consumidores (inquilinos), por lo cual cada uno está aislado del otro.

Uso medido. El uso medido es la característica que representa la habilidad de una plataforma en la nube de poder realizar un seguimiento del uso de sus recursos.

Flexibilidad. Computación flexible es una forma de tolerancia de error que distribuye implementaciones redundantes de recursos a través de la ubicación física.

Elasticidad. Es la habilidad automatizada de la nube de escalar de forma transparente los recursos de IT, según sea necesario, en respuesta a las condiciones de tiempo de ejecución o predeterminado por el consumidor o el proveedor de la nube.

Los modelos de entrega de servicios en la nube representan una combinación de recursos pre empaquetados ofrecidos por un proveedor. Los modelos más usuales que se ofrecen a los clientes y usuarios de la nube son: SaaS (Software as a Service), software como servicio, PaaS (Platform as a Service), plataforma como servicio e IaaS (Infrastructure as a Service), infraestructura como servicio [3].

Software como Servicio: El modelo software como servicio se refiere esencialmente al software residente (instalado) en la nube puesto a disposición del consumidor a través de un navegador web, el cliente puede acceder a este servicio a través de cualquier dispositivo con conexión a internet.

Plataforma como Servicio: el proveedor ofrece un entorno de desarrollo al consumidor del modelo, esencialmente para desarrolladores de sistemas, quienes crean sus aplicaciones y ofrecen sus servicios a través de la plataforma del proveedor.

Infraestructura como Servicio: Este modelo proporciona la infraestructura necesaria para crear, ejecutar y desplegar aplicaciones. El modelo IaaS ofrece espacio de almacenamiento, capacidad de procesamiento, servidores, sistemas operativos, esto lo hace a través de una máquina virtual.

#### **IV. PROVEEDORES DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE**

Con la popularización de la computación en la nube, muchas empresas han surgido como proveedores de este servicio. Ejemplos son: Amazon, Microsoft, Google, Salesforce, quienes son las más conocidas [10], [13], [20]. Por ejemplo, los inventores de la computación en la nube, Amazon, destaca como proveedor de Infraestructura como Servicio [11], [21]. Microsoft, con su plataforma Azure, es un proveedor clave de computación en la nube en la capa PaaS [16]. Debido a la gran influencia que tiene Microsoft en el desarrollo de aplicaciones empresariales en México y gran parte del mundo, se ha decidido elegir a ésta plataforma en el estudio comparativo.

Con el auge de la computación en la nube también ha crecido el desarrollo de proveedores de soluciones en la nube Open Source [20], como Cloud Foundry, Cloudify y OpenShift, siendo éste último uno de los proveedores más referenciados en la literatura [2], [7], [22]. De hecho, se consideraba OpenShift como líder dentro de los proveedores open source [18]. Por esta razón y por su relevancia en con los otros autores se propone a OpenShift como el otro proveedor a evaluar. Se decidió trabajar paralelamente con el proveedor Koding, aunque no fue citado por autores en publicaciones de investigación, ha tenido una gran aparición en blogs relacionados a la programación.

Azure es la plataforma como servicio de Microsoft que permite a los desarrolladores crear rápidamente, hospedar, y escalar aplicaciones en un entorno de nube. Azure ofrece una amplia gama de recursos que soportan diversos lenguajes de programación como Java, .NET, Python, Ruby, PHP, Node.js, y un conjunto completo de herramientas de desarrollo para aumentar la productividad del desarrollador y acelerar la entrega de aplicaciones [25].

OpenShift es la plataforma como servicio de Red Hat que permite a los desarrolladores trabajar en un entorno de nube. OpenShift ofrece una selección de lenguajes de programación como Java, Ruby, PHP, Node.js, Python y Perl [24].

Koding ofrece una nueva tendencia de desarrollo basado en la nube [17]. En el 2009 se creó la primera versión de esta plataforma. Koding es un entorno de desarrollo en línea con el objetivo de simplificar el desarrollo a sus usuarios, proporciona computación libre y desarrollo para todos. Lo hace ofreciendo máquinas virtuales (VMs) gratis para el desarrollo en la nube [23].

#### **V. TRABAJO REALIZADO**

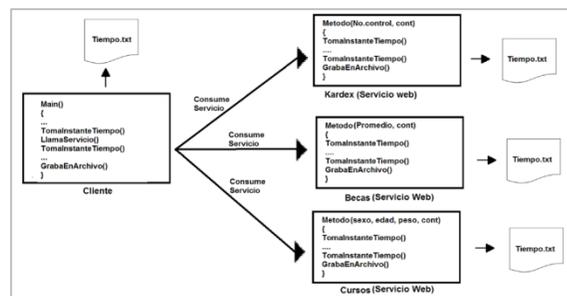
A pesar de que se estudian proveedores de plataforma como servicio (PaaS), las evaluaciones en este trabajo se realizan en la capa software como servicio (SaaS) ya que se utilizan servicios Web para la obtención de resultados.

Las métricas de calidad de un servicio son: rendimiento, fiabilidad, integridad, accesibilidad, disponibilidad, interoperabilidad y seguridad. El rendimiento del servicio mide la velocidad de finalización de las solicitudes del servicio. El rendimiento se puede medir en términos de tiempo de respuesta, latencia, tiempo de ejecución, y algunos otros indicadores bajo esta clase [4], [8]. Dentro de estas métricas existen

atributos objetivos, los cuales se pueden medir directamente y los atributos subjetivos, los cuales no se pueden medir directamente [15]. Pero para este trabajo se necesitan atributos objetivos para poder medir y así conseguir datos significativos, analizarlos detalladamente para obtener una conclusión en base a los resultados arrojados por las evaluaciones.

La latencia es el tiempo transcurrido que hay entre el envío de la solicitud y la recepción de la respuesta. Este atributo es citado en varios artículos [8], [9]. El tiempo de procesamiento o tiempo de ejecución es el lapso tiempo que se necesita para realizar las instrucciones dentro de un proceso. Este atributo es utilizado por varios autores en sus trabajos [5], [6], [8]. Estas métricas son elegidas debido a su relevancia en investigaciones pasadas.

Para fines de este artículo y poder realizar las evaluaciones con respecto a las métricas señaladas es necesario realizar una aplicación, la cual deberá consumir servicios web alojados en las plataformas de los proveedores.



**Figura 1. Diseño de la aplicación.**

La Fig. 1 muestra el diseño de la aplicación, la cual consta de un cliente y 3 servicios web desplegados en las plataformas de los proveedores. Por el lado del cliente se realizó una aplicación en lenguaje JAVA. Este programa antes de enviar la solicitud al servicio web toma el instante de tiempo, la acción subsecuente es la llamada al servicio web, después de recibir la respuesta vuelve a tomar el instante de tiempo para después a través de una resta [12] obtener el lapso de tiempo que tardó el servicio en terminar de atender la solicitud. Este proceso se realiza para cada servicio y por último almacena en un archivo tiempo.txt los valores obtenidos para cada servicio. Esto con el fin de medir la latencia que tiene el proveedor en atender las solicitudes.

Por otro lado los servicios Web son aplicaciones independientes realizadas en lenguaje PHP con el apoyo de la herramienta NuSOAP para su implementación como servicio web [1]. Para cada servicio web se requieren parámetros diferentes. El servicio kardex obtiene como parámetro el número de control, y un parámetro extra para varias el contenido de materias contenidas en el vector de respuesta del servicio web, este parámetro extra se presenta en todos los servicios web y tienen el mismo funcionamiento. Al iniciar el servicio kardex se toma el instante de tiempo, en este proceso se tienen almacenadas una lista de materias en un arreglo dependiendo del parámetro extra que se recibe en el servicio web es el número de materias que se tomarán de esta lista para devolver la respuesta a la solicitud junto con una calificación dentro del rango del 6 al 10 tomada aleatoriamente. Al terminar el proceso se vuelve a tomar el instante de tiempo, para finalmente conocer el lapso de tiempo que necesita el proveedor en procesar la información. Ya por último se almacena los datos obtenidos en un archivo tiempo.txt. El proceso de almacenar materias en el vector de respuesta y el de obtener el lapso de tiempo que necesita el proveedor para ejecutar el proceso es igual en los tres servicios, solo que en el servicio de extraescolares se reciben como parámetros la edad, el peso, el sexo y el parámetro extra. Estos parámetros sirven para cambiar la elección de la lista de materias dependiendo de la edad, el peso y el sexo. Y por último se tiene el servicio beca que recibe como parámetro el promedio y el parámetro extra. Este servicio toma una decisión dependiendo del promedio obtenido es el número de beca que regresa como parámetro y con el parámetro extra simplemente realiza un ciclo con la cantidad de veces que indique este número.

Los tres servicios web son desplegados en cada proveedor, en OpenShift es necesario descargar programas para trabajar con los repositorios que maneja este proveedor. En Azure se trabaja directamente con la plataforma del proveedor a través de un navegador pero todo bajo un costo y en Koding se trabaja en el editor de texto que ofrece el proveedor en su plataforma a través de un navegador.

## VI. RESULTADOS

Para la evaluación de los servicios el cliente debe correr en una maquina con las mismas características, para esto se utilizó una computadora con sistema operativo Ubuntu 12.10, memoria RAM de 1893 MB, procesador Intel i3 3.10 GHz, en la cual serán desactivadas las funciones menos indispensables para que el cliente consuma los servicios con el mejor desempeño posible. Para de desarrollar el cliente se utilizó el programa Eclipse versión Juno. La computadora está conectada a una red con cable Ethernet y una tarjeta Gigabit Ethernet, la red se comparte con 14 nodos y una salida a Internet con una velocidad de 12 MB.

Para las pruebas el cliente solicito 156 veces el servicio con una respuesta de 100 materias por solicitud. Se realizaron 156 pruebas para después poder eliminar espurios. Se eliminaron los tres tiempos más altos y los 3 más bajos quedando así 150 muestras. Estos resultados son el promedio de latencia en segundos por el lado del cliente.

TABLA 1.  
LATENCIA EN EL SERVICIO DE KARDEX.

Proveedor	Latencia
Azure	1.000793 segundos
OpenShift	0.288627 segundos
Koding	0.53692 segundos

En la Tabla 1 se muestra la latencia que se obtuvo como promedio en el cliente para el servicio de kardex.

TABLA 2.  
LATENCIA EN EL SERVICIO DE EXTRAESCOLARES.

Proveedor	Latencia
Azure	1.31736 segundos
OpenShift	0.26368 segundos
Koding	0.378927 segundos

En la Tabla 2 se muestra la latencia que se obtuvo como promedio en el cliente para el servicio de extraescolares.

TABLA 3.  
LATENCIA EN EL SERVICIO DE BECA.

Proveedor	Latencia
Azure	0.529893 segundos
OpenShift	0.26778 segundos
Koding	0.266093 segundos

En la Tabla 3 se muestra la latencia que se obtuvo como promedio en el cliente para el servicio de beca.

Otros resultados obtenidos fueron el tiempo que necesitaba el proveedor para procesar la información que enviaría como respuesta al cliente. Estas respuestas varían entre 20 y 200 materias que el proveedor respondería al cliente. Para estas pruebas se tomaron 106 muestras y al igual que las pruebas anteriores se eliminaron los 3 tiempos más bajos y los 3 más altos, esto con el fin de eliminar espurios.

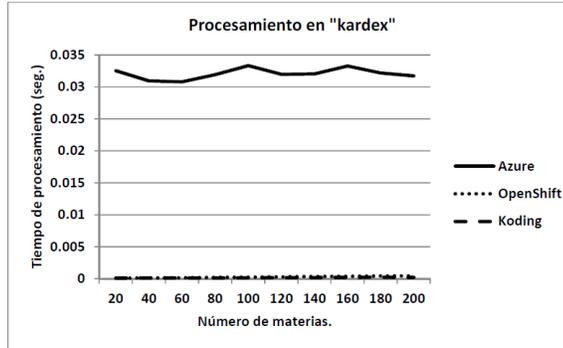


Figura 2-A. Tiempo de procesamiento para el servicio kardex.

En la Fig. 2-A se muestra la gráfica del tiempo que tardo el proveedor en atender la solicitud del servicio kardex. Debido a que Azure tomo más tiempo se creó otra grafica para poder observar el comportamiento de los demás proveedores. Ya que al realizar un acercamiento Azure desaparecía de la imagen. En la Fig. 2-B se realiza un acercamiento a los tiempos de los proveedores OpenShift y Koding para poder observar su comportamiento.

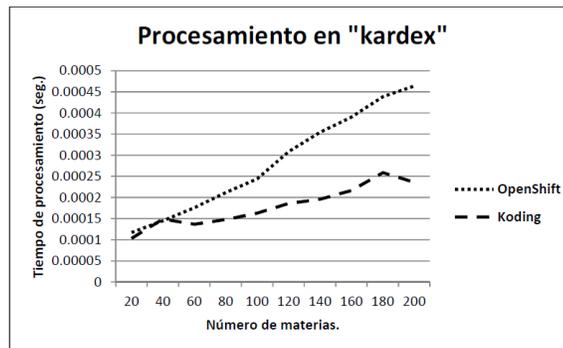


Figura 2-B. Tiempo de procesamiento para el servicio kardex.

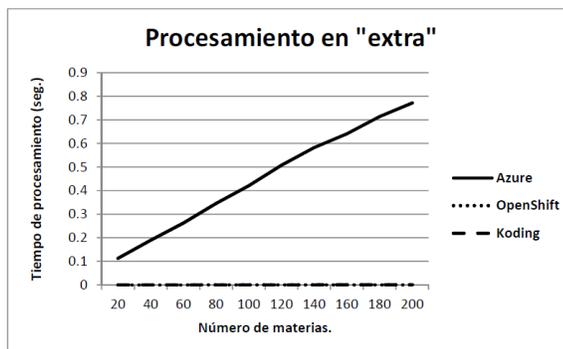


Figura 3-A. Tiempo de procesamiento para el servicio extra.

En la Fig. 3-A se muestra la gráfica del tiempo que tardo el proveedor en atender la solicitud del servicio extra. Debido a que Azure tomo más tiempo se creó otra grafica para poder observar el comportamiento de los demás proveedores. Ya que al realizar un acercamiento Azure desaparecía de la imagen. En la Fig. 3-B se realiza un acercamiento a los tiempos de los proveedores OpenShift y Koding para poder observar su comportamiento.

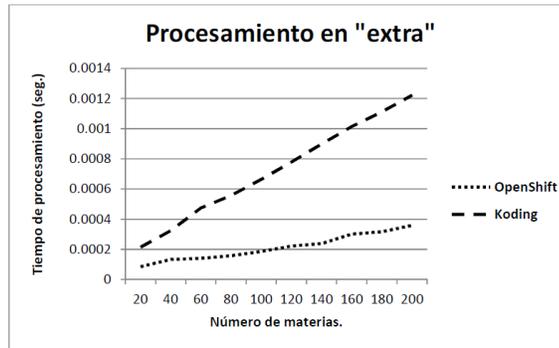


Figura 3-B. Tiempo de procesamiento para el servicio extra.

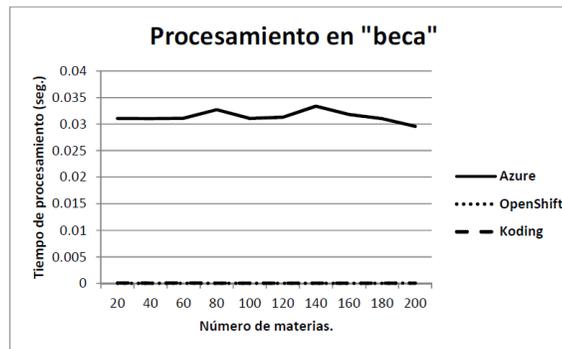


Figura 4-A. Tiempo de procesamiento para el servicio beca.

En la Fig. 4-A se muestra la gráfica del tiempo que tardó el proveedor en atender la solicitud del servicio beca. Debido a que Azure tomó más tiempo se creó otra gráfica para poder observar el comportamiento de los demás proveedores. Ya que al realizar un acercamiento Azure desaparecía de la imagen. En la Fig. 4-B se realiza un acercamiento a los tiempos de los proveedores OpenShift y Koding para poder observar su comportamiento.

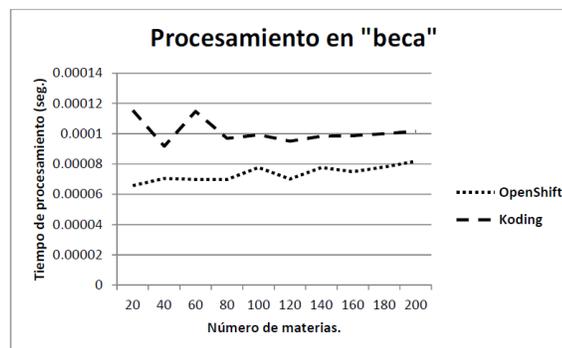


Figura 4-B. Tiempo de procesamiento para el servicio beca.

## VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Tomando en cuenta los parámetros de QoS planteados en la propuesta se puede concluir que el mejor proveedor en la capa PaaS es OpenShift. En comparación de OpenShift y Koding, el primero mostró mejores resultados que el segundo, pero las características y herramientas de desarrollo son mejores en Koding ya que brinda realmente una plataforma en la nube como tal, cosa que en OpenShift es limitada. Por otro lado el proveedor Koding ofrece una serie de herramientas para el desarrollo y despliegue de aplicaciones directamente en la nube, cosa que no se puede realizar con el proveedor OpenShift. Por lo tanto se puede mencionar que Koding es una muy buena herramienta para el desarrollo y despliegue de aplicaciones debido a

los resultados obtenidos, a la funcionalidad y herramientas que ofrece el proveedor a través de su plataforma. Koding demostró un buen resultado en las pruebas que se

Realizaron a pesar de que es un proveedor gratuito, fue mejor que Azure. Contrariamente de que Azure es un proveedor de paga fue el que más tiempo tomo para realizar los procesos, este proveedor ofrece un amplio repertorio de herramientas para el desarrollo y despliegue de aplicaciones pero todo bajo un costo. Cabe mencionar que si el usuario o empresa cuentan con una buena solvencia económica y puede sustentar una suscripción a Azure, este podría ser una buena opción por toda la serie de herramientas que cuenta su plataforma y también al presentársele alguna serie de problemas, como Azure pertenece a Microsoft tiene un amplio respaldo en cuanto a soporte. Por otro lado si el usuario o empresa no cuentan con tanto capital y desean implementar una aplicación con un buen funcionamiento OpenShift es el indicado, o también Koding es una buena opción, tanto para este tipo de consumidores o usuarios en ambiente académico, ya que brinda una plataforma más amigable en comparación con OpenShift.

Dentro de diferentes artículos referentes a este modelo de computación existe mucha inquietud referente a la seguridad, ya que los datos de los usuarios son alojados fuera del entorno del usuario. Uno de los trabajos futuros es analizar la seguridad que brindan los proveedores a través de sus plataformas.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ayala, D. and Nichol, S. (2013) "NuSOAP - SOAP Toolkit for PHP". Disponible en: <http://sourceforge.net/projects/nussoap/>
- [2] Bryant, C. (2014). "A Guide to Open Source Cloud Computing Software (PaaS)". Disponible en: <http://www.tomsitpro.com/articles/open-source-cloud-computing-software,2-754-6.html>.
- [3] Erl, T. and Mahmood, Z. and Puttini, R. (2013). "Cloud Computing, Concepts, Technology & Architecture". Prentice Hall.
- [4] Geetha, E. and Suresh, T. and Rajani, K. and Ram, Ch. and Reddy, R. and Raghavendra, R. (2013). "Qos of web service: survey on performance and scalability". B M S College of Engineering, Bangalore, India M S Ramaiah Institute of Technology, Bangalore, India.
- [5] Goyal, M. and Gupta, P. and Aggarwal, A. and Kumar, P. (2012). "QoS based trust management model for Cloud IaaS". Parallel Distributed and Grid Computing (PDGC), 2012 2nd IEEE International Conference on, 2012, 843-847.
- [6] Gusev, M. and Ristov, S. (2012) "Superlinear speedup in Windows Azure cloud". Cloud Networking (CLOUDNET), 2012 IEEE 1st International Conference on, 2012, 173-175.
- [7] Harvey, C. (2014) "60 Open Source Apps You Can Use in the Cloud.". Disponible en: <http://www.datamation.com/open-source/60-open-source-apps-you-can-use-in-thecloud-1.html>
- [8] Ladan, M. I. (2011) "Web Services Metrics: A Survey and A Classification". 2011 International Conference on Network and Electronics Engineering IPCSIT vol.11, 2011.
- [9] Li, A. and Yang, X. and Kandula, S. and Zhang, M. (2011) "Comparing Public-Cloud Providers". Internet Computing, IEEE, 2011, 15, 50-53.
- [10] Lifka, D. and Foster, I. and Mehringer, S. and Parashar, M. and Redfern, R. and Stewart, C. and Tuecke, S. (2013) "XSEDE Cloud Survey Report" The Extreme Science and Engineering Discovery Environment.
- [11] Malawski, M. and Kuźniar, M. and Wojcik, P. and Bubak, M. (2013) "How to Use Google App Engine for Free Computing". Internet Computing, IEEE, 2013, 17, 50-59.
- [12] Mares, O. and Villavicencio, A. and Delgadillo, O. and Ibanez, J. and Diaz, A. (2013) "Análisis Comparativo entre .Net y Mono" Tercer Congreso Nacional de Tecnologías de la Información y Comunicación (Conatic 3.0). Tercer Congreso Nacional de Tecnologías de la Información y Comunicación (Conatic 3.0), 2013.

- [13] Panettieri, J. and Katz, A. (2013) "Top 100 Cloud Services Providers: 2013 Edition" Talkin' Cloud, 2013.
- [14] Peng, J. and Zhang, X. and Lei, Z. and Zhang, B. and Zhang, W. and Li, Q.(2009) "Comparison of Several Cloud Computing Platforms" Information Science and Engineering (ISISE), 2009 Second International Symposium on, 2009, 23-27
- [15] Qu, L. and Wang, Y. and Orgun, M. (2013) "Cloud Service Selection Based on the Aggregation of User Feedback and Quantitative Performance Assessment" Services Computing (SCC), 2013 IEEE International Conference on, 2013, 152-159.
- [16] Rimal, B. and Choi, E. and Lumb, I. (2009) "A Taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems" INC, IMS and IDC, 2009. NCM '09. Fifth International Joint Conference on, 2009, 44-51.
- [17] Rigsby, J. (2012) "Koding Makes Development Social With New Browser-Based Tool". Disponible en: <http://www.cmswire.com/cms/web-experience/koding-makes-development-social-with-new-browser-based-tool-016706.php>
- [18] Nadir, K. and Zang, T. (2012) "Survey and comparison for Open and closed sources in cloud computing" International Journal of Computer Science Issues (IJCSI); Vol. 9 Issue 3, 2012, p118
- [19] Sefraoui, O. and Aissaoui, M. and Eleuldj, M. (2012) "OpenStack: Toward an Open-Source Solution for Cloud Computing" International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 55 - No. 03.
- [20] Takako, P. and Estacio, G. and Kelner, J. and Sadok, D. (2010) "A Survey on Open-source Cloud Computing Solutions" VIII Workshop em Clouds, Grids e Aplicacoes (WCGA), Federal University of Pernambuco, Brazil, 2010.
- [21] Zhou, M. and Zhang, R. and Zeng, D. and Qian, W. (2010) "Services in the Cloud Computing era: A survey" Universal Communication Symposium (IUCS), 2010 4th International, 2010, 40-46.
- [22] Williams, A. (2014) "Survey: What are the Best Open Source Cloud Projects?". Disponible en: <http://www.linux.com/news/enterprise/cloud-computing/781062-survey-what-are-the-best-open-source-cloud-projects>
- [23] Koding (2009). ". Disponible en: <http://www.koding.com>
- [24] OpenShift (2014). Disponible en: <https://www.openshift.com>
- [25] Azure (2014). Disponible en: <http://azure.microsoft.com>

# Programas de apoyo y fortalecimiento de MIPYMES

M.J. Sandoval -Luevano<sup>1</sup>, E Castro-Juarez<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N Colonia Periférico, Ciudad Lerdo, Durango.

**Resumen**—En México existen aproximadamente 4 millones 15 mil unidades empresariales, de las cuales 99.8% son PYMES estas tienen una gran capacidad de generar empleos y aplicar nuevas tecnologías para su desarrollo, favoreciendo así el avance de la economía nacional; a pesar de ello es importante señalar que existen factores que ponen en riesgo su estabilidad y sobrevivencia, El objetivo de la presente investigación es identificar los principales mecanismos de apoyo que permiten incrementar la supervivencia y éxito de las nuevas empresas a través de desarrollo de capacidades empresariales, la integración de diferentes mecanismos y actores del sector público y privado, en la comarca lagunera de Durango.

Se realizó una búsqueda de información estadística y del arte previo sobre las PYMES, los organismos y los programas existentes que fomentan su creación y fortalecimiento de la reactivación económica del país.

**Temas claves**— PYME, Programas gubernamentales, INADEM.

**Abstract**— Currently, in Mexico are now approximately 4 million 15,000 business units, of which 99.8% are SMEs these have a great capacity to generate jobs and apply new technologies for development, favoring and advancing the national economy; although it is important to note that there are factors that threaten its stability and survival, The aim of this research is to identify key support mechanisms that increase the survival and success of new businesses through development of entrepreneurial skills The integration of different mechanisms and actors in the public and private sectors, in the Laguna region of Durango.

A search of the prior art on SMEs, agencies and existing programs that encourage the creation and strengthening the business sector as a basis for the country's economic recovery was performed.

**Keywords**— SMEs, government programs, INADEM.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la economía Mexicana plantea como objetivo promover la reactivación económica con el fin de la disminuir la pobreza, y la delincuencia en los sectores vulnerables de la población, como son los jóvenes, las mujeres y polígonos identificados por Secretaria de Gobernación en el Programa Nacional de Prevención del Delito.

Se plantea la integración de diferentes programas del sector público y privado con el fin de proponer estrategias y acciones que favorezcan la creación de negocios y el fortalecimiento de las PYMES lo cual se traduce en generación de empleo y mayor calidad de vida para la población beneficiada.

Las PYMES en México representan el 99.8% de las empresas formales establecidas, generan 52% del Producto Interno Bruto (PIB) y 72% del empleo en el país. (INEGI, 2009), estas contribuyen con siete de cada 10 empleos formales que se generan en el país. (Manzur, 2015).

Es de suma importancia recalcar que en la actualidad la tasa de supervivencia de las pymes en México 8 de cada 10 nuevas empresas desaparecen en un lapso no mayor a 2 años (Enrique Jacob Rocha, 2013), La longevidad es relevante. “Entre mayor tamaño, mayor antigüedad de las empresas; así, en la gran empresa el 59.85% cuenta con más de 15 años de antigüedad, y el porcentaje va disminuyendo; en la mediana empresa es el 58.72%, en la pequeña empresa es el 39.07% y en la microempresa es el 35.81%. Lo anterior indica claramente que la micro y pequeña empresa es la que tiende en mayor porcentaje a desaparecer” (Financiera, 2000), para las empresas familiares de cada seis empresas en la primera generación, únicamente pasan dos a la segunda y sólo una a la tercera generación Arce, B., Enrique, (2007, 21 de marzo) “Elevado índice de mortandad de pymes en México”. El Economista. (Arce, 2007)

Dada la importancia de las PYMEs en México y su tasa de supervivencia hace necesario la búsqueda de mecanismos que coadyuven a fortalecer a este sector. El presente artículo dará a conocer los principales actores y su contribución al desarrollo económico regional y nacional.

## II. DESARROLLO.

La esperanza de vida de las empresas varía de acuerdo al sector empresarial al que pertenezcan, el sector manufacturero casi 7 de cada 10 negocios llegan con vida al cumplir el primer año. Para los sectores comercio y servicios privados no financieros este indicador se reduce a poco más de 6 de cada 10 que ingresan a la actividad económica. (INEGI, Esperanza de vida de las empresas, 2015), la esperanza de vida de las empresas desde que son creadas hasta su muerte se estima en 7.7 años promedio entre los tres sectores antes mencionados. (INEGI, Esperanza de vida de las empresas, 2015)

La probabilidad de muerte es mayor conforme los negocios son más pequeños, las empresas que cuentan con 0 a 2 personas ocupadas se encontró que cuatro de cada diez negocios mueren durante el primer año de vida y su esperanza de vida al nacer es de casi 7 años. Esta probabilidad decrece conforme las unidades económicas son más grandes y la esperanza de vida tiene un comportamiento creciente conforme aumenta el tamaño. (INEGI, Esperanza de vida de las empresas, 2015)

En la siguiente tabla se muestra la esperanza de vida de las empresas de acuerdo a su tamaño, la probabilidad de muerte en su primer año de vida y su esperanza de vida.

Tamaño de los negocios (personas ocupadas)	Probabilidad de muerte al primer año de vida	Esperanza de vida al nacer (años futuros de vida)
0-2	0.38	6.9
3-5	0.32	8.4
6-10	0.17	15.0
11-15	0.18	20.7
16-20	0.15	23.3
21-30	0.12	22.0
31-50	0.09	22.0
51-100	0.07	22.0

FUENTE: INEGI, Esperanza de vida de los negocios en México 2014.

Las entidades federativas que presentan mayor muerte de empresas son: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Guerrero, Morelos, Estado de México, Tabasco, Campeche y Quintana Roo; mismas que denotan porcentajes de muertes dentro en cada entidad que oscilan entre el 40.0 y el 53.0 por ciento. (INEGI, DENUE, 2015)

Estas cifras hacen necesario buscar mecanismos que apoyen y fomenten al sector empresarial y permitan incrementar los índices de creación de empresas, y la supervivencia de estas.

En el año 2013 se crea el Instituto Nacional Del Emprendedor INADEM es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Economía, que tiene por objeto instrumentar, ejecutar y coordinar la política nacional de apoyo incluyente a emprendedores y a las micro, pequeñas y medianas empresas, impulsando su innovación, competitividad y proyección en los mercados nacional e internacional para aumentar su contribución al desarrollo económico y bienestar social, así como coadyuvar al desarrollo de políticas que fomenten la cultura y productividad empresarial. (INADEM, 2015)

Los principales ejes rectores de este organismo son el Apoyo a la inserción exitosa de las MIPYMES al mercado empresarial, para lograr esta meta este organismo cuenta con una red de incubadoras, aceleradoras y espacios de vinculación (INADEM, 2015), que a través de su acompañamiento, consultoría y capacitación y otros servicios permiten al emprendedor su inserción exitosa al mercado. Con el fin de detonar Proyectos

Productivos, Fortalecer el Ecosistema de Financiamiento e Inculcar una nueva cultura nacional emprendedora y empresarial (INADEM, 2015)

Este organismo define sectores estratégicos de desarrollo por estado, estos se caracterizan en sectores clave y sectores prospectados a futuro, los sectores clave para el estado de Durango son los siguientes: Metalmecánica, Productos de madera, sector agroindustrial y apoyo a los negocios, los sectores que se prospectan a futuro son: servicios de investigación, turismo, energías renovables, tecnologías de información. Logística.

Estos sectores marcan prioridades en la creación y fortalecimiento del sector empresarial por estado con el fin de detonar su economía.

Uno de los principales mecanismos de apoyo para el sector empresarial es la red de apoyo al emprendedor, es una estrategia de articulación y vinculación de las políticas y programas de apoyo para Emprendedores y MIPYME de las diferentes instancias de Gobierno y del sector privado, que se materializan en la Red Mover a México a través de la cual los participantes trabajan de forma conjunta a favor del sector. (INADEM, 2015)

Los organismos del sector público que son parte de esta red son: STPS, SE, SECTUR, SEMARNAT, SEDESOL, FONART, SEDATU, SAGARPA, PRONAFIM, SEP, INAES, PROMÉXICO, Nacional Financiera, Servicio Nacional del Empleo, Financiera Rural. (INADEM, 2015)

Cada uno de estos organismos ofrecen diferentes programas y convocatorias que apoyan y fortalecen al sector empresarial.

Entre los organismos de sector privado que integran la red se encuentran: ABM, Ángel Ventures México, ANTAD, Arccanto, Aspel, Banamex, BBVA, Capitaliza, Consejo de la Comunicación, E-Myth, Entrepreneur, FedEx, Flock Pyme, Genera, Giro Legal, Google, Hewlett-Packard México, Ignia, Infomovil, Io Facturo, Konfío, Kubo Financiero, Manpower, MercadoLibre, Mujer Emprende, Pwc, Symio, Todo Retail, Torneo de Ideas, Ubicalas.com, Visa México, Wobi (INADEM, 2015).

Estos organismos ofertan dentro de la red diferentes soluciones y mecanismo de apoyo a emprendedores y MIPYMES, entre los cuales se incluyen apoyos económicos, financiamientos, Créditos, capacitación, soluciones tecnológicas, Facturación electrónica, entre otros.

Otro actor importante de la red de apoyo al emprendedor es la red Mover a México, es una red integrada por espacios físicos de atención personal a emprendedores y empresarios que solicitan información y orientación para el tema de emprendimiento, consolidación y crecimiento de su negocio éstas se distribuyen a lo largo del país, cada entidad estatal cuenta con varias ventanillas de atención en las oficinas de Gobierno Estatal y Municipal, Instituciones Educativas cámaras, Asociaciones Civiles, Organismos Empresariales, y Fundaciones. (INADEM, 2015).

Existe una red de incubadoras básicas, incubadoras de alto impacto, Aceleradoras, y espacio de vinculación estos son organismos

Existen diversos programas de apoyo a sectores vulnerable de la población como son, mujeres, jóvenes, poblaciones ubicadas en la lucha contra la violencia y la delincuencia o la lucha contra la pobreza de acuerdo a la clasificación emitida por la Secretaría de Gobernación.

Los principales programas de apoyo del INADEM son los siguientes:

- Programas de Sectores Estratégicos y Desarrollo Regional
- Programas de Desarrollo Empresarial
- Programas de Emprendedores y financiamiento.
- Programas para MIPYMES.
- Programas de apoyo para la incorporación de tecnologías de información y comunicación.

Cada uno de estos programas ofrecen al sector empresarial grandes oportunidades de desarrollo y acceso a obtener subsidios económicos para crear y fortalecer sus negocios, son gratuitos, de fácil acceso a la población y contempla al sector productivo y sector servicios.

Secretaría de Gobernación puso en marcha el programa nacional de prevención del delito y con el diferentes programas de atención a zonas vulnerables de los estados y municipios con el fin de generar empleo y mejores condiciones de vida de los habitantes de estas regiones

Existen diferentes organismos trabajando en conjunto para lograr este fin como son: SHCP, SEDESOL, SE, SCT, SEP, SALUD, STPS SEDATU.

Nacional Financiera cuenta con diferentes productos dirigidos al sector empresarial como son:

- Fondo de Coinversión de Capital Semilla
- Crédito PyME
- Programa de Formación Empresarial
- MEXICO VENTURES I, L.P.
- Programa de Microcrédito NAFINSA
- Programa de Formación Empresarial EIO
- Fondo de Coinversión de Capital Semilla EIO
- Tu Crédito para Crecer
- Tu Crédito PyME Joven

Todos estos programas y convocatorias están disponibles para todos aquellos emprendedores y empresarios que desean invertir o hacer crecer su negocio.

### III. CONCLUSIONES.

Los índices de creación y supervivencia de las PYMES hace necesario implementar estrategias que apoyen a este sector, se puede identificar que las micro empresas tienen un 87% de probabilidad de morir antes de 7 años, (INEGI, Esperanza de vida de las empresas, 2015), esta esperanza de vida aumenta conforme el tamaño de la empresa aumenta, esto constituye un alto impacto en la economía ya que representan un 95.0% de los negocios del país y 42.0% del empleo total (Censos Económicos 2009).

Esto hace necesario tomar medidas importantes para fortalecer este sector, por esta razón se han puesto en marcha diversos programas y acciones.

Los diferentes organismos y sus diferentes mecanismos de apoyo al sector empresarial, buscan difundir la cultura emprendedora la creación de nuevos negocios y permite a las PYMES acceder a una gama importante de convocatorias y apoyos públicos y privados que permitan potenciar su crecimiento y desarrollo y con ello impulsar los sectores estratégicos de desarrollo de los estados.

Se hace necesario establecer una estrategia coordinada que tenga un mayor impacto en la población vulnerable e incluir dentro de la estrategia a las instituciones educativas para que estas incidan en sus estudiantes y promuevan la cultura emprendedora y creen habilidades empresariales como parte de su formación integral.

Cabe mencionar que los procesos de acceso a las convocatorias de los diferentes organismos se realizan por medio electrónicos a través de internet, y esto expone una área de oportunidad de generar accesos e infraestructura tecnológica así como capacitación en el uso de tecnologías de información y comunicación.

Hace falta reforzar las estrategias de difusión y comunicación de estos programas para que se conozca y tenga mayor impacto en la población objetivo.

Los programas de los organismos públicos y privados existentes, abren una amplia gama de beneficios a los emprendedores y empresarios.

El programa de incubación en línea del INADEM, apoyado por su red de incubadoras, ofrece a los emprendedores capacitación y acompañamiento que permitirá desarrollar sus habilidades empresariales, capacidades técnicas, análisis de mercado, estrategias de posicionamiento e incrementar sus capacidades financieras que le permitirán tener acceso a subsidios y financiamientos acordes a las necesidades y planes de negocios de las mismas.

Este programa pretende incrementar la tasa de supervivencia de las MIPYMES e impulsar la economía del país.

Se espera que estas acciones tengan un impacto positivo en el desarrollo económico, que permita una mejor calidad de vida y abatir los índices de pobreza y delincuencia, que impulse la inserción exitosa de las MIPYMES al mercado empresarial.

#### IV. APÉNDICE A.

Los emprendedores y empresarios pueden acceder y registrarse en la red, de forma gratuita en el portal [www.inadem.gob.mx](http://www.inadem.gob.mx) y acceder a cada uno de los beneficios y apoyos que ofrece la red.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo que brindó el medio para desarrollar esta publicación, personas

#### REFERENCIAS

- [1] Arce, B. E. (21 de Marzo de 2007). Elevado índice de mortandad de pymes en México. *Elevado índice de mortandad de pymes en México*. El Economista.
- [2] El-Economista. (2015). *Desempleo en México, tercero más bajo de la OCDE*. Obtenido de El economista: <http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2015/02/10/desempleo-mexico-tercero-mas-bajo-ocde-2014>
- [3] Enrique Jacob Rocha. (2013). Fortalecimiento de las Empresas Mexicanas. *8° Summit de Capital Privado Emprendedor y Semilla en México*.
- [4] Financiera, N. (2000). Encuestas. *La empresa mexicana frente al reto de la modernización Fase I*. Mexico: Ediciones Nafin.
- [5] INADEM. (2015). *INADEM*. Obtenido de [https://www.inadem.gob.mx/templates/protostar/sectores\\_estrategicos.php](https://www.inadem.gob.mx/templates/protostar/sectores_estrategicos.php)
- [6] INEGI. (2009). *INEGI*. Obtenido de [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default\\_t.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default_t.aspx)
- [7] INEGI. (2015). *DENUE*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>
- [8] INEGI. (2015). Esperanza de vida de las empresas. *SIEC INEGI*.
- [9] Manzur, M. M. (enero de 2015). *Página oficial de la secretaria de economía*. Obtenido de <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/sala-de-prensa/comunicados/6616-las-pymes-generan-siete-de-cada-10-empleos-formales-en-el-pais>



# Desarrollo de programas computacionales basados en scripts empleados en la enseñanza y aprendizaje de las Máquinas de Inducción

J. M. Díaz-Chacón<sup>1</sup>, V. Mata-Brauer<sup>1</sup>, C. Amaro<sup>1</sup>, A. Navarro<sup>1</sup>

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California UABC

**Resumen**— En este artículo se presenta el desarrollo de programas computacionales basados en scripts, empleados en la enseñanza y aprendizaje de las Máquinas de Inducción. Estos programas se desarrollan y ejecutan sobre dos plataformas de programación: MATLAB y Octave. Las formulaciones matemáticas implementadas en los programas se basan en el contenido del curso de Máquinas de Inducción, impartido en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Baja California. Como ejemplos didácticos se desarrollan cuatro programas para analizar varios casos de estudio seleccionados de referencias reconocidas en la Ingeniería Eléctrica. Los códigos de los programas y los resultados obtenidos en la ejecución de los mismos se muestran en este trabajo. El desarrollo de programas computacionales basados en scripts muestra ser confiable y útil como herramienta adicional en el proceso enseñanza-aprendizaje de las Máquinas de Inducción.

**Temas claves**— Educación basada en competencias, máquinas de inducción, MATLAB, Octave, programación computacional.

**Abstract**— In this paper is presented the development of computer programs based on scripts, employed in teaching and learning of Induction Machines. These programs are developed and executed on two programming platforms: MATLAB and Octave. The mathematical formulations implemented in the programs are based on the content of the Induction Machines course, which is taught in the Faculty of Engineering – Autonomous University of Baja California. As teaching examples, four programs are developed for analyzing several cases of study selected from recognized references by Electrical Engineering. Both program codes and the results obtained by the execution of the same are shown in this work. The development of computer programs based on scripts shows to be reliable and useful as an additional tool for teaching-learning process of Induction Machines.

**Keywords**— Competency-based education, computer programming, induction machines, MATLAB, Octave.

## I. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología ha impactado, de manera considerable, diversas áreas de la vida cotidiana como el área educativa. La innovación en las metodologías de la enseñanza en la educación basada en competencias ha concebido, de forma natural, el uso de herramientas didácticas de vanguardia tales como las tecnologías computacionales. Hoy en día, el uso de estas tecnologías en la enseñanza se ha convertido en una práctica predominante en la mayor parte de los sistemas y niveles educativos del país. En el área de la ingeniería, la incorporación de herramientas didácticas computacionales ha demostrado ser favorable en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes [1].

Una de las principales metodologías empleadas para la adquisición de conocimientos relacionados con la ingeniería es el desarrollo de software empleando lenguajes de alto nivel tales como C, C++, Python, Java y Fortran. La principal desventaja de estos lenguajes es la dificultad en la depuración de código debido a la complejidad de las sintaxis de los mismos. Existen otras plataformas de programación enfocadas en la implementación de formulaciones matemáticas de manera más sencilla. Estas plataformas emplean sintaxis similares al lenguaje matemático empleado en el desarrollo de formulaciones aplicadas a la ingeniería. Algunas de estas plataformas de desarrollo de software matemático son MATLAB [2] y Octave [3].

MATLAB es un software comercial ampliamente reconocido por la comunidad científica. Octave es un software matemático de código abierto desarrollado bajo el Sistema Operativo Linux.

En el área de máquinas eléctricas, el desarrollo de programas basados en scripts ha sido ampliamente aplicado en la enseñanza de temas, de manera particular [4]-[5]. Esto a su vez, ha impedido la generación de evidencias de desempeño integrales en sistemas educativos basados en competencias.

En este trabajo se presenta el desarrollo de programas computacionales basados en scripts empleados en la enseñanza de las Máquinas de Inducción [5]-[7]. El desarrollo de programas, de forma habitual, le permitirá al estudiante adquirir y desarrollar, de forma sistemática, los conocimientos significativos requeridos del contenido temático de la asignatura en cuestión. En este trabajo se presenta el análisis de cuatro casos de estudio a través del uso de programas basados en scripts.

## II. DESARROLLO DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DE VARIOS CASOS DE ESTUDIO

En este trabajo se realizaron cuatro programas basados en scripts para analizar varios casos de estudio. Las formulaciones matemáticas implementadas en los programas se basan en referencias incluidas en el contenido temático del curso de Máquinas de Inducción de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California [5]-[6]. En los casos 1 y 2 se desarrolló el análisis de dos transformadores monofásicos. Estos casos se seleccionaron de [6] y [7], respectivamente. En el caso 1 se calcularon los parámetros de los circuitos equivalentes aproximados del transformador, referidos tanto al primario como al secundario. En el caso 2 se calcularon los parámetros del circuito equivalente aproximado del transformador referido al secundario y se obtuvieron la eficiencia y el porcentaje de regulación de voltaje en el mismo. El caso 3 se empleó para mostrar la aplicación de la técnica por unidad (pu's) mediante el análisis y solución de un sistema de potencia. Finalmente, en el caso 4 se calcularon los parámetros del circuito equivalente de un motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

Para el desarrollo de los programas correspondientes a los casos 1 al 3 se consideraron las formulaciones y los métodos de solución incluidos en [6] mientras que para el desarrollo del programa del caso 4 se consideró la formulación y el método de solución empleados en [5]. Los códigos de los programas de los casos analizados se muestran en los apéndices A, B, C y D, respectivamente. Todos los programas se ejecutaron en dos plataformas de programación: MATLAB y Octave. La ejecución de MATLAB se realizó sobre el Sistema Operativo Windows mientras que la ejecución de Octave se realizó sobre el Sistema Operativo Linux Ubuntu.

Se recomienda al lector revisar los métodos provistos en las referencias antes mencionadas para mejorar la comprensión de la nomenclatura empleada y de la implementación de los programas presentados. Los programas desarrollados en este trabajo pueden formar parte de software de mayor complejidad. Cabe mencionar que los casos analizados son empleados solamente con fines tutoriales de incursión en la programación de scripts para la enseñanza de las Máquinas de Inducción.

En las Tablas I y II se muestran los parámetros obtenidos de los circuitos equivalentes aproximados del transformador del caso 1 mediante la ejecución del programa respectivo. En la Tabla III se muestran los parámetros obtenidos del circuito aproximado del transformador del caso 2 mediante la ejecución del programa correspondiente. El valor de la eficiencia obtenido fue 98.38 % y el porcentaje de regulación de voltaje fue 3.864 %. La eficiencia obtenida del análisis del sistema de potencia mediante la ejecución del programa del caso 3 fue 85.62 %. En la Tabla IV se presentan los parámetros obtenidos del circuito equivalente del motor de inducción trifásico del programa del caso 4.

En las Figuras 1 y 2, respectivamente, se muestran los valores de los parámetros de los circuitos equivalentes propuestos en [6]. Se puede observar la similitud entre los valores presentados en la referencia y los resultados obtenidos mediante la ejecución del programa.

TABLA I

PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR REFERIDO AL PRIMARIO DEL CASO 1.

Parámetro	Valor ( $\Omega$ )
$Re_{qHV}$	6.0
$Xe_{qHV}$	13.748
$R_{cHV}$	192000.0
$X_{mHV}$	49574.187

TABLA II

PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR REFERIDO AL SECUNDARIO DEL CASO 1.

Parámetro	Valor ( $\Omega$ )
$Re_{qLV}$	0.015
$Xe_{qLV}$	0.034
$R_{cLV}$	480.0
$X_{mLV}$	123.935

TABLA III

PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR DEL CASO 2.

Parámetro	Valor ( $\Omega$ )
$Re_{qLV}$	0.115
$Xe_{qLV}$	0.641
$R_{cLV}$	2880.0
$X_{mLV}$	301.641

TABLA IV

PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO DEL CASO 4.

Parámetro	Valor ( $\Omega$ )
$R_1$	0.262
$R_2$	0.430
$X_1$	1.030
$X_2$	1.030
$X_m$	20.807

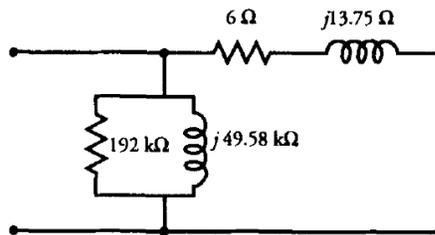


Figura 1. Circuito equivalente aproximado del transformador referido al primario del caso 1 obtenido en [6].

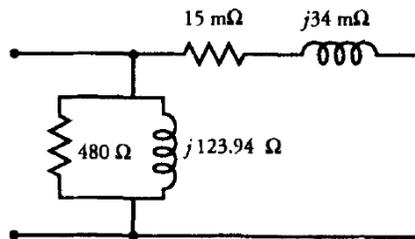


Figura 2. Circuito equivalente aproximado del transformador referido al secundario del caso 1 obtenido en [6].

En la Figura 3 se muestran los parámetros del circuito equivalente aproximado del transformador del caso 2, propuesto en [7]. En la Figura 4 se muestra el diagrama esquemático del sistema de potencia empleado

para el análisis del caso 3, propuesto en [6]. En la Figura 5 se muestra el circuito equivalente del motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

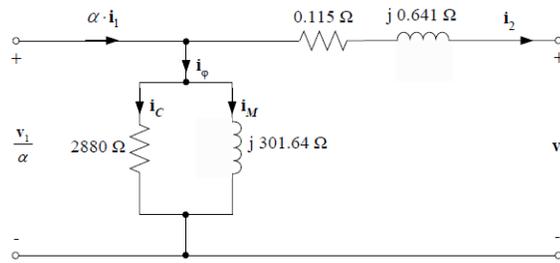


Figura 3. Circuito equivalente aproximado del transformador del caso 2 obtenido en [7].

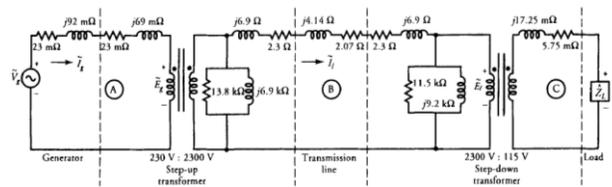


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de potencia del caso 3 [6].

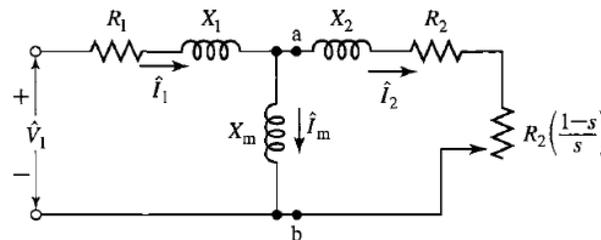


Figura 5. Circuito equivalente del motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

### III. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de varios programas computacionales basados es scripts empleados en el aprendizaje de las Máquinas de Inducción. Se demostró la viabilidad que presenta el uso de scripts en la construcción de conocimientos significativos pertinentes al contenido temático de la asignatura en cuestión. El uso de estas herramientas propiciará una mayor comprensión de los temas, impartidos en clase, relacionados con el funcionamiento de las Máquinas de Inducción.

### IV. APÉNDICE A: PROGRAMA DEL CASO 1- TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

```

%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente aproximado
% del transformador (referido al primario y al secundario) a
% partir de pruebas de Circuito Abierto (OC) y de Corto Circuito (SC).
%*****
% Ejemplo 4.8
% Electric Machinery and Transformers, B. S. Guru and H. R. Hiziroglu,
% Oxford University Press, pp. 236-238, 2001.
%*****
clear all
    
```

```

%*****
% PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (prueba realizada en LV)
%*****
Voc = 240.0;          loc = 2.0;          Poc = 120.0;
%*****
% PRUEBA DE CORTO CIRCUITO (prueba realizada en HV)
%*****
Vsc = 150.0;          Isc = 10.0;          Psc = 600.0;
%*****
% DATOS NOMINALES O DE PLACA (potencia aparente y voltajes en
% devanados)
%*****
S = 48000.0;          V1 = 4800.0;          V2 = 240.0;
%+++++
% CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
%+++++
a = V1 / V2;
%-----
% IMPEDANCIAS DE MAGNETIZACIÓN (Rc_HV, Xm_HV, Rc_LV, Xm_LV)
%-----
Soc = Voc * loc;
Qoc = sqrt(Soc^2 - Poc^2);
Rc_HV = Rc_LV * a^2;
Rc_LV = Voc^2 / Poc;
Xm_LV = Voc^2 / Qoc;
Xm_HV = Xm_LV * a^2;
%-----
% IMPEDANCIAS SERIE EQUIVALENTE
% (Req_HV, Xeq_HV, Req_LV, Xeq_LV)
% c - compleja, p - prima, (') - conjugado
%-----
Req_HV = Psc / Isc^2;
Xeq_HV = sqrt(Zeq_HV^2 - Req_HV^2);
Req_LV = Req_HV / a^2;
Zeq_HV = Vsc / Isc;
Xeq_LV = Xeq_HV / a^2;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_transformador_monofasico1_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circ. equival. aprox. del transformador monofasico');
fprintf('\n Req_HV = %.3f [Ohms]', Req_HV);
fprintf('\n Xeq_HV = %.3f [Ohms]', Xeq_HV);
fprintf('\n Rc_HV = %.3f [Ohms]', Rc_HV);
fprintf('\n Xm_HV = %.3f [Ohms]', Xm_HV);
fprintf('\n Req_LV = %.3f [Ohms]', Req_LV);
fprintf('\n Xeq_LV = %.3f [Ohms]', Xeq_LV);
fprintf('\n Rc_LV = %.3f [Ohms]', Rc_LV);
fprintf('\n Xm_LV = %.3f [Ohms]\n', Xm_LV);
diary off
    
```

**V. APÉNDICE B: PROGRAMA DEL CASO 2 - TRANSFORMADOR MONOFÁSICO**

```

%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente aproximado
% del transformador (referido al secundario) a
% partir de pruebas de Circuito Abierto (OC) y de Corto Circuito (SC).
%*****
% Cálculo de la eficiencia y del % de regulación de voltaje
% del transformador usando el circuito equivalente aproximado
% referido.
%*****
% Ejemplos 1.3 y 1.4
% Spotlight on Modern Transformer Design, P. S. Georgilakis,
% Springer, pp. 16-25, 2009.
%*****
clear all
%*****
% PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (prueba realizada en LV)
    
```

```

%*****
Voc = 480.0;          loc = 1.6;          Poc = 80.0;
%*****
% PRUEBA DE CORTO CIRCUITO (prueba realizada en HV)
%*****
Vsc = 1130.0;        Isc = 1.0;          Psc = 200.0;
%*****
% DATOS NOMINALES O DE PLACA
%*****
S = 20000.0;         V1 = 20000.0;        V2 = 480.0;
%*****
% DATOS DE LA CARGA (PORCENTAJE DE LA CARGA NOMINAL Y
% FACTOR DE POTENCIA)
%*****
fp = 0.85;           % carga con factor de potencia = 0.85 en atraso
fp_adelanto_atraso = -1;% -1. atraso, 1. resistiva o adelanto
porciento_carga = 1.0; % 100 % de la carga nominal
%+++++
% CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
%+++++
a = V1 / V2;
thetal = fp_adelanto_atraso * acos(fp);% ángulo thetaL en radianes
SL = porciento_carga * S;
%-----
% IMPEDANCIAS DE MAGNETIZACIÓN (Rc_LV, Xm_LV,
% Zphi_LV = Rc_LV || jXm_LV)
%-----
Soc = Voc * loc;
Rc_LV = Voc^2 / Poc;
Qoc = sqrt(Soc^2 - Poc^2);
Xm_LV = Voc^2 / Qoc;
Zphi_LV = (Rc_LV * j * Xm_LV) / (Rc_LV + j * Xm_LV);
%-----
% IMPEDANCIAS SERIE EQUIVALENTE (Req_LV, Xeq_LV,
% Zeq_LV = Req_LV + jXeq_LV)
%-----
Req_HV = Psc / Isc^2;          Zeq_HV = Vsc / Isc;
Xeq_HV = sqrt(Zeq_HV^2 - Req_HV^2);
Req_LV = Req_HV / a^2;        Xeq_LV = Xeq_HV / a^2;
Zeq_LV = Req_LV + j * Xeq_LV;
%-----
% VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
% c - compleja, p - prima, (') - conjugado
%-----
% Referido a LV (secundario)
% V2
V2c = complex(V2,0.0);
% I2
I2 = SL / V2;                  I2c = I2 * exp(j * thetal);
% Vphi
Vphi = V2c + Zeq_LV * I2c;
% Iphi
Iphi = Vphi / Zphi_LV;
% I1p
I1pc = Iphi + I2c;
% V1p
V1pc = Vphi;
%-----
% PÉRDIDAS, EFICIENCIA Y REGULACIÓN DE VOLTAJE
%-----
Pcu = abs(I2c)^2 * Req_LV;      % De la prueba de corto circuito (en LV)
% Pcu puede variar según el valor de la corriente en la carga.
Pc = Poc;                      % Pc no depende del valor de la corriente en la carga.
Po = real(V2c * I2c');         % Po = abs(V2c) * abs(I2c) * cos(thetal);

```

```

Pin = Pc + Pcu + Po;          eficiencia = (Po / Pin) * 100.0;
reg_voltaje = ((abs(V1pc) - abs(V2c)) / abs(V2c)) * 100.0;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_transformador_monofasico2_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circ. equival. aprox. del transformador monofasico');
fprintf('\n Req_LV = %.3f [Ohms]', Req_LV);
fprintf('\n Xeq_LV = %.3f [Ohms]', Xeq_LV);
fprintf('\n Rc_LV = %.3f [Ohms]', Rc_LV);
fprintf('\n Xm_LV = %.3f [Ohms]', Xm_LV);
fprintf('\n\nEficiencia (Pc + Pcu + Po) = %.3f', eficiencia);
fprintf('\n\nPorciento Reg. Volt. = %.3f\n', reg_voltaje);
diary off
    
```

### VI. APÉNDICE C: PROGRAMA DEL CASO 3 – SISTEMA DE POTENCIA

```

%*****
% Ejemplo 4.9 - Solución del Sistema de Potencia
% usando la técnica de pu's
% Electric Machinery and Transformers, B. S. Guru and H. R. Hiziroglu,
% Oxford University Press, pp. 240-244, 2001.
%*****
clear all
%%*****
% DATOS DE LA CARGA
%*****
fp = 0.866;          % factor de potencia = 0.866 en atraso
porciento_carga = 1.0;      % 100 % de la carga
fp_adelanto_atraso = -1;    % -1. atraso, 1. resistiva o adelanto
%+++++
% SOLUCION DEL SISTEMA DE POTENCIA
%+++++
% Valores Base de Sección A
SbaseA = 46000.0;          VbaseA = 230.0;
IbaseA = SbaseA / VbaseA;      ZbaseA = VbaseA^2 / SbaseA;
%-----
% Valores Base de Sección B
SbaseB = 46000.0;          VbaseB = 2300.0;
IbaseB = SbaseB / VbaseB;      ZbaseB = VbaseB^2 / SbaseB;
%-----
% Valores Base de Sección C
SbaseC = 46000.0;          VbaseC = 115.0;
IbaseC = SbaseC / VbaseC;      ZbaseC = VbaseC^2 / SbaseC;
VL = 115.0;          VLc = complex(VL,0.0);
SL = SbaseC;          IL = (SL * porciento_carga)
/ VL;
thetaL = fp_adelanto_atraso * acos(fp);          ILc = IL * exp(j * thetaL);
%-----
% Impedancias de la línea de transmisión y del generador
Zlinea = 2.07 + j * 4.14;          Zgen = 0.023 + j * 0.092;
%-----
% Impedancias del transformador elevador (e)
R_HVe = 2.3;          X_HVe = 6.9;
R_LVe = 0.023;          X_LVe = 0.069;
Rc_HVe = 13800.0;          Xm_HVe = 6900.0;
%-----
% Impedancias del transformador reductor (r)
R_HVr = 2.3;          X_HVr = 6.9;
R_LVr = 0.00573;          X_LVr = 0.01725;
Rc_HVr = 11500.0;          Xm_HVr = 9200.0;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección A
Zgen_pu = Zgen / ZbaseA;
    
```

```

R_LVe_pu = R_LVe / ZbaseA;          X_LVe_pu = X_LVe / ZbaseA;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección B
Rc_HVe_pu = Rc_HVe / ZbaseB;      Xm_HVe_pu = Xm_HVe / ZbaseB;
R_HVe_pu = R_HVe / ZbaseB;        X_HVe_pu = X_HVe / ZbaseB;

Zlinea_pu = Zlinea / ZbaseB;

R_HVr_pu = R_HVr / ZbaseB;        X_HVr_pu = X_HVr / ZbaseB;
Rc_HVr_pu = Rc_HVr / ZbaseB;      Xm_HVr_pu = Xm_HVr / ZbaseB;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección C
R_LVr_pu = R_LVr / ZbaseC;        X_LVr_pu = X_LVr / ZbaseC;
%-----
% Voltaje en la carga en pu's
VL_pu = VLc / VbaseC;
% Corriente en la carga en pu's
IL_pu = ILc / IbaseC;
%-----
% Ecuaciones para la solución del sistema de potencia en pu's
Vphi_HVr_pu = VL_pu + (R_LVr_pu + j * X_LVr_pu) * IL_pu;
Zphi_HVr_pu = (Rc_HVr_pu * j * Xm_HVr_pu) / (Rc_HVr_pu + ...
j * Xm_HVr_pu);
Iphi_HVr_pu = Vphi_HVr_pu / Zphi_HVr_pu;
Ilinea_pu = Iphi_HVr_pu + IL_pu;
Vphi_HVe_pu = Vphi_HVr_pu + ((R_HVr_pu + j * X_HVr_pu) + ...
(R_HVe_pu + j * X_HVe_pu) + Zlinea_pu) * Ilinea_pu;
Zphi_HVe_pu = (Rc_HVe_pu * j * Xm_HVe_pu) / (Rc_HVe_pu + ...
j * Xm_HVe_pu);
Iphi_HVe_pu = Vphi_HVe_pu / Zphi_HVe_pu;
% Corriente en el generador en pu's
Ilg_pu = Iphi_HVe_pu + Ilinea_pu;
% Voltaje en el generador en pu's
Vg_pu = Vphi_HVe_pu + (Zgen_pu + (R_LVe_pu + j * X_LVe_pu)) * Ilg_pu;
% Corriente en el generador en Amperes
Ilg = Ilg_pu * IbaseA;
% Voltaje en el generador en Volts
Vg = Vg_pu * VbaseA;
%-----
% Potencias de salida y de entrada, respectivam.
Po_pu = real(VL_pu * IL_pu');      Pin_pu = real(Vg_pu * Ilg_pu');
% Eficiencia
eficiencia_pu = (Po_pu / Pin_pu) * 100.0;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_sistema_potencia_CONINCI_2015.txt
fprintf('Resultados del Sistema de Potencia');
fprintf('\n Ig = %.3f [A]', abs(Ilg));
fprintf('\n angulo_Ig = %.3f [grados]', rad2deg(angle(Ilg)));
fprintf('\n Vg = %.3f [V]', abs(Vg));
fprintf('\n angulo_Vg = %.3f [grados]', rad2deg(angle(Vg)));
fprintf('\n Po_pu = %.3f [pu]', Po_pu);
fprintf('\n Pin_pu = %.3f [pu]', Pin_pu);
fprintf('\n Eficiencia = %.3f [porciento]\n', eficiencia_pu);
diary off

```

**VII. APÉNDICE D: PROGRAMA DEL CASO 4 – MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO**

```

%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente del motor de
% inducción trifásico (clase A) recomendado por IEEE.
%*****
% Ejemplo 6-6
% Electric Machinery, A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, Jr., and S. D. Umans,

```

```

% McGraw-Hill, pp. 335-338, 2003.
%*****
clear all
clase = 1;                               No_polos = 4;
%*****% Prueba de CD
R1 = 0.262;
%*****
% Prueba sin carga (NL - No Load)
V_NL = 219.0;                             I_NL_prom = 5.7;                             Pin_NL = 380.0;
f_NL = 60.0;
%*****
% Prueba de rotor bloqueado (LR - Locked Rotor, 15 Hz)
V_LR = 26.5;                             I_LR_prom = 18.57;                             Pin_LR = 675.0;
f_LR = 15.0;
%*****
% CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
% RECOMENDADO POR IEEE
%*****
Vfase_NL = V_NL / sqrt(3.0);              % Voltaje de fase (conexión estrella)
S_NL = 3.0 * Vfase_NL * I_NL_prom;        % Potencia aparente
Q_NL = sqrt(S_NL^2 - Pin_NL^2);           % Potencia reactiva
X_NL = Q_NL / (3.0 * I_NL_prom^2);        % Reactancia NL
%.....
Vfase_LR = V_LR / sqrt(3.0);
S_LR = 3.0 * Vfase_LR * I_LR_prom;        % Potencia aparente
Q_LR = sqrt(S_LR^2 - Pin_LR^2);           % Potencia reactiva
X_LR = (f_NL / f_LR) * Q_LR / (3.0 * I_LR_prom^2); % Reactancia LR
R_LR = Pin_LR / (3.0 * I_LR_prom^2);
%.....
if clase == 1 % clase A, k = 1 (IEEE)
k = 1.0;
end

a = k^2;
b = X_LR * (1 - k) - X_NL * (1 + k);
c = X_NL * X_LR;

xa = (-b + sqrt(b^2 - 4.0 * a * c)) / (2.0 * a);
xb = (-b - sqrt(b^2 - 4.0 * a * c)) / (2.0 * a);

if (xa < xb)
X2 = xa;
else
X2 = xb;
end

X1 = k * X2;
Xm = X_NL - X1;
R2 = (R_LR - R1) * ((X2 + Xm) / Xm)^2;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_motor_induccion_trifasico_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circuito equival. del motor de induccion por fase');
fprintf('\n recomendado por IEEE');
fprintf('\n R1 = %.3f [Ohms]', R1);
fprintf('\n R2 = %.3f [Ohms]', R2);
fprintf('\n X1 = %.3f [Ohms]', X1);
fprintf('\n X2 = %.3f [Ohms]', X2);
fprintf('\n Xm = %.3f [Ohms]\n', Xm);
diary off

```

### VIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo brindado para la realización

de este trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] Pereira, J. R. y Pinho, P. (1988). "Using modern tools to explain the use of the Smith chart," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 145-150, April 2010.
- [2] The MathWorks, Inc. (2011). *MATLAB Getting Started Guide*.
- [3] Eaton, J. W. (2002). *GNU Octave Manual*.
- [4] Chapman, S. J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. USA: McGraw-Hill.
- [5] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C. y Umans, S. D. (2003). *Electrical Machinery*. USA: McGraw-Hill.
- [6] Guru, B. S. y Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric Machinery and Transformers*. USA: Oxford University Press.
- [7] Georgilakis, P. S. (2009). *Spotlight on Modern Transformer Design*. Greece: Springer.

# Propuesta de Intervención Educativa para Mejorar la Calidad en Educación Virtual Mediante el Uso de Redes Sociales

E. T. Aguirre Mejía <sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo., Av. Tecnológico 1555 Sur. Ciudad Lerdo, Durango.

**Resumen**— La educación tecnológica es transmitir conocimiento asociando pedagogía y tecnología, muchos docentes la aplican, adhieren y perfeccionan mediante el uso adecuado, las herramientas tecnológicas ofrecen innumerables oportunidades de desarrollo y aplicación en la educación, pueden ser utilizadas como medios para construir, crean una experiencia diferente en el proceso de enseñanza/aprendizaje para alumnos, los docentes las vinculan básicamente con la forma en la que ellos aprenden mejor (utilizando tecnología), y funcionan como elementos importantes para la construcción de su propio conocimiento. Debido a esto los docentes del siglo XXI superaran los retos de nuevas tecnologías, así como el desarrollo de técnicas y actividades donde se integren conocimientos y perfeccionen habilidades. Desafiar los nuevos modelos de aprendizaje es tarea diaria y el docente superará la parte tecnológica, y también la innovación en la aplicación para el conocimiento y el aprendizaje. El siguiente artículo propone una lista de actividades (estrategias) para la implementación de herramientas tecnológicas (redes sociales) en la práctica docente

**Temas claves**— Redes Sociales, Aprendizaje virtual, Educación Virtual.

**Abstract**— The technological tools offer innumerable opportunities of development and application in education, they can be used as means to build, create a different experience in the process of teaching and learning for students, as well as the development of activities where expertise to integrate and refine skills and techniques. Challenge the new models of learning is a daily task and the teacher will surpass the technological part as well as innovation in the application for knowledge and learning. The following article offers a list of activities (strategies) for the implementation of technological tools (social networks) in the teaching practice.

**Keywords**— Social Network, Virtual Learning, Virtual Education.

## I. INTRODUCCIÓN

La educación como elemento primordial para crecer, integrar, fortalecer, mejorar y trascender; permiten esencialmente transmitir conocimientos por medio de diferentes canales, y ante esa eventualidad los docentes tienen el cometido de explorar nuevas técnicas, procedimientos, métodos y tecnologías; en efecto deben desarrollar una serie de habilidades y competencias inherentes al quehacer docente enfocadas a satisfacer los retos que la globalización y la demanda tecnológica.

Ello implica una planificación secuencial y lógica a partir de objetivos, actividades didácticas, motivaciones, refuerzos y otros aspectos observables, demostrables o medibles a tomar en cuenta (exámenes, test, otros). Es un aprendizaje basado en condicionamientos, refuerzo de conductas gratificantes y el modelaje. La pedagogía logra que la educación cumpla eficazmente su propósito: “reproducción del conocimiento (aprendizaje), fomentar el pensamiento crítico, y transformación en la cultura”

En las últimas décadas la educación ha sufrido incesantes cambios, hemos navegado entre el conductismo, constructivismo, competencias y lo denominado hoy “educación tecnológica”, este último concepto es determinado por la aplicación de tecnologías para crear, diseñar, implementar, impartir, difundir,

comunicar, representar, monitorear, seguir, evaluar y documentar los avances significativos en asimilación del conocimiento.

Es necesario hacer referencia a los modelos de aprendizaje que han evolucionado la educación en nuestro país. La Tabla 1 muestra los diferentes modelos de aprendizaje, nótese que el modelo tecnológico es una combinación tanto del modelo tradicional como el modelo constructivista. El éxito de los modelos educativos a lo largo de los años, se debe en gran medida a la correcta absorción, esmero y perseverancia de docentes dedicados y preocupados por la educación en México. Si bien el estado logra capacitar al docente, la práctica especializada logra obtener excelentes frutos, el compañerismo y la colaboración mutua han logrado en los últimos años un avance en materia de socialización del conocimiento.

Actualmente en el reciente modelo educativo tecnológico, el docente tiene un papel protagonista, ya que no solo diseñará procesos de enseñanza-aprendizaje, requerirá de innovación en el proceso, con énfasis en el uso y fortalecimiento de las TICs, lo denominado hoy en día: “educación tecnológica”.

Estamos hablando de la preocupación por brindar inclusión digital a todos los niveles, específicamente enfocada a reducir la brecha entre sectores sociales y entre generaciones, sobre el acceso y el uso que se hace de las nuevas tecnologías (TICs).

Como menciona (Carneiro 2006) “El profesor enseña mientras aprende, orienta mientras colabora, desarrolla mientras investiga, lidera mientras participa, utiliza aptitudes críticas mientras las expande constantemente, crea futuro mientras actúa en el presente”, primordial es que los docentes ambicionen nuevos procesos de transferencia del conocimiento puesto que la demanda de tecnológica educativa está en aumento.

El docente en la actualidad acompaña al alumno en el proceso de adquisición del conocimiento; al utilizar tecnología para cumplir este propósito observamos que los docentes se convierten en expertos sobre el manejo, uso, aplicación de programas y equipo para satisfacer esas necesidades. Existen infinidad de aplicaciones y programas, tanto para PC, Laptop, Tablet y Celulares, que pueden utilizarse con fines educativos, existen al alcance programas para construir, analizar, comentar, difundir, evaluar y colaborar, utilizados de manera local o bajo ambientes virtuales y con la ventaja de poderlos sincronizar con otras tecnologías de apoyo a la educación.

La Tabla 1, representa los distintos modelos de aprendizaje utilizados en las últimas décadas por la educación pública en México, se observa como en cada modelo los propósitos fueron modificados y de la misma manera, las características y aprendizajes sufrieron cambios.

MODELOS EDUCATIVOS			
MODELO	PROPÓSITO/ OBJETIVO	CARACTERÍSTICAS	APRENDIZAJE
TRADICIONAL	*Enseñanza como arte, donde se explica claramente a un grupo mediante avances progresivos	*Profesor especialista *Dominio de Materia *Enseñanza=Transmisión de saber.	*Aprendizaje por imitación, lineal, sin pautas, limitado a conocimientos del docente
CONSTRUCTIVISTA	*Interacción social, donde se construye el aprendizaje y el desarrollo cognoscitivo.	*Sujeto interactivo activo, interrelación entre organizamos, donde crea su propio destino hacia la nueva sociedad.	*Aprendizaje mediante la construcción de esquemas mentales, que es duradero y significativo, fruto de la reflexión.

<b>TECNOLÓGICO</b>	*Construcción del conocimiento medido, planificado y estratificado, uso de las tecnologías al alcance del alumno, interacción alumno/profesor y diseño de materiales accesibles y amigables.	*Planificación de contenidos *Normalización de actividades *Esquemas definidos *Uso de tics	*Aprendizaje monitoreado, dirigido y evaluado *Información al alcance *Apoyo continuo *Avances decididos
--------------------	--	--	---

*Tabla 1. Modelos educativos a lo largo del tiempo*

En la actualidad nos rige el modelo de inclusión tecnológica, mismo que permite al docente gestionar el proceso de enseñanza, el modelo refleja que la educación está centrada en el alumno, recibiendo apoyo constante, ser monitoreado y auto dirigido, con información al alcance de la mano. Es por ello que el presente artículo presenta una propuesta de intervención, para que el modelo sea eficiente y obtenga los resultados esperados, permite visualizar a una de las herramienta más utilizadas por los jóvenes hoy en día (redes sociales), como un aliado para el proceso de aprendizaje, para ello es necesario conocerlas a fondo saber distinguirlas, identificarlas y utilizarlas por propósito y fin, para que sean un beneficio y un aliado para el profesor.

**1. Redes sociales como uso educativo**

Las redes sociales son el medio de comunicación masiva por excelencia, es una aplicación que se encuentra al alcance de todos, en su gran mayoría no necesita requerimientos especiales de hardware, su utilización entre los jóvenes va en aumento por la facilidad de acceso y su amigable manejo, por ello la importancia de integrarlas y utilizarlas a nuestro favor en la cotidianeidad de la educación.

Una red social es un “un sitio virtual cuya finalidad es permitir a los usuarios relacionarse, comunicarse, compartir contenido y crear comunidades”, es una herramienta de “democratización de la información que transforma a las personas en receptores y en productores de contenidos”. Tienen como finalidad principal poner en contacto e interconectar a personas, de tal forma que a través de la plataforma tecnológica facilite la conexión de forma sencilla y rápida, y permita la interacción entre usuarios ya sea compartiendo o facilitando información.

**1.1 Ventajas educativas de las Redes Sociales**

Las nuevas tecnologías ofrecen una gama de posibilidades para la adquisición, comprensión y análisis del conocimiento, para su utilización se proponen una serie de técnicas que le permitan al profesor lograr con éxito el proceso de enseñanza-aprendizaje, entre las ventajas de la utilización de las redes sociales tenemos:

- Los alumnos desarrollan habilidades autodidactas.
- Los alumnos desarrollan competencias tecnológicas.
- Los alumnos desarrollan habilidades y aptitudes de socialización y de trabajo en equipo.
- Fomentan la participación activa.
- Fomentan la toma de decisiones y formación.
- Permite la evolución de procesos cognitivos tales como el razonamiento, capacidad de síntesis y análisis.
  - Permite el desarrollo profesional docente.
  - Permite el intercambio de experiencias, noticias, información y contacto entre pares.

La correcta utilización, implementación, uso efectivo y eficiente de las redes sociales es tarea ardua, previamente se deben diagnosticar y analizar las distintas redes sociales, hacer una pequeña encuesta sobre la preferencia entre nuestros alumnos, se define el propósito de su utilización, los logros esperados, la mecánica de participación, las competencias requeridas y alcanzadas, las evaluaciones formativas y/o sumativas, así como el cierre y conclusión de la participación. Para obtener el máximo beneficio de las redes sociales, el

docente debe inferir el propósito de las mismas, las características que poseen y las alternativas de funcionamiento.

**1.2 Tipos de redes sociales**

Para elegir adecuadamente una red social e integrarla a una actividad educativa, es necesario conocerlas y utilizarlas para obtener un resultado factible. Se presenta a continuación una clasificación de redes sociales propuesta por la ONTSI.

**1.2.1 Redes sociales directas.**

Son redes sociales directas aquellas en cuyos servicios prestados a través de Internet exista una colaboración entre grupos de personas que comparten intereses en común y que, interactuando entre sí en igualdad de condiciones, pueden controlar la información que comparten. Los usuarios de este tipo de redes sociales crean perfiles a través de los cuales gestionan su información personal y la relación con otros usuarios.

El acceso a la información contenida en los perfiles suele estar condicionada por el grado de privacidad que dichos usuarios establezcan para los mismos. De acuerdo a un estudio realizado en el 2011 por la ONTSI organismo de investigación que pertenece al fondo europeo de desarrollo regional, propone una clasificación de las redes sociales directas de acuerdo a la función del enfoque.

<i>CLASIFICACIÓN DE REDES SOCIALES</i>			
Según finalidad	Según modo de funcionamiento	Según grado de apertura	Según nivel de integración
De ocio	De contenidos	Públicas	De integración vertical
De uso profesional	Basada en perfiles: personales/profesionales	Privadas	De integración horizontal
	Microblogging		

*Tabla 2. Clasificación de redes sociales directas en función del enfoque, fuente ONTSI*

En la clasificación de redes sociales por su finalidad, se tiene en cuenta el objetivo que persigue el usuario al utilizar la red. Se establecen bajo este argumento las siguientes categorías:

	Tipo de usuarios	Intereses	Función
De ocio	Estudiantes Docentes Profesionistas Público en general	Entretenimiento Relaciones personales Intercambio de información	Potenciar relaciones interpersonales entre sus miembros Intercambio de información actualizada y relevante
De uso profesional	Docentes Profesionistas Inversionistas Buscadores de Talento	Incrementar agenda de contactos Búsqueda de oportunidades Intercambio de información técnica o de especialidad	Potenciar relaciones profesionales Permitir la búsqueda de talentos

*Tabla 3. Clasificación de redes sociales por su finalidad*

Para la clasificación de acuerdo al modo de funcionamiento, se tiene en cuenta el conjunto de procesos que estructuran las redes sociales y las orientan de forma particular hacia actividades concretas, Se establecen las siguientes subcategorías:

	Tipo de usuarios	Intereses	Función
De Contenidos	Público en general	Crear contenidos audiovisuales y escritos. Distribuir y compartir contenidos Comentar los contenidos de contactos	Compartir contenidos Disponibilidad de contenidos Acceso a contenidos
Basada en perfiles	Docentes Profesionistas Investigadores	Creación de perfiles Crear ambientes de contenidos específicos Publicar contenidos Obtener reconocimiento Marketing de contenidos	Descarga de contenidos Beneficio por descargas Compartir contenidos Seguimiento de publicaciones
Micro blogging	Investigadores Profesionistas Empresas Comunicadores Público en general	Crear bitácoras Compartir experiencias Publicar contenidos Marketing	Generar círculos de seguidores Compartir contenidos

**Tabla 4. Clasificación de redes sociales por su contenido**

Según el grado de apertura en las redes sociales se toma en cuenta la capacidad de acceso a las mismas por cualquier usuario con las respectivas restricciones. Se establecen la siguiente categoría para este tipo de redes sociales.

	Tipo de usuarios	Intereses	Función
Públicas	Público en general	Compartir información Relaciones personales	Acceso a contenidos
Privadas	Docentes Profesionistas Inversionistas Investigadores	Compartir información técnica Acceso a información especializada Incrementar agenda de contactos Contactos con mismos intereses	Compartir contenidos Seguimiento de publicaciones

**Tabla 5. Clasificación de redes sociales por su apertura**

Desacuerdo al nivel de integración, se tiene en cuenta el nivel de afinidad, interés, estudio o actividades profesionales. Para este tipo de redes sociales se establecen solo dos categorías.

	Tipo de usuarios	Intereses	Función
Vertical	Público con similitud en intereses Profesionistas pares Formación afín	Compartir información Relaciones personales Pertener a un grupo selecto	Acceso a últimas noticias Membrecías Acceso por invitación
Horizontal	Público en general	Compartir información Acceso a información Incrementar agenda de contactos Relaciones personales	Proponer ideas Marketing Agenda de contactos

**Tabla 6. Clasificación de redes sociales por su nivel de integración**

Existe una gama de redes sociales a la disposición de todo docente, si bien hemos hablado sobre la clasificación de las redes sociales, es importante señalar que en las redes sociales directas existe la capacidad

de otorgar a los usuarios un amplio conjunto de acontecimientos, eventos, sucesos, informaciones, catálogos y comentarios sin la necesidad de desplazamiento geográfico, dichas redes impactan de manera masiva a usuarios ya que brinda acceso en tiempo real y, a la distancia de un solo clic.

A este fenómeno impactante en las redes sociales directas se le denomina “ubicuidad”, entendida como la capacidad de figurar dentro de varias categorías bajo enfoques diferentes al mismo tiempo. En la siguiente tabla se aprecia, un grupo de redes sociales directas que proporcionan “ubicuidad” en grados diferentes.

RED SOCIAL	Finalidad		Funcionamiento			Ape r tura	Integración	
	De ocio	De uso profesional	De contenidos	Basadas en perfiles	Micro blogging	Públicas	Privadas	Integración vertical Integración horizontal
<i>Facebook</i>	X	X	X			X	X	X
<i>Twitter</i>	X	X	X			X	X	X
<i>YouTube</i>	X	X	X			X		X
<i>LinkedIn</i>		X		X	X		X	X
<i>MySpace</i>	X			X			X	X
<i>GooglePlus</i>	X			X	X		X	X

*Tabla 7. Clasificación de redes sociales directas en función de la ubicuidad que ofrecen, fuente ONTSI*

**1.2.1 Redes sociales indirectas.**

Son redes sociales indirectas aquellas cuyos servicios prestados a través de Internet cuentan con usuarios que no suelen disponer de un perfil visible para todos existiendo un individuo o grupo que controla y dirige la información o las discusiones en torno a un tema concreto. Resulta especialmente relevante aclarar que este tipo concreto de redes sociales son las precursoras de las más recientes redes sociales directas desarrolladas dentro del nuevo marco de la Red 2.04

**Clasificación de redes sociales indirectas**

**a) Redes sociales tipo Foro.**

Son una herramienta tecnológica que brinda un espacio de colaboración y socialización, además permite la comunicación a partir de una convocatoria especial, donde cada participante publica un mensaje que está a la vista del resto. Son servicios prestados a través de Internet concebidos, en un principio, para su empleo por parte de expertos dentro un área de conocimiento específico o como herramienta de reunión con carácter informativo. En ellos se llevan a cabo intercambios de información, valoraciones y opiniones existiendo un cierto grado de bidireccionalidad en la medida en que puede responderse a una pregunta planteada o comentar lo expuesto por otro usuario. En ambientes educativos virtuales existen una gran variedad de tipos de foros, los cuales brindan al docente la oportunidad de utilizarlos para múltiples objetivos y de acuerdo a la finalidad requerida.

**b) Redes sociales tipo Blog.**

Son servicios prestados a través de Internet que suelen contar con un elevado grado de actualización y donde suele existir una recopilación cronológica de uno o varios autores. Es frecuente la inclusión de enlaces en las anotaciones y suelen estar administrados por el creador, donde plasma aspectos que a nivel personal considera relevantes o de interés.

Desde el nacimiento de las redes sociales se han ido incorporando nuevas herramientas que permiten a los usuarios de redes sociales llevar a cabo un amplio conjunto de actividades. Éstas varían de una red social a otra, pero actualmente existen redes sociales directas de perfil personal de amplia penetración en nuestro país que concentran una gran cantidad de servicios y herramientas, como la mensajería privada en tiempo real, que

hace innecesario acudir a otras páginas o emplear otras herramientas para realizar todas las funciones que antes se solían realizar por separado.

## 2. Funciones incluidas en redes sociales.

Las redes sociales incluyen herramientas para facilitar su uso, aumentar la popularidad y reducir el acceso a la información.

Las herramientas más empleadas en las redes sociales de tipo directa son:

- Aplicaciones para subir fotos: permiten la creación de álbumes de fotografía y la realización de comentarios sobre las fotos que se insertan en los mismos.
- Mensajería privada/pública: permite interactuar y facilita la comunicación dentro de la red social con otros contactos.
- Perfil: se trata de la página personal que posee cada usuario de una red social directa de perfil, que contiene información propia del usuario y la relación entre sus contactos.
- Juegos online, Fan de marcas y Concursos: enfocadas al ámbito comercial y de gran utilidad para la publicidad.

Es importante destacar que en la actualidad es de suma importancia la inclusión de tecnología en la educación, con las denominadas “Competencias”, la educación debe evolucionar, el docente debe tener experticia en el uso e implementación de estrategias, para obtener beneficios y logros esperados.

Las Competencias permiten a los docentes visualizar desde distintos puntos de vista los avances educativos de los alumnos, por ejemplo:

- Se plasma un video informativo a los alumnos, el cual tiene como apoyo un documento; el video viene acompañado de un medio auditivo, y por último se diseñan una serie de estrategias “ejercicios lúdicos de interacción” referentes al tema, para reforzar los conocimientos.

*Representando el mismo contenido en formas distintas como: texto simple, Video lúdico y Audio explicativo, y ejercicios tanto de análisis, interpretación y solución, logramos abarcar todos los estilos de aprendizaje y obteniendo en los resultados niveles de competencia aceptables.*

Este solo es un simple ejemplo de como la tecnología apoya a la docencia en su tarea cotidiana, incluir este tipo de actividades dentro de las planeaciones nos lleva a obtener excelentes resultados. Diseñar dichas actividades es trabajo arduo, cabe señalar que es mucho más de lo cotidiano.

## 3. Técnica para el diseño adecuado de actividades virtuales

A continuación se proponen una serie de actividades escalonadas que permiten obtener un resultado sin ambigüedades, sin tiempos perdidos y diseños fallidos. Como docentes habrá que realizar:

1. **Un previo análisis del objetivo y competencias a alcanzar.**
2. **Elegir un tema que se preste para representarlo en formas variadas.**
3. **Elegir las actividades de reforzamiento del tema**
4. **Elaborar un calendario para creación de las actividades que contenga:**

• *Periodo para búsqueda de información*  
 • *Fechas o periodos de realización de Actividades por separado*  
 • *Periodo de implementación y asesoría (por parte del docente); y realización (por parte de alumno) de dichas actividades.*

- *Fecha para cierre de actividades*
- *Periodo para evaluación de actividades*
- *Fecha para dar a conocer resultados*

5. **Realizar el proceso de depuración de la información.** *Cabe señalar que este tipo de actividades debe ser de contenido breve, de lo contrario, se perderá el objetivo.*

6. **Diseñar y elaborar los materiales de apoyo para la actividad los cuales deben ser:**

• *Un video explicativo del tema, que incluya audio claro y explícito, con imágenes propias, adecuadas y directas.*

- *Un artículo que brinde apoyo al tema.*
- *Actividades interactivas lúdicas que pueden ser: crucigramas, cuestionarios, arrastrar y poner, terminar frases, emparejamiento, etc.*

Algunas actividades comúnmente utilizadas en plataformas virtuales son ver Tabla 8.

MATERIALES DE APOYO UTILIZADOS BAJO AMBIENTES TECNOLÓGICOS					
	<b>Videos</b>	Con información institucional o explicación de algún tema.		<b>Presentación</b>	Señala la existencia de un material de presentación bajo el formato tradicional o algún otro similar.
	<b>Lecturas</b>	Diversos temas, artículos de Internet, fragmentos de libros, etcétera.		<b>Artículo de Interés</b>	Refiere a material complementario como artículos de divulgación científica, de consulta literaria, etcétera.
	<b>Ejercicios y cuestionarios</b>	Reforzamiento y repaso de conceptos.		<b>Audio</b>	Identifica la existencia principalmente de un audio o podcast.
	<b>Foros</b>	Para dudas sobre las temáticas abordadas en cada módulo.		<b>Objeto de aprendizaje</b>	Señala la existencia de uno o más objetos multimedia.
	<b>Tips</b>	Sugerencias, recomendaciones e información complementaria que contribuye al aprendizaje del participante.		<b>Página web</b>	Refiere a un enlace para consultar en Internet, como la lectura una página en línea.

Tabla 8. Tipos de materiales tecnológicos.

**7. Diseñar las instrucciones de participación, uso e interacción de la actividad.**

**8. Diseñar la rúbrica de valoración de la actividad**

**4. Técnicas para elegir una red social adecuada**

Es importante señalar que primero debe elegirse el contenido y después la red social, como se mencionó, cada red social tiene un propósito y uso específico y lo determinara el tipo de contenido.

Las acciones a seguir para elegir una red social son las siguientes:

- *Determinar el objetivo de la actividad.*
- *Saber el propósito de la actividad y competencias a alcanzar.*
- *Descripción de la actividad, (presentación, tiempos, interacciones, resultados)*
- *Determinar los requerimientos necesarios tanto de software y hardware que utilizará la actividad.*
- *Determinar el tipo de usuarios para la actividad*
- *Determinar los intereses de los usuarios para la actividad*
- *Determinar la función propia de la red social elegida*
- *Analizar los propósitos de las red social elegida*
- *Comparar los resultados con las tablas anteriormente presentadas*
- *Determinar la red social idónea, tanto para los usuarios de la misma como para la realización de la actividad e interacción alumno-docente.*

Siguiendo estas recomendaciones y uso regular se fortalecerá la práctica docente, se acumularán experiencias positivas y se generará experticia en los usuarios. Los resultados incrementaran la profesionalización tecnológica docente. Utilizar a nuestro favor las ventajas que ofrece la tecnología educativa, acercará a nuestros alumnos a entornos globalizados, de intercambio y comunicación, alcanzando las competencias y habilidades que el entorno mundial exige. El reto es de diseñar contenidos que cumplan los estándares de calidad, contenidos que sean utilizados bajo plataformas virtuales, observados, analizados y revisados cada vez que el alumno lo necesite, y en este tenor, él mismo construya su propio conocimiento. Proponer el uso adecuado y lineamiento eficaz, así como demostrar que la tecnología es a nuestro favor y en pro de nuestro beneficio y de los alumnos, fue el principal objetivo de la redacción de este documento.

## REFERENCIAS

- [1] Chog Mercedes y Castañeda Rosalba. (2013). Sistema Educativo en México. El Modelo de Competencias, de la industria a la educación. Revista Filosofía y Letras. No. 63. México.
- [2] De Haro Juan. (2011). Redes Sociales para la Educación. Colección de Manuales imprescindibles. Anaya Multimedia. España.
- [3] Freire, P. (2005). Pedagogía del Oprimido. (55ª Edición) México: Siglo XXI.
- [4] Infante Alonso y Aguaded José (2010). Las redes sociales como herramientas educativas. Capítulo 9 (págs. 163-176). Universidad de Huelva. España
- [5] Ureña Alberto (2011). Estudio de las Redes Sociales en Internet. Fondo Europeo de Desarrollo Profesional. España.
- [6] Vélez Griselda (2006). El docente ante los retos educativos dl siglo XXI. Revista Pampedia No. 2. México.
- [7] Vygotski, L. (1979). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Barcelona: Grijalbo.
- [8] Hernández R. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje. En: «Comunicación y construcción del conocimiento en el nuevo espacio tecnológico» [monográfico en línea]. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC). Vol. 5, n.º 2. UOC. [Fecha de consulta: 16/05/2014]. <http://www.uoc.edu/rusc/5/2/dt/esp/hernandez.pdf>
- [9] Deval Juan. Como se construye el conocimiento. [Monográfico en línea]. [Fecha de consulta: 13/12/2013]. <[http://antoniopantoja.wanadooasdl.net/recursos/varios/cons\\_cono.pdf](http://antoniopantoja.wanadooasdl.net/recursos/varios/cons_cono.pdf) >

# Propuesta de kit didáctico para la aplicación de controladores

P. Salazar-Castillo<sup>1</sup>, L. López-Aparicio<sup>1</sup>, J.H. Rivera-Machado<sup>1</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 Sur Col. Periférico, Ciudad Lerdo, Durango, México.

**Resumen**— Este kit didáctico, cuya finalidad es la de controlar un motor de CD, presenta la posibilidad de comprender el funcionamiento físico de los controladores, en un ambiente educativo que proporcione no sólo el conocimiento, sino el fundamento y aplicación de los aprendizajes que se van adquiriendo en el paso por la educación superior en el área de control.

**Temas claves**— Kit didáctico, Control Proporcional, Control Integral, Control Derivativo, Control Proporcional Integral, Control Proporcional derivativo, Control Proporcional Integral Derivativo

**Abstract**— This didactical kit, whose target is to control a DC motor, presents the possibility to understand the physical functioning of controllers within an educational environment which allows knowledge but also the fundamentals and applications of those learnings that are being acquired through the university formation in the major subject of Control.

**Keywords**— Didactical Kit, Proportional control, Integral Control, Derivative control, Proportional Integral Control, Proportional Derivative control, Proportional Integral Derivative control

## I. INTRODUCCIÓN

Los recursos didácticos son de gran importancia porque nos ayudan a explicar de manera clara y sencilla algún tema específico, logrando que el educando pueda adquirir una adecuada percepción de lo que se le desea transmitir [9].

La finalidad del material didáctico es la transmisión de contenidos de aprendizaje significativos ordenados con lógica para que puedan ser fácilmente comprendidos; y por lo tanto pasen a la memoria operativa del estudiante [9].

El kit didáctico propuesto ayudaría a comprender mejor el funcionamiento de los controladores mediante la comprobación física de su comportamiento. La finalidad del proyecto es diseñar un Kit didáctico que, mediante el control de un motor de CD, ayude a comprender el funcionamiento de los diferentes tipos de controladores que existen.

La principal característica del proyecto es su modularidad. Los módulos son los diferentes tipos de controlador que existen, los cuales son los siguientes: Proporcional, Derivativo, Integral, Proporcional Derivativo, Proporcional Integral, Proporcional Integral Derivativo (P, D, I, PI, PD, PID) [1].

El funcionamiento de este sistema aplicado en el Kit didáctico, consiste en controlar la posición de un motor de corriente directa de tal manera que al poner como referencia un voltaje se regule la posición del motor se iguale el voltaje a la salida [6].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### Parte teórica

#### Acción de Control Proporcional

El controlador Proporcional es en realidad un amplificador con ganancia ajustable. Este control reduce el tiempo de subida, incrementa el sobretiro y reduce el error de estado estable [8].

Para una acción de control Proporcional la relación entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  es (1):

$$u(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

donde  $K_p$  es la ganancia proporcional. Si se aplica la transformada de Laplace se obtiene (2) y (3):

$$U(s) = K_p E(s) \quad (2)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (3)$$

#### Acción de Control Integral

La acción de control Integral se denomina control de reajuste (*reset*) [2]. En un controlador integral la relación entre la salida del controlador  $u(t)$  (4) y la señal de error  $e(t)$  (5) es:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (4)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) \quad (5)$$

donde  $K_i$  es una constante ajustable. Si se duplica el valor de  $e(t)$ , el valor de  $u(t)$  varía dos veces más rápido. Para un error de cero, el valor de  $u(t)$  permanece estacionario.

Si se aplica la transformada de Laplace (6) se obtiene:

$$U(s) = \frac{K_i}{s} E(s) \quad (6)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (7)$$

Como se puede ver en la fórmula anterior el control Integral añade un polo en el origen, con lo cual el sistema se vuelve menos estable (7).

#### Acción de Control Derivativo

La acción de control Derivativo (8) es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error  $e(t)$ , es decir:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

donde  $K_d$  es la ganancia derivativa y tiene unidades de  $s$ . Con el control derivativo, tan pronto como la señal de error inicia puede haber una salida del controlador muy grande, puesto que ésta es proporcional a la razón de cambio de la señal de error y no a su valor. De este modo puede proporcionar una acción correctiva grande antes de que se presente un error grande en realidad. Sin embargo, si el error es constante, entonces no

hay acción correctiva, aun si el error es grande. Así, el control derivativo es insensible a señales de error constantes o que varían con lentitud y, en consecuencia, no se usa solo, sino combinado con otras formas de controlador [1].

Si se aplica la transformada de Laplace (9) y (10) se obtiene:

$$U(s) = K_d s E(s) \quad (9)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \quad (10)$$

Como se puede ver en la fórmula anterior el control Derivativo añade un cero en el origen, la acción derivativa como se mencionó anteriormente no se usa sola sino sólo en conjunto con otra forma de controlador. Cuando se usa esta acción de control se logra que la respuesta sea más rápida.

### Acción de Control Proporcional Integral

El control Proporcional Integral decreta el tiempo de subida, incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización, y tiene el efecto de eliminar el error de estado estable pero empeorará la respuesta transiente.

La acción de control Proporcional Integral se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \quad (11)$$

en donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_i$  se denomina tiempo integral (11). El tiempo integral ajusta la acción del control, mientras que un cambio en el valor de  $K_p$  afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso del tiempo integral  $T_i$  se denomina velocidad de reajuste. La velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

Si se aplica la transformada de Laplace (12) y (13) se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) \quad (12)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{s T_i} \right) \quad (13)$$

### Acción de Control Proporcional Derivativo

El control Proporcional Derivativo reduce el sobre impulso y el tiempo de estabilización, por lo cual tendrá el efecto de incrementar la estabilidad del sistema mejorando la respuesta del sistema. La relación de un controlador Proporcional Derivativo entre la salida  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  está dada por (14):

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (14)$$

en donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_d$  es una constante denominada tiempo Derivativo.

La acción de control Derivativo, en ocasiones llamada control de velocidad, ocurre donde la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. El tiempo Derivativo  $T_d$  es el intervalo de tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción proporcional. La acción de control Derivativo tiene un carácter de previsión. Sin embargo, es obvio que una acción de control Derivativo nunca prevé una acción que nunca ha ocurrido.

Aunque la acción de control Derivativo tiene la ventaja de ser de previsión, tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede provocar un efecto de saturación en el actuador (15).

Si se aplica la transformada de Laplace (16) se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s) + K_p T_d s E(s) \tag{15}$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + s T_d) \tag{16}$$

**Acción de Control Proporcional Integral Derivativo**

La combinación de una acción de control Proporcional, una acción de control Integral y una acción de control Derivativo se denomina acción de control Proporcional Integral Derivativo. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

En la tabla I se resumen las características de los controles mencionados [5].

TABLA I. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE ACCIÓN DE CONTROL.

Tipo de Control	Tiempo de subida	Sobre impulso	Tiempo de estabilización	Error en Estado estable
Proporcional	Decrece	Crece	Cambio menor	Decrece
P. Integral	Decrece	Crece	Crece	Se elimina
P. Derivativa	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor

Las correlaciones de la tabla mostrada no son muy precisas, porque  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  son dependientes entre sí, por lo cuál esta tabla sólo debe ser tomada como una referencia.

La relación entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  de la acción de control Proporcional Integral Derivativo está dada por (17):

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \tag{17}$$

en donde  $K_p$  es la ganancia proporcional,  $T_i$  es el tiempo integral y  $T_d$  es el tiempo Derivativo.

Si se aplica la transformada de Laplace (18) y (19) se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s) + K_p T_d s E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) \tag{18}$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right) \tag{19}$$

*Parte práctica*

A continuación se describen los procedimientos llevados a cabo para el ensamblado del Kit didáctico [7].

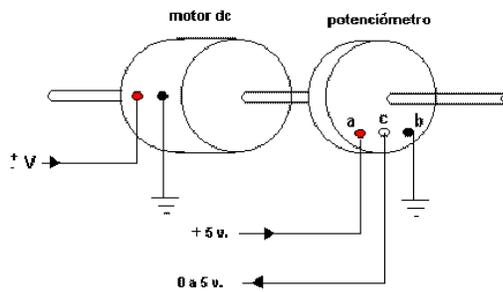
**Material y equipo:**

Un motor de cd de imán permanente de 3,6 9 o 12 voltios que no consuma más de 1 amper  
 Dos Potenciómetros lineales de 10 KΩ , una sola vuelta

- Un Acople mecánico entre el eje del motor y el eje del potenciómetro
- 2 transistores el C2073 (nnp) y el A1011(pnp) (o equivalentes)
- Tres amplificadores operacionales LM741
- Cuatro resistencias de 270 KΩ
- Dos resistencias de 39 KΩ
- Una resistencia de 1 KΩ
- Un potenciómetro lineal de 100 KΩ
- Fuente de 5 voltios
- Fuente dual con voltajes de 0 a 15 voltios de cd
- Multímetro
- Protoboard

**Procedimiento o desarrollo**

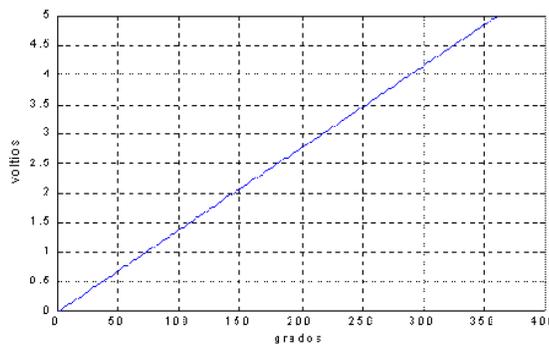
1. Acoplar el motor con el potenciómetro [1].



**Figura 1. Posición del potenciómetro**

Se debe aplicar 5 voltios de corriente directa entre sus terminales fijos a y b que se muestran en la figura. En forma manual y gradual comience a girar, desde la posición inicial, en sentido dextrógiro (o levógiro) y mida el voltaje en el terminal c para cada incremento de la posición. El incremento (o decremento) del voltaje debe ser proporcional al incremento o decremento de la posición del potenciómetro.

Si se toman los datos de voltaje para cada posición del potenciómetro la graficación de éstos sería similar a la mostrada [2].



**Figura 2. Graficación de datos de voltaje**

Del acople mecánico entre el eje del motor y el eje del potenciómetro se debe verificar que no exista deslizamiento [3].

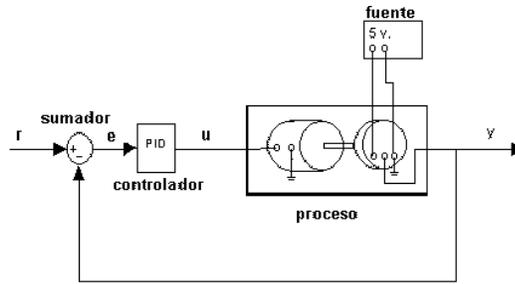


Figura 3. Posición correcta de los ejes.

2. Armar el sistema con el control proporcional, como se muestra [4].

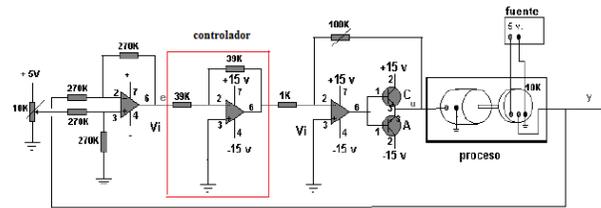


Figura 4. Armado total con el control proporcional

3. El control proporcional puede cambiarse por el integral [5], derivativo [6], PD [7], PI [8] y PID [9].

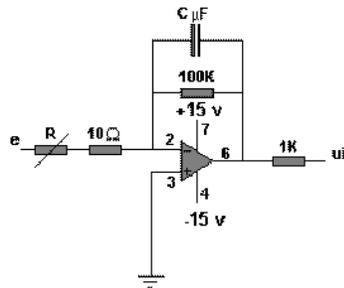


Figura 5. Control Integral

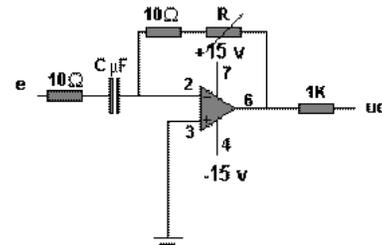


Figura 6. Control derivativo

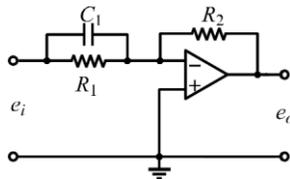


Figura 7. Control Proporcional Diferencial

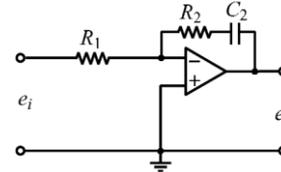


Figura 8. Control Proporcional Integral

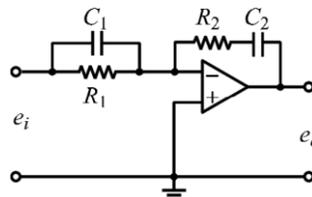
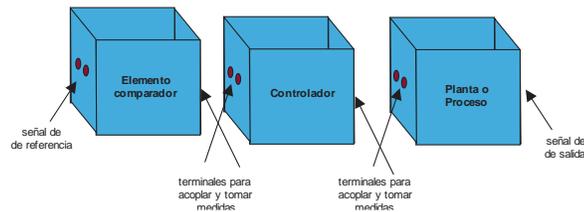


Figura 9. Control Proporcional Integral Derivativo

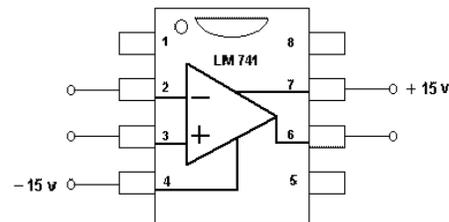
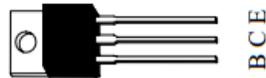
### Resultados

El resultado será un Kit didáctico que cuente con un sistema modular intercambiable con terminales, para proporcionarle la señal de referencia al comparador, controlador, planta o proceso y otras terminales para medir la salida (a la salida de cada elemento se le pueden colocar terminales para tomar mediciones de cada bloque) [10]. La principal característica del sistema es que el módulo del controlador puede cambiarse por cualquier controlador (P, I, D, PI, PD o PID).



**Figura 10. Simulación de Kit didáctico con módulos intercambiables**

### APÉNDICE A: DATOS DE LOS SEMICONDUCTORES



**Figura 11. Terminales de los transistores C2073 y A1011**    **Figura 12. Terminales del Amp. Op. LM 741**

### REFERENCIAS

- [1] Bolton, W. (2001). *Ingeniería de control*. México: Alfaomega. p 225-234
- [2] Coughlin, R. (1999). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. México: Pearson Educación. p 67-72
- [3] Dorf, R.C. (2014). *Sistemas de Control Moderno*. Adison Wesley p 738-740
- [4] Electrónica Básica para Ingenieros Tema 8. Centro Nicaraguense de Capacitación Solar. Disponible en: <http://cenicasol.chica.org.ni/wp-content/uploads/2012/07/Tema8.pdf>
- [5] Franco, S. (2005). *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos*. México: Mc. Graw Hill. p 12-39
- [6] Kuo, B.C. (2002). *Sistemas Automáticos de Control*. México: CECSA. p 171-175, 191-197
- [7] Nuñez, F. (2007). *Control de movimiento empleando Labview, un enfoque didáctico*. Escuela de Ingeniería y Ciencias Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México. Disponible en: [http://caterina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/nunez\\_e\\_f/capitulo1.pdf](http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/nunez_e_f/capitulo1.pdf)
- [8] Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderno*. México: Pearson Educación. p 78-85
- [9] Salinas, E. (2011). *Los Medios Didácticos en el Proceso Educativo en Educacion Superior*. Escuela Militar de Ingeniería Pedagogía y Didáctica. La Paz - Murillo, Bolivia. [En línea]. Disponible en: <http://estifsalinas26.blogspot.mx/2011/11/los-medios-didacticos-en-el-proceso.html>

## INDICE AUTORES

<b>A</b>		Guerrero-Arriaga E.	87	<b>P</b>	
Aguirre Mejía E. T.	313	Guerrero-Rodríguez R.	217, 223	Pacheco-Juarez F.	205
Alpizar-Garrido L. O.	112	<b>H</b>		Padilla-Ochoa J.	196
Alvarado-Arroyo R.A.	182	Hernández C.	65, 96, 144	Palma-Asunción A.	11
Amador-Chagala H.	172	Hernández-Alvarado O.	120	Perez-Oviedo P.	20
Amaro C.	303	Herrera-García R.A.	81, 272	Piña-Piña G.	49
Arjona M. A.	96, 144, 65, 189	Honorato-Rodríguez E. Y.	240	<b>R</b>	
<b>C</b>		<b>I</b>		Ramos-Velasco L.E.	120
Castro-Juárez E. II	268, 297	Ibáñez-Salas J. F.	288	Ráñgel-Carrillo J. A.	72
Cháirez- Acosta L.I.	81, 272	Islas-Salas M. A.	112	Rascón-Escajeda T.E.	81
Chávez-Olivares C.	120	<b>J</b>		Reyes-Cortés F.	11
Chimal-Pilotzi O.	213	Jácome-Onofre P.	172	Rios-Favela M.A.	2, 280
Cid-Monjaraz J.	11	<b>L</b>		Rivera-Machado J.H.	322
Contreras-Contreras B.	172	Lagos-Acosta M.A.	128, 151	Rodríguez-Aguirre J. S.	240
<b>D</b>		Loa-Pelcastre L.	196, 205	Rodríguez-Campos F.E.	253
De Hoz-Diego J. D.	217, 223	Loera-Pacheco R.	87	Rodríguez-Lozano K.V.	253
De la Cruz-Valdez F.	103	López-Aparicio L.	322	Rodríguez-Torres M.E.	272
Díaz-Chacón J. M.	303	López-Cázar J. A.	288	Rojas-Balbuena D.	112
Díaz-Ramírez A.	288	<b>M</b>		Rosas-Morales J.M.	213
Dolores-Flores D.	205	Magallanes-Armendáriz J.F.	81	<b>S</b>	
Durán-Martínez E. I.	49	Manqueros-Aviles V.E.	2, 56, 103, 162	Salazar-Castillo P.	322
<b>F</b>		Marín-Castañeda N.G.	253	Salgado-Guzmán G.	128, 151
Favela-Herrera R.A.	280	Mar-Luna F.J.	217, 223	Salinas-Márquez J.A.	280
Fernández-Gallardo J.M.	144	Martínez-Navarro J.	136	Sánchez-Olvera J.J.	182
Fierro-Camacho E.	205	Mata-Brauer V.	303	Sánchez-Rangel F.J.	128, 151
Flores Prince C. U.	248	Mendoza Paz I.	213	Sandoval-Luevano M.J.	268, 297
Flores-Luevanos M.G.	2, 232	Mendoza-Figueroa G.	196	Segovia-Ortega E.F.	182
<b>G</b>		Meneses González S. R.	41	Sellschopp-Sánchez F.S.	87
Galindo-Mentle M.	112	Meza Medina J. L.	30	Serrano-Ruiz M.P.	81
Gámez-Vargas A.	2, 103	Montes Peralta L.	41	Solorio-Vega E.V.J	232
Gandarilla-Esparza I.	30	Montoya-Nafarrate M.	172	<b>T</b>	
García-Legaspi G.	81, 272	Morales-Bazán C. A.	189	Tapia-Vargas V.N.	128, 151
García-Rangel A.M.	272	Moreno López D. K.	248	Telona-Torres R. E.	240
González-Cadena J. R.	240	Moreno-Núñez E.	232	Torre-Nieto J.	20
González-De Hoyos L.S.	56	Muñoz-Avalos J. J.	189	<b>V</b>	
González-Domínguez J.	65, 96	<b>N</b>		Valenzuela-Martínez P.A.	262
González-Ramírez J. A.	72	Navarro A.	303	Vargas-Treviño A.	11
González-Vargas L.A.	56	<b>O</b>		Vega-Luna J.I.	128, 151
Grajeda-Soto C. E.	112	Ortíz-Pinto J.	103	Vergara-Limon S.	11

## **Guía para autores**

Se invita a todos los docentes, estudiantes e investigadores a enviar sus artículos de difusión científica y tecnológica en fechas programadas en la página del CONINCI y/o en la página web de la presente revista. Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje claro, didáctico y accesible correspondiente al público objetivo, con un discurso que aproveche al máximo los recursos narrativos, literarios y gramaticales. Se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

### Criterios editoriales (difusión)

- No se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados. Sólo se aceptan artículos originales, entendiendo por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no se ha publicado o enviado a otras revistas.
- Los autores deben demostrar haber trabajado y publicado en el tema del artículo.
- El artículo debe ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- El artículo debe ser ordenado. Separar las dimensiones del tema y evitar romper la línea de tiempo.
- Debe considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deben contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deben presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptan modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato .doc de Word, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de cada autor de máximo 100 palabras y carta firmada por todos los autores (formato en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor del ITSL.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de seis páginas (incluyendo figuras y tablas) de acuerdo al formato que a continuación se especifica:
- Respetar el formato vigente para artículos del CONICNI (disponible en página web)
- Tamaño carta; el margen superior deberá ser de 2.5 cm. y el resto de 2 cm.

- Título. Máximo dos renglones, tipografiado en altas y bajas, tipo Times New Roman a 24 puntos, con interlínea normal, en negritas.
- Nombre del autor o autores. En mayúsculas con alineación al margen derecho, misma fuente tipográfica en 12 puntos, asterisco sobrescrito al final.
- Adscripción. Colocarla en pie de página de la 2a. columna antecedida por un asterisco, en tipografía Times New Roman de 8 puntos.
- Cuerpo del texto. A dos columnas, con tipografía Times New Roman de 10 puntos, justificado.
- Resúmenes. No mayores de 100 palabras tanto en inglés como en español. Incluir a lo sumo cinco palabras clave tanto en inglés como en español para ser utilizadas en índices. Deben ubicarse al terminar el cuerpo y antes de las referencias. Misma tipografía que el cuerpo.
- Deberán ser numeradas y aparecerán en el orden que fueron citadas en el texto, utilizando la misma tipografía del cuerpo. Las fichas bibliográficas deberán contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre del libro o de la revista, lugar, empresa editorial, año de la publicación, volumen y número de páginas.
- Subtítulos. Tipografía Times New Roman, 10 puntos, en negritas.
- Notas al pie. Times New Roman, 8 puntos.
- Material gráfico (incluye figuras, imágenes y tablas). Mínimo dos, máximo cinco a una o dos columnas, máximo media página, todas las imágenes deberán ser de al menos 300 DPI.
- Pie de gráficos. Tipografía Times New Roman, itálica de 9 puntos.
- Deberán evitarse en lo posible las notas a pie de página.

#### Nota importante

Todas las colaboraciones, sin excepción, serán evaluadas; en el caso de los artículos de investigación (difusión) serán arbitrados por especialistas por área científica. Los criterios aplicables a esta clase de artículos serán: el rigor científico, la calidad y precisión de la información, el interés general del tema expuesto y la claridad del lenguaje.

En el caso de los artículos de difusión, serán evaluados por especialistas en el tema, quienes valorarán la pertinencia, el lenguaje y la calidad del contenido.

Todos los textos son sometidos a revisión y los editores no se obligan a publicarlos sólo por recibirlos.

Una vez aprobados, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.

La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.

Todos los artículos deberán remitirse a la dirección de correo:  
[revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)

o bien al siguiente dirección:

Revista *CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO*  
Edificio D, Planta Alta  
Av. Tecnológico 1555 Sur Col. Periférico  
CP 35150 Ciudad Lerdo, Durango, México

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:

Tel: (52) 871-7252371 Ext. 125

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

<http://www.coninci.mx>

CONVOCA AL:

# 20 CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CONINCI 2016

LÍDERES INNOVANDO AL MUNDO

16, 17, 18

Marzo 2016

SEDE:

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO  
CIUDAD LERDO, DURANGO. MÉXICO



PONENCIAS • TALLERES • CONFERENCIAS • CONCURSOS

Se invita a los investigadores, docentes, estudiantes y profesionistas de los sectores público, privado e independientes, a participar con sus trabajos (artículos) de investigación y desarrollo tecnológico en las siguientes áreas:

- ✓ Electromecánica.
- ✓ Electrónica.
- ✓ Mecánica.
- ✓ Eléctrica.
- ✓ Mecatrónica.
- ✓ Robótica.
- ✓ TIC's.
- ✓ Ciencias de la computación.
- ✓ Biotecnología.
- ✓ Manufactura avanzada.
- ✓ Tecnologías ambientales.
- ✓ Logística.
- ✓ Gestión de la innovación.
- ✓ Gestión de la calidad.
- ✓ Gestión de las organizaciones.
- ✓ Tecnología aplicada a la educación.
- ✓ Emprendimiento.
- ✓ Energías renovables.

Las personas interesadas en presentar sus trabajos, deberán enviarlo por escrito a la cuenta:

► ponencias\_coninci@itslerdo.edu.mx

con el formato que se encuentra disponible en la página:

► [www.coninci.mx](http://www.coninci.mx)

Se recibirán solamente los trabajos que se envíen por vía electrónica (e-mail), siempre que sean en formato ".doc" y ".pdf". Los trabajos revisados y aceptados por el comité técnico se publicarán en las memorias del congreso que cuenta con ISSN.

### FECHAS IMPORTANTES:

Inicio de recepción de artículos.....09 DE OCTUBRE DE 2015.  
 Límite de recepción de artículos.....10 DE ENERO DE 2016.  
 Notificación de revisión a autores.....29 DE ENERO DE 2016.  
 Recepción de versión final de artículos.....14 DE FEBRERO DE 2016.

### COSTOS:

	PONENTES
PROFESIONISTA .....	\$1350.00
ESTUDIANTE .....	\$1100.00
PROFESIONISTA IEEE .....	\$1100.00
Estudiante IEEE .....	\$850.00

\* costos en pesos mexicanos

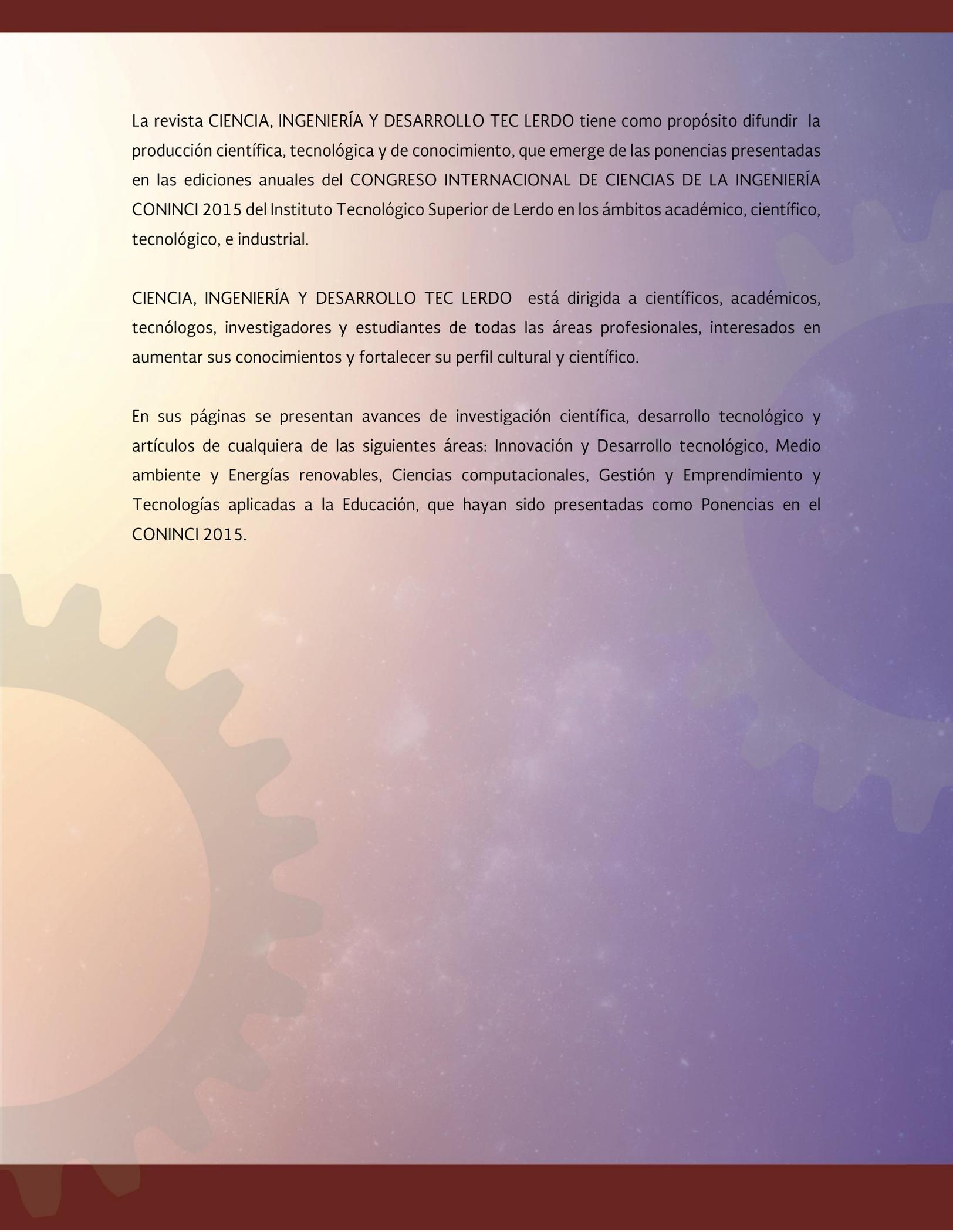
### INFORMES:

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

Av. Tecnológico 1555 sur  
Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5  
C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México.

Tels: +52 (871) 725 2371, 725 5779, 725 5802 ext. 125.

[www.itslerdo.edu.mx](http://www.itslerdo.edu.mx)

The background of the page features a gradient from light yellow on the left to dark purple on the right. Large, semi-transparent gears are visible, with one prominent gear on the left and another on the right. The right side of the background is filled with a starry, galaxy-like pattern.

La revista CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO tiene como propósito difundir la producción científica, tecnológica y de conocimiento, que emerge de las ponencias presentadas en las ediciones anuales del CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CONINCI 2015 del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en los ámbitos académico, científico, tecnológico, e industrial.

CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO está dirigida a científicos, académicos, tecnólogos, investigadores y estudiantes de todas las áreas profesionales, interesados en aumentar sus conocimientos y fortalecer su perfil cultural y científico.

En sus páginas se presentan avances de investigación científica, desarrollo tecnológico y artículos de cualquiera de las siguientes áreas: Innovación y Desarrollo tecnológico, Medio ambiente y Energías renovables, Ciencias computacionales, Gestión y Emprendimiento y Tecnologías aplicadas a la Educación, que hayan sido presentadas como Ponencias en el CONINCI 2015.