

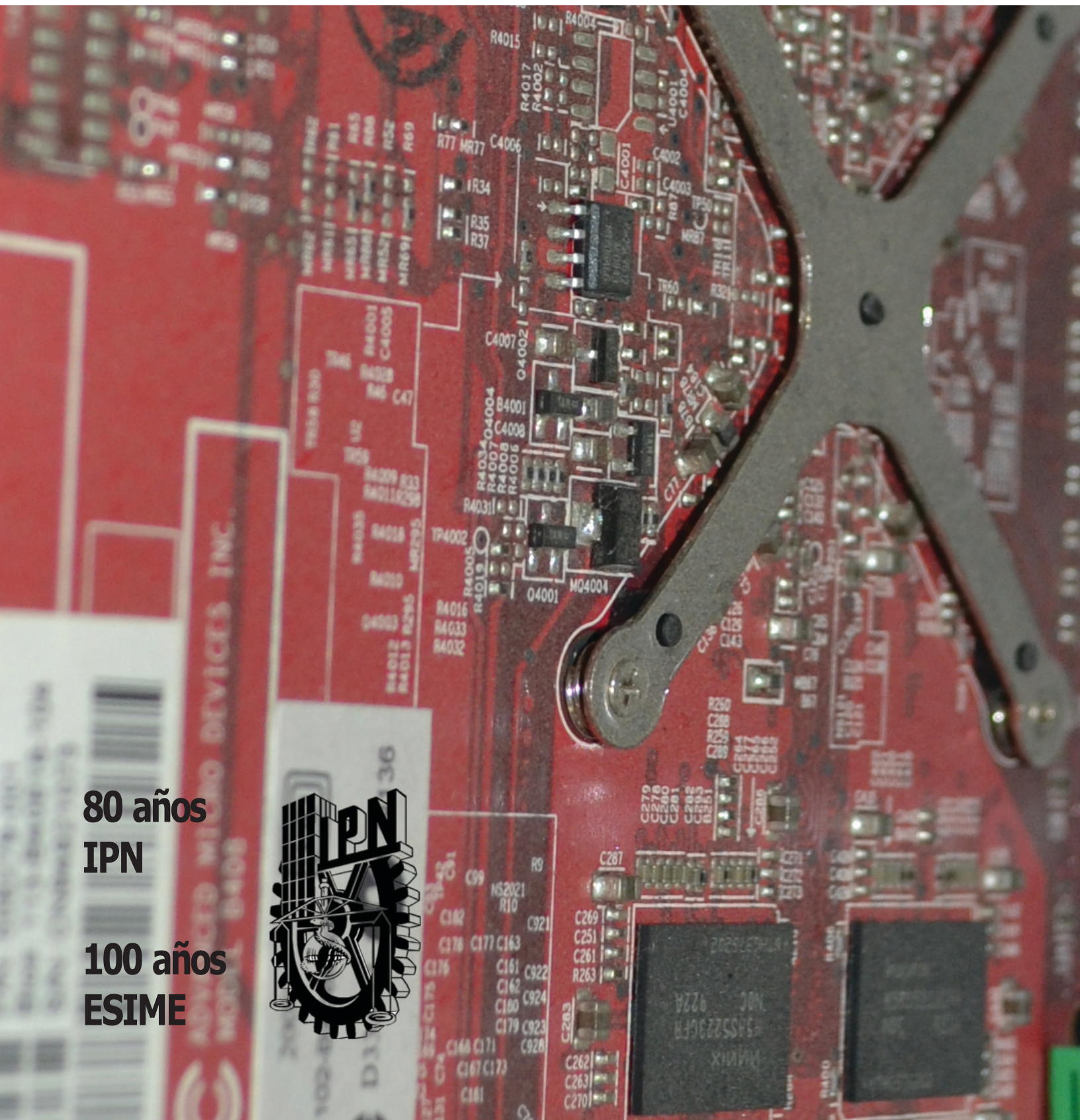


Científica

ISSN
1665-0854



Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • Volumen 20 Número 1 • edición semestral: enero-junio 2016 • México • ISSN 1665-0654



80 años
IPN

100 años
ESIME



DIRECTORIO

Guillermo
Urriolagoitia Calderón
Director

Alma Vicenta
Miranda Godínez
**Coordinadora
Editorial**

Cuauhtémoc
Jiménez Pérez
**Editor
Técnico**

Luis Alberto
Méndez Cruz
**Página
Web**

Margarita
Sam Rodríguez
Revisión

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional
de Información en Línea para
Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
Índice de Revistas Latinoamericanas
en Ciencias.
www.dgbiblio.unam.mx

Redalyc: Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal.
www.redalyc.org

Contenido

Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia

Implementation of a Passive Filter for Harmonic Compensation and Power Factor Correction

Leonardo **Astudillo-Mora**, Alejandro **Vásquez-Vega**,
Juan **Rojas-Serrano**.

COLOMBIA

3-11

Aplicación de la metodología de Checkland para el diagnóstico de una prótesis tumoral de rodilla

Application of the Checkland Methodology for the Diagnosis of a Knee Tumor Prosthesis

Aideé **Huerta-Lecona**, Luis Manuel **Hernández-Simón**,
Víctor Manuel **Domínguez-Hernández**,
Víctor Manuel **Araujo-Monsalvo**, Genaro **Rico-Martínez**.

MÉXICO

13-19

Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo

Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body

David **Armas-Ruiz**, Steven **Ruiz-Galarza**, Marcelo **Piován**,
Luis **Carrión-Matamoros**, Christian **Narváez-Muñoz**.

ECUADOR/ARGENTINA

21-31

Evaluation of Temperatures in Mexico to Analyze the Saving and Efficiency Energy

Evaluación de temperaturas en México para analizar el ahorro y eficiencia de energía

Hernán Daniel **Magaña-Almaguer**, Carlos **Pérez-Tello**,
Gustavo **López-Badilla**.

MÉXICO

33-41

Determinación del enfriamiento en piezas fundidas mediante la técnica de la simulación

Simulation for Parts with High Quality and Cost Requirements

Lázaro Humberto **Suárez-Lisca**, Ramón **García-Caballero**,
Yaidel **Muñiz-Acosta**, Alexis **Alonso-Martínez**.

CUBA

43-47

Instrumento virtual de un filtro adaptable usando una red neuronal dinámica para cancelación de ruido implementado en LabVIEW

Virtual Instrument of an Adaptive Filter Employing a Dynamic Neural Network Based on LabVIEW for Noise Cancelling

Álvaro **Anzueto-Ríos**, Rafael **Santiago-Godoy**,
Kevin Andrés **Hernández-Santiago**,
Luis Enrique **Hernández-Gómez**.

MÉXICO

49-55

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
(VENEZUELA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

EDITORES ASOCIADOS

Apolinar Reinoso Hernández
Centro de Investigación y de Estudios
Superiores de Ensenada (MÉXICO)

Baltasar Mena Inesta
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Édgar Sánchez Sinencio
Texas A&M University College Station
(ESTADOS UNIDOS)

Francisco Sánchez Sesma
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Garret Sautis
University of Sheffield (REINO UNIDO)

Guillermo Urriolagoitia Sosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Hidilberto Jardón Aguilar
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Israel Saucedo Meza
Universidad de Baja California (MÉXICO)

Joaquín Fernández Valdivia
Universidad de Sevilla (ESPAÑA)

Jorge Sosa Pedroza
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Manuel de la Rosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Niño de Rivera y Oyarzábal
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Mariko Nakano Miyatake
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel A. Duarte Marmoud
Universidad de Chile (CHILE)

Michael Shapiro Fihman
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Miguel Ángel Rodríguez Díaz
Instituto de Física de Cantabria
(ESPAÑA)

Miguel Castro Fernández
Centro de Investigación y Pruebas
Electromagnéticas de Cuba (CUBA)

Miguel Cruz Irisson
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Pablo Rogelio Hernández Rodríguez
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Patricia Camarena Gallardo
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Rafael Castro Linares
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Régulo López Callejas
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
(MÉXICO)

Valery Kontorovich
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

Víctor Champac Vilela
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica
y Electrónica (MÉXICO)

Victor Kravchenko
Moscow Institute of Physics and
Technology (FEDERACIÓN RUSA)

Vladislav Kravchenko
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
Querétaro (MÉXICO)

Volodymir Ponomaryov
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Científica
ISSN 1665-0654

VOLUMEN 20, NÚMERO 1,
ENERO-JUNIO 2016

LA REVISTA MEXICANA
DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF
ELECTROMECHANICAL
ENGINEERING

Científica, Volumen 20, Número 1, enero-junio de 2016, es una revista semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México, Tel. +52 55 5729 6000 ext. 54518, www.cientifica.esimez.ipn.mx, revistacientificpn@yahoo.com.mx. Editor responsable: Guillermo Urriolagoitia Calderón. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-112516365800-102, ISSN 1665-0654, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor, Licitud de Título No. 10962, Licitud de Contenido No. 7611, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresión: Talleres Gráficos de la Dirección de Publicaciones del IPN, Tresguerras 27, Centro Histórico, Ciudad de México. Este número se terminó de imprimir el 14 de diciembre de 2015. Tiraje: 500 ejemplares. Esta es una obra intelectual protegida por la Ley Federal del Derecho de Autor, puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando se cite la fuente completa; su uso para otros fines, requiere autorización previa y por escrito de la Dirección General del Instituto Politécnico Nacional.

EDITORIAL

Científica, en su primer número del volumen 20, publica artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita, además, a consultar los artículos y números completos en línea en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

En el primer trabajo, se exponen los resultados al analizar el contenido armónico presente en un punto de la subestación de Sevilla, en la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander SA ESP (CENS SA ESP) en Colombia, donde el nivel de distorsión armónico de voltaje excede el límite establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Para esto se propone la implementación de un filtro pasivo como estrategia de compensación armónica donde a través también del banco de capacitores que este posee, se permite la corrección del factor de potencia, teniendo en cuenta las características eléctricas de la red, así como los puntos de resonancia presentes en la misma, a fin de evitar posibles daños en las componentes del filtro y de insertar niveles de resonancias extras no deseados a la red objeto de estudio. Por medio del software DigSILENT Power Factory se simuló el sistema para corroborar la respuesta del mismo tras la conexión del filtro, obteniendo resultados satisfactorios gracias a la sintonización minuciosa de la estrategia propuesta.

Durante la observación de algunos fenómenos en la ciencia médica es común encontrarse con sistemas de bioingeniería complejos, debido a las múltiples interacciones de estos con el medio ambiente o dentro de los subsistemas que los conforman. En este documento se presenta el diagnóstico de una prótesis tumoral de rodilla, como ejemplo de un sistema de bioingeniería. Esta prótesis tiene como objetivo la reconstrucción de la extremidad inferior mediante la técnica de artrodesis. A pesar de que la prótesis ha mostrado un buen desempeño, se han presentado situaciones críticas que han ocasionado la falla del sistema. Se propone la aplicación de la metodología de Checkland para obtener información sobre las posibles fallas del sistema y brindar una solución que englobe los aspectos emocionales, físicos, sociales y económicos del sistema.

En los últimos años la ingeniería ha empezado a tratar más el estudio de materiales orgánicos como las fibras vegetales que se encuentran en abundancia en distintos lugares del mundo, extraídas de plantas como la cabuya, abacá, paja toquilla, algodón, seda, bambú, balsa, caucho, mimbre, etc. Estas fibras en la actualidad se utilizan en mayor cantidad ya sean solas para motivos artesanales o combinadas con otros materiales para formar un material compuesto con propiedades mecánicas de elasticidad, fragilidad, fatiga y resistencia, que sean aplicables a distintas áreas de la ingeniería. En este tercer artículo se utilizó distintos fibras que se extraen del tallo del banano, tratadas y sin tratar, combinadas con resina poliéster como matriz. Las probetas fueron diseñadas con base en la norma ASTM D790, mediante máquinas de ensayos de tracción y flexión universales utilizadas para fibras, se obtuvieron los esfuerzos de tracción y flexión que pueden soportar estos materiales compuestos para su estudio y análisis, así como aplicaciones: estructurales, automotrices, textiles, entre otras.

Se han generado climas extremos, donde el clima artificial de interiores de edificaciones es responsable por el mayor consumo de energía en las zonas de clima extremoso como la ciudad de Mexicali, y muchas otras áreas urbanas de nuestro país. Debido a esto, se tiene una gran diversidad de estudios de los niveles de temperaturas en diversas regiones del país, con simuladores térmicos que se basan en principios científicos y operados desde plataformas informáticas para evaluar el rendimiento térmico en interiores de edificaciones. Con las simulaciones matemáticas se conocen los niveles de transferencia de calor de los exteriores a los interiores de las edificaciones y, con ello, se puede recomendar y evaluar algunas medidas de ahorro energético; para reducir el consumo y ayudar a contener los problemas ambientales o de energía. Este trabajo tiene como objetivo recoger datos de tiempo en algunas regiones de nuestro país, a partir de los sistemas de datos especializadas para la simulación térmica como viviendas residenciales, edificios de oficinas, o cualquier tipo de construcción en México. El estudio se realizó en el periodo del 2010 a 2012.

En el quinto artículo se trata la modelación del enfriamiento de una pieza es un elemento vital para la obtención de piezas fundidas con la calidad requerida. En este caso, la pieza que se toma como material de estudio es un cilindro de laminación, pieza que requiere de una elevada calidad por las condiciones de trabajo en la que desarrolla su trabajo. Este artículo se centra en demostrar la importancia del uso de estas técnicas predictivas que tanto aportan a la economía de una empresa. Para llevar a cabo este trabajo, se determinaron los principales elementos de la tecnología de fundición y se realizó una búsqueda sobre los principales datos fisicoquímicos del metal a utilizar, elemento muy complejo por las características del metal.

En el último trabajo de este fascículo se presenta una aplicación para minimizar la contaminación por ruido que se produce en este tipo de laboratorios. Una red neuronal se ha utilizado para la cancelación dinámica del ruido, se desarrolló empleando el software NI LabVIEW 2013 en su versión académica. El instrumento virtual (VI) del sistema está compuesto del panel frontal y el diagrama funcional. Se emplea el algoritmo de aprendizaje de la regla delta sobre una red ADALINE (ADaptive LINear Element). Esta consta de treinta bloques de retraso, cada bloque se encarga de retrasar un tiempo a la señal de entrada y desarrollando de esta manera un tipo de filtrado por ventana. La neurona en su proceso de aprendizaje busca aproximarse al ruido producido por las máquinas. El instrumento virtual tiene como interfaz de trabajo a la tarjeta NI MyDAQ, donde se reciben las señales de entrada, provenientes de micrófonos tipo electret. En el diagrama funcional se presentan las partes que constituyen el sistema: el supresor de ruido, los componentes del algoritmo LMS y los bloques de lectura de las señales de entrada y salida. La señal resultante del sistema se manda al exterior a un parlante. La gráfica de error presentada indica que la neurona tiene un alto grado de similitud con este sonido. Al restar el valor aprendido por la neurona, a la mezcla de entrada, el ruido fue minimizado demostrando la efectividad del sistema.

Científica agradece su preferencia y le invita a someter sus aportaciones a dictaminación en las áreas de la ingeniería que difunde: ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería en telecomunicaciones, ingeniería en sistemas y temas sobre educación en ingeniería.

Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia

Leonardo **Astudillo-Mora**
Alejandro **Vásquez-Vega**
Juan **Rojas-Serrano**

Universidad Francisco de Paula Santander
Avenida Gran Colombia núm. 12E-96 Barrio Colsag,
San José de Cúcuta.
COLOMBIA.

correo electrónico (email): leonard1400@hotmail.com
darioalejandrov@ufps.edu.co
juanandresrs@ufps.edu.co

Recibido 23-08-2015, aceptado 10-12-2015.

Resumen

Se exponen los resultados al analizar el contenido armónico presente en un punto de la subestación de Sevilla, en la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander SA ESP (CENS SA ESP) en Colombia, donde el nivel de distorsión armónico de voltaje excede el límite establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Para esto se propone la implementación de un filtro pasivo como estrategia de compensación armónica donde a través también del banco de capacitores que este posee, se permite la corrección del factor de potencia, teniendo en cuenta las características eléctricas de la red, así como los puntos de resonancia presentes en la misma, a fin de evitar posibles daños en las componentes del filtro y de insertar niveles de resonancias extras no deseados a la red objeto de estudio. Por medio del software DigSILENT Power Factory se simuló el sistema para corroborar la respuesta del mismo tras la conexión del filtro, obteniendo resultados satisfactorios gracias a la sintonización minuciosa de la estrategia propuesta.

Palabras clave: distorsión armónica, carga no lineal, filtro, resonancia serie, resonancia paralela.

Abstract (Implementation of a Passive Filter for Harmonic Compensation and Power Factor Correction)

The results are shown after analyzing the harmonic content present at a point in the substation of Sevilla, in CENS SA ESP (Colombia), where the THD exceeds the limit proposed by the *Comisión de Regulación de Energía y Gas* (CREG). The implementation of a passive filter as compensation strategy is proposed, where the power factor correction is allowed by the capacitor, considering the electrical characteristics of the network and present resonance points on it; this implementation is proposed in order to prevent possible damage to the components of the filter and inserting extra levels and unwanted resonances to the network under study. DigSILENT Power Factory software system simulations were performed to confirm the response of the filter connection, satisfactory results were obtained thanks to careful tuning of the proposed strategy.

Index terms: harmonic distortion, filter, nonlinear load, parallel resonance, series resonance.

1. Introducción

El avance en materia tecnológica ha dado lugar para que en los sistemas eléctricos se presenten corrientes o tensiones no deseadas, estas se deben principalmente por la presencia de cargas que incluyen dispositivos de conmutación electrónica para su funcionamiento: comúnmente llamadas cargas no lineales, causantes de problemas en los mismos; como el mal comportamiento de las protecciones, aumento en las pérdidas por potencia activa, deterioro en aislamientos y dieléctricos, disminución en la vida útil de los electrodomésticos, entre otros.

Tales corrientes o tensiones no deseadas reciben el nombre de señales armónicas, las cuales se unen a la forma de onda de voltaje y corriente ocasionando en esta una distorsión, debido en mayor parte al uso de equipos que basan su funcionamiento en dispositivos electrónicos que realizan conmutaciones a

alta frecuencia en su condición nominal de funcionamiento. Actualmente CENS SA ESP cuenta con equipos que permiten conocer en tiempo real el nivel de distorsión armónica total (THD) presente en la forma de onda, tanto de voltaje como de corriente.

En conformidad con las atribuciones legales, la CREG, entidad encargada del marco legal regulatorio que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios en Colombia, se basa en la resolución 024 del año 2005 [1], con base en lo estipulado, la distorsión total armónica de voltaje (THDv) para niveles de tensión 1, 2 y 3 no puede sobrepasar el 5% [2].

CENS SA ESP realizó mediciones del contenido armónico en su señal de voltaje corroborando que en algunos puntos el THDv excedía el límite estipulado por la norma, razón por la que se hace necesario analizar y diseñar una estrategia para compensar el exceso.

Para esto se propone como estrategia de compensación la implementación de un filtro pasivo, analizando el comportamiento de la impedancia de la red en función de la frecuencia, de modo que, tras la incorporación del filtro a la misma, este comportamiento no se vea afectado por la aparición de resonancias series o paralelas que contribuyan al deterioro en los componentes del filtro y del mismo sistema.

2. Metodología

Los datos utilizados para este estudio son registros tomados en el punto que tiene como nombre SEVC1, este es el interruptor principal del módulo de transformación No 1 de 25-32MVA ubicado en la subestación de Sevilla; este es un punto de 13.2kV. Estas medidas fueron realizadas entre el periodo del 1 de marzo al 1 de abril de 2015.

Las lecturas se tomaron a partir de las 12:00 horas del 1 de marzo hasta las 12:00 horas del 1 de abril, realizándose cada 10 minutos la medición de los niveles armónicos presentes en cada una de las fases en el punto.

De los 4465 registros se escogió como base de estudio el que mayor nivel de TDHv mostraba en la red; con base en este, se modeló la misma utilizando el software DigSILENT Power Factory, que a través del método de inyección de corrientes armónicas [3] permitió que el espectro armónico simulado fuera lo más aproximado a los datos medidos en la realidad,

esto con el propósito de analizar de manera prospectiva los niveles de THDv presentes en la red tras la implementación de la estrategia, a fin que los mismos estuviesen en los valores recomendados por la CREG.

3. Análisis y presentación de resultados

3.1. Análisis preliminar y validación de los datos

Un análisis preliminar de los registros fue realizado con el fin de determinar, primero, el evento donde se presentase el mayor nivel de THDv y, segundo, la estrategia de compensación a utilizar. Este tuvo lugar el día 8 de marzo a las 4:30 p.m. donde el nivel de THDv para la fase A, B y C fue de 5.0246%, 5.4571% y 5.3931%, respectivamente.

Como se aprecia en la tabla 1 que muestra los niveles de THDv, en la tabla 2 los niveles de distorsión total armónica de corriente (THDi).

Tabla 1. Nivel de THDv registrado el 08/03/2015, 4:30 p.m.

Armónico (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
1	100	100	100
3	0.2711	0.7033	0.4421
5	4.9622	5.3745	5.3209
7	0.5643	0.5447	0.4530
9	0.0317	0.0736	0.0467
11	0.1580	0.1563	0.1045
13	0.0828	0.0951	0.1074

Tabla 2. Nivel de THDi registrado el 08/03/2015, 4:30 p.m.

Armónico (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
1	100	100	100
3	0.1007	0.2622	0.2158
5	2.5536	3.3732	2.8978
7	1.1431	1.0676	1.2346
9	0.0193	0.1563	0.1442
11	0.5664	0.5182	0.5657
13	0.2185	0.2279	0.2033

Con base en los datos obtenidos se analizó que el 5° armónico incide notablemente para que el THDv exceda los niveles, no solamente este registro, sino en todos, ya que es el armónico con mayor nivel presente en todas las medidas realizadas (véase tablas 3, 4 y 5).

Al examinar la situación que se presenta, atacar el 5° armónico haría que el THDv disminuya considerablemente, ya que

Tabla 3. Niveles armónicos altos y bajos en la fase A.

Armónico (h)	HDv (%) Mayor	HDv (%) Menor	HDv (%) Promedio
3	0.4955	0.0283	0.2399
5	4.9622	0.7178	2.0410
7	0.8759	0.0211	0.2464
9	0.1153	0.0071	0.0493
11	0.2837	0.0041	0.0805
13	0.1731	0.0028	0.0339

Tabla 4. Niveles armónicos altos y bajos en la fase B.

Armónico (h)	HDv (%) Mayor	HDv (%) Menor	HDv (%) Promedio
3	0.9262	0.2638	0.5549
5	5.3745	0.9527	2.1750
7	0.9435	0.0335	0.2604
9	0.1503	0.0321	0.0894
11	0.2512	0.0022	0.0615
13	0.1565	0.0090	0.0722

Tabla 5. Niveles armónicos altos y bajos en la fase C.

Armónico (h)	HDv (%) Mayor	HDv (%) Menor	HDv (%) Promedio
3	0.5678	0.1918	0.3436
5	5.3209	0.9112	2.1969
7	0.9470	0.0228	0.2331
9	0.0981	0.0154	0.0477
11	0.2299	0.0155	0.0759
13	0.1832	0.0171	0.0753

es el de mayor influencia para que el nivel exceda su límite. Con base en lo planteado, la estrategia de compensación por filtrado pasivo se adapta a nuestro caso de estudio, ya que es posible sintonizar un filtro a la frecuencia del 5° armónico (300Hz), con el fin de facilitar el paso de los mismos a través de un camino de baja impedancia que se formaría en la rama a diseñar.

A través de DigSILENT Power Factory se modeló la red (véase Fig. 1), obteniendo niveles de THDv muy cercanos a los valores medidos en la realidad.

3.2. Diseño y sintonización del filtro pasivo

Los filtros pasivos *shunt* o paralelo proveen un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas, está compuesto por una rama RLC en serie, que se conecta en paralelo con la barra o sistema de alimentación.

Además de ser más económico que otras estrategias de compensación y transportar solo las corrientes para las cuales fue sintonizado, existe la posibilidad de que el mismo proporcione parte de la potencia reactiva del sistema [4].

La impedancia del filtro a diseñar es:

$$Z = R_F + j \left[\omega L_F - \frac{1}{\omega C_F} \right] \quad (1)$$

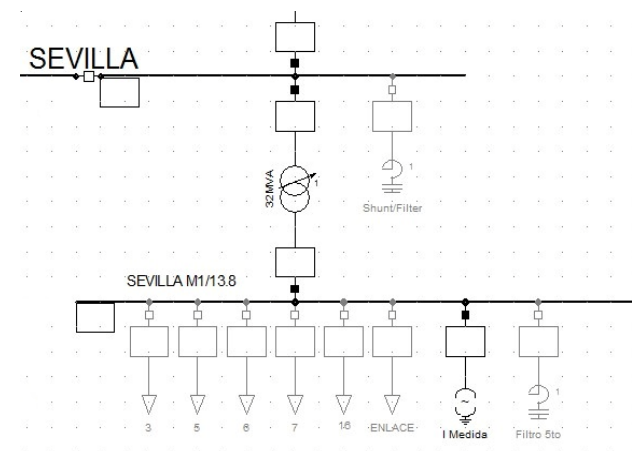


Fig. 1. Diagrama unifilar del punto SEVC1 mediante DigSILENT.

donde:

ω : frecuencia angular.

R_f : resistencia del filtro.

L_f : reactor del filtro.

C_f : capacitancia del banco de capacitores.

Su estructura y respuesta en frecuencia se muestra en la figura 2 [2].

Valores base del sistema:

$$MVA_{base} = 11.141 \text{ MVA}$$

$$kVA_{base} = 13.8 \text{ kV}$$

$$Z_{base} = \frac{(kVA_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(13.8 \text{ kV})^2}{11.41 \text{ MVA}} = 17.0936\Omega \quad (2)$$

Este es el cálculo del filtro para eliminar la 5ª armónica (sintonización realizada a un 6% menos de la frecuencia armónica, de acuerdo a la norma IEEE-1531-2003) [5].

Al realizar las mediciones, el factor de potencia del sistema era de 0.827. Para el diseño se plantea que se desea elevar el mismo a 0.95, con base en antecedentes que demuestran que para justificar la inversión, como mínimo se debe elevar el factor de potencia a este valor. Por lo tanto la potencia en el capacitor (5) debe ser:

$$\theta_1 = \cos^{-1}(FP_1) = \cos^{-1}(0.827) = 34.2082^\circ \quad (3)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(FP_2) = \cos^{-1}(0.950) = 18.9949^\circ \quad (4)$$

$$\theta_{eff} = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (5)$$

$$\theta_{eff} = 9.35 \text{ MV} [\tan(34.2082) - \tan(18.9949)]$$

$$\theta_{eff} = 3.0992 \text{ MVAr}$$

El banco de capacitores trifásico instalado en el punto SEVC1 se debe seleccionar con respecto a los valores comerciales establecidos en la norma IEEE-18-2002 [6]. El arreglo estará formado por un grupo por fase, tal grupo a su vez contará con 5 unidades de capacitores de 200kVAr, haciendo en total 1MVar por fase y 3MVar trifásicos.

Se calcula la impedancia de la red a la frecuencia fundamental, así como la impedancia capacitiva, la capacitancia, la impe-

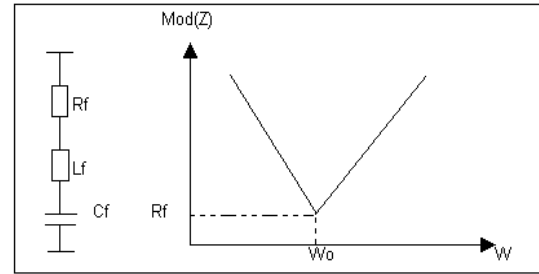


Fig. 2. Estructura filtro *shunt* o paralelo y su respuesta en frecuencia.

dancia inductiva y la inductancia del reactor de acuerdo a (6), (7), (8), (9) y (10), respectivamente:

$$X_{eff} = \frac{(V_{LLSIST})^2}{Q_{eff}} = \frac{(13.8 \text{ kV})^2}{3 \text{ MVA}} = 63.48\Omega \quad (6)$$

$$X_C = \frac{h^2}{h^2 - 1} X_{eff} = \frac{(4.7)^2}{(4.7)^2 - 1} 63.48\Omega = 66.50\Omega \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi(60\text{Hz})(66.50\Omega)} = 39.8885\mu \quad (8)$$

$$X_L = \frac{X_L}{h^2} = \frac{66.50\Omega^2}{(4.7)^2} = 3.0104\Omega \quad (9)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{3.0104\Omega}{2\pi(60\text{Hz})} = 7.9853\text{mH} \quad (10)$$

Para este tipo de filtros [7] se recomienda que el factor de calidad, tenga un valor entre 20 y 30. En el presente diseño se tiene un valor de 20 (11), por lo que:

$$R = \frac{X_L(f_{Reson})}{Q_f} = \frac{3.0104\Omega(4.7)}{20} = 0.7074\Omega \quad (11)$$

Para que el filtro presente un camino de baja impedancia a la frecuencia requerida se debe cumplir que (12):

$$X_C = X_L \quad (12)$$

$$X_C(h=4.7) = \frac{X_C}{h} = \frac{66.50\Omega}{4.7} = 14.1489\Omega \quad (13)$$

$$X_L(h=4.7) = hX_L = 4.7(3.0104\Omega) = 14.1489\Omega \quad (14)$$

Para verificar que el filtro no sufra daños por posibles sobrecorrientes debido a las corrientes armónicas, se corrobora que no excede 135% (23) a la corriente fundamental (15), tal cual lo establece la norma IEEE-18-2002.

$$I_{fund}(1) = \frac{V_{LL\,SIST}/\sqrt{3}}{X_C - X_L} = 125.4920A \quad (15)$$

Corrientes armónicas con respecto a la fundamental:

$$I_3 = 0.2622\%I_{fund} = 0.3340A \quad (16)$$

$$I_5 = 3.3732\%I_{fund} = 4.3737A \quad (17)$$

$$I_7 = 1.0676\%I_{fund} = 1.3843A \quad (18)$$

$$I_9 = 0.1563\%I_{fund} = 0.2027A \quad (19)$$

$$I_{11} = 0.5182\%I_{fund} = 0.6719A \quad (20)$$

$$I_{13} = 0.2279\%I_{fund} = 0.2955A \quad (21)$$

$$I_{total\,RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2} \quad (22)$$

$$\%margen\ de\ corriente = \frac{I_{total\,RMS}}{I_{total\,fund}(1)} 100 \quad (23)$$

$$\%margen\ de\ corriente = 100.690\%$$

$$I_{total\,RMS} = 1.00069 I_{fund}(1) < 1.35 I_{fund}(1)$$

Ahora se revisa que el voltaje pico del sistema no exceda el voltaje de diseño del banco de capacitores; se corrobora que este no exceda 120% (35) al voltaje de fase pico del sistema, tal cual lo establece la norma IEEE-18-2002.

Cálculo del voltaje a frecuencia fundamental.

$$V_C(1) = I_{fund}(1) X_C = 8.3452\,kV \quad (24)$$

Cálculo de los voltajes provocados por los armónicos.

$$V_C(h) = \sum_h^n I(h) \frac{X_C}{h} \quad (25)$$

$$X_C(3) = 0.3340A \frac{66.50\Omega}{3} = 7.4037V \quad (26)$$

$$X_C(5) = 4.3737A \frac{66.50\Omega}{5} = 58.1702V \quad (27)$$

$$X_C(7) = 1.3843A \frac{66.50\Omega}{7} = 13.1509V \quad (28)$$

$$X_C(9) = 0.2027A \frac{66.50\Omega}{9} = 1.4977V \quad (29)$$

$$X_C(11) = 0.6719A \frac{66.50\Omega}{11} = 1.0619V \quad (30)$$

$$X_C(13) = 0.2955A \frac{66.50\Omega}{13} = 1.5116V \quad (31)$$

$$X_C(h) = 0.0858kV$$

Cálculo del voltaje pico por fase del capacitor.

$$V_{C\,L-N\,total\,pico} = \sqrt{2} [V_C(1) + V_C(h)] \quad (32)$$

$$V_{C\,L-N\,total\,pico} = 11.9232\,kV$$

Cálculo del voltaje de fase del sistema.

$$V_{L-N\,sist} = \frac{V_{L-L\,sist}}{\sqrt{3}} = \frac{13.8kV}{\sqrt{3}} = 7.9674kV \quad (33)$$

Cálculo del voltaje de fase pico del sistema.

$$V_{L-N\,sist\,pico} = \sqrt{2} V_{L-N\,sist} = 11.2677kV \quad (34)$$

$$\%margen\ de\ voltaje\ pico = \frac{V_{C\,L-N\,sist\,pico}}{V_{L-N\,sist\,pico}} 100 \quad (35)$$

$$\%margen\ de\ voltaje\ pico = 105.8175\%$$

$$V_{C\,L-N\,total\,pico} = 1.0581 V_{L-N\,sist\,pico} < 1.2 V_{L-N\,sist\,pico}$$

El valor de voltaje pico cumple con la norma IEEE-18-2002.

El voltaje RMS del sistema no debe exceder el voltaje RMS de diseño del banco de capacitores (36); se corrobora que este no exceda 110% (38) al voltaje de fase RMS del sistema, tal cual lo establece la norma IEEE-18-2002.

Cálculo del voltaje RMS del capacitor.

$$V_{C\ L-N\ RMS} = \sqrt{V_C(1)+V_C(3)+V_C(5)+V_C(7)+V_C(9)+V_C(11)+V_C(13)} \quad (36)$$

$$V_{C\ L-N\ RMS} = 8.3454\text{ kV}$$

Cálculo del voltaje de fase RMS del sistema.

$$V_{L-N\ RMS} = \frac{V_{L-L\ sist}}{\sqrt{3}} = 7.9674\text{ kV} \quad (37)$$

$$\% \text{margen de voltaje RMS} = \frac{V_{C\ L-N\ RMS}}{V_{L-N\ sist\ RMS}} 100 \quad (38)$$

$$\% \text{margen de voltaje pico} = 104.7443\%$$

$$V_{C\ L-N\ total\ RMS} = 10474 V_{L-N\ sist\ RMS} \leq 1.1 V_{L-N\ sist\ RMS}$$

El valor de voltaje RMS cumple con la norma IEEE-18-2002.

Se corrobora la potencia reactiva con base en la norma (40):

$$Q_{3\phi\ recalclada} = \frac{(V_{C\ L-N\ RMS})^2}{X_C} 3 \quad (39)$$

$$Q_{3\phi\ recalclada} = 3.1419\text{ MVar}$$

$$\% \text{margen de VAr} = \frac{Q_{3\phi\ recalclada}}{Q_{eff}} 100 \quad (40)$$

$$\% \text{margen de VAr} = 104.73\%$$

$$Q_{3\phi\ recalclada} = 1.0473 Q_{eff} < 1.35 Q_{eff}$$

El valor de potencia cumple con la norma IEEE-18-2002.

Para finalizar el diseño del filtro pasivo, se verifica que el calentamiento del dieléctrico del capacitor sea aceptable con base a la norma IEEE-18-2002. Este se evalúa por la desigualdad (41):

$$\sum_h [V_C(h) I(h)] \leq 1.35 Q_{3\phi\ recalclada} \quad (41)$$

$$\{3*[(8.3452\text{k}*125.4920)+(7.4037*0.3340)+ \\ (58.1702*4.3737)+(13.1509*1.3843)+ \\ (1.4977*0.2027)+(4.0619*0.6719)+ \\ (1.5116*0.2955)]\} \leq (1.35*3.1419\text{MVar})$$

Comparando la desigualdad se tiene:

$$3.1426\text{MVar} \leq 4.2416\text{MVar}$$

La desigualdad se satisface, por lo tanto el calentamiento del dieléctrico del capacitor es aceptable.

3.3. Simulación y resultados

Al realizar la inyección de las corrientes armónicas medidas en el punto SEVC1 (véase Tabla 2), se obtuvieron niveles de armónicos muy similares a la realidad (véase Fig. 3).

Con base en este modelo, se procede a obtener la curva de Impedancia vs Frecuencia de la barra a 13.2kV.

Las simulaciones del sistema muestran que a estas condiciones, se presenta resonancias paralelo y serie, las cuales son peligrosas si se considera que tales picos están próximos a la

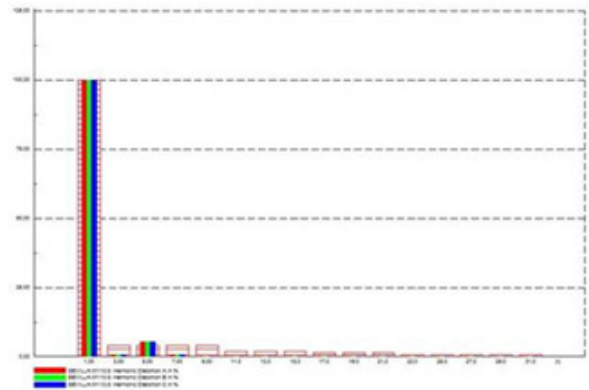


Fig. 3. Niveles de armónicos en la barra.

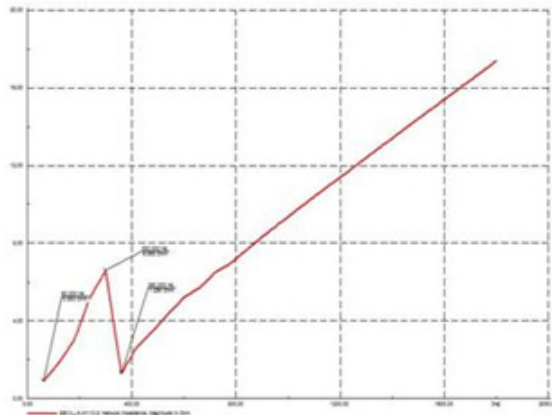


Fig. 4. Impedancia vs Frecuencia en SEVC1 (Barra a 13.2kV).

frecuencia fundamental (véase Fig. 4). Luego el comportamiento de la barra a altas frecuencias es netamente inductivo.

También se nota una leve deformación en la forma de onda del voltaje para este punto (véase Fig. 5).

Se procede a conectar el filtro. La sintonización se realizó a una frecuencia más baja de la deseada, en nuestro caso para eliminar la 5ª armónica.

Se sintonizó a una frecuencia 6% menor que la deseada (300Hz); es decir a 282Hz, ya que primero, las corrientes contaminantes no van a estar exactamente a la frecuencia del armónico, sino a una frecuencia más baja y, segundo, ante un cambio de la resonancia serie a valores de alta frecuencia,

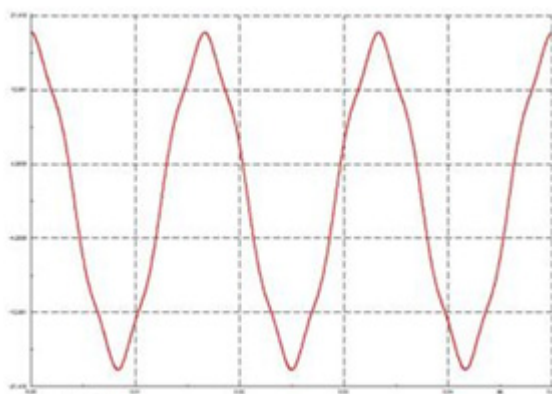


Fig. 5. Forma de onda del voltaje en SEVC1 (Barra a 13.2kV).

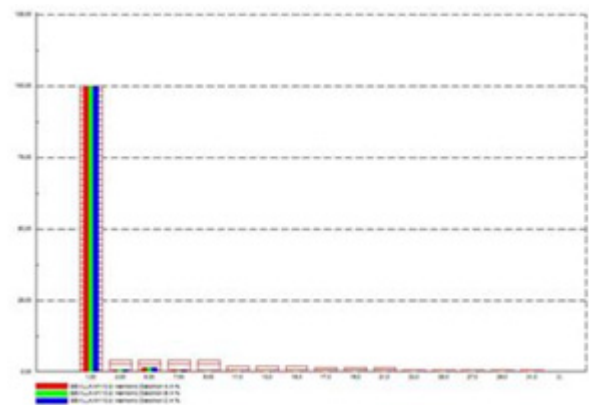


Fig. 6. Niveles de armónicos en la barra tras la inclusión del diseño.

dará como resultado un aumento en la impedancia vista por las corrientes armónicas que son orden de la frecuencia de diseño, ocasionando desgastes en las componentes del filtro como el envejecimiento del condensador, lo cual haría que su capacitancia disminuyera [7], [8].

Tras la inclusión del filtro al sistema se puede ver una reducción considerable en el nivel de distorsión armónica de la red (véase Fig. 6), en aproximadamente un 71% (véase tablas 6 y 7).

Tabla 6. Nivel de armónicos tras la inclusión del filtro.

Armónico (h)	Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
1	100	100	100
3	0.5563	0.5563	0.5563
5	1.3818	1.3818	1.3811
7	0.4342	0.4348	0.4342
9	0.0004	0.0004	0.0004
11	0.1087	0.1087	0.1178
13	0.0730	0.0734	0.0737

Tabla 7. Comparación del THDv tras la inclusión del filtro.

Fase	sin filtro	con filtro
A	5.3742	1.5571
B	5.3770	1.5573
C	5.3754	1.5571

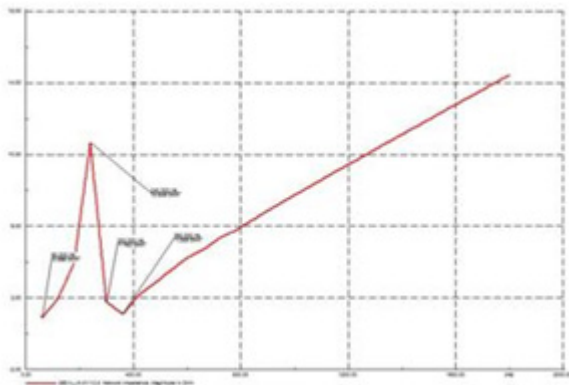


Fig. 7. Impedancia vs Frecuencia (sistema con filtro).

También se observa que la resonancia paralela se trasladó a una frecuencia de 240Hz, que coincide con el 4° armónico (véase Fig. 7), pero como esta componente no es inyectada al sistema por las cargas no lineales no habrá problema con la misma.

A altas frecuencias luego de la resonancia en serie presente en cercanías al 5° armónico (300Hz), como consecuencia del camino de baja impedancia que ofrece el filtro, la impedancia mantiene su comportamiento inductivo.

También se nota una mejora en la forma de onda de voltaje, asemejándose más a una onda totalmente senoidal (véase Fig. 8).

Se aprecia cómo la inclusión de un filtro pasivo, sintonizado a la frecuencia del armónico que más afecta la señal de voltaje, puede ser una posible solución para disminuir la distorsión presente en el punto SEVC1, donde, además, también se contribuye a elevar el factor de potencia del sistema a 0.95.

4. Conclusiones

La estrategia de compensación a través de filtros pasivos es una buena solución para disminuir la distorsión armónica, en aquellos casos donde el THDv excede su nivel gracias a que ciertos armónicos presentan mayor nivel que otros en específico y este nivel sea cercano al límite permitido; para redes donde los niveles de THD estén muy por encima de la norma se recomienda implementar otra estrategia de compensación.

Además de disminuir el contenido armónico también fue posible incluir un banco de capacitores en el diseño, que incidió

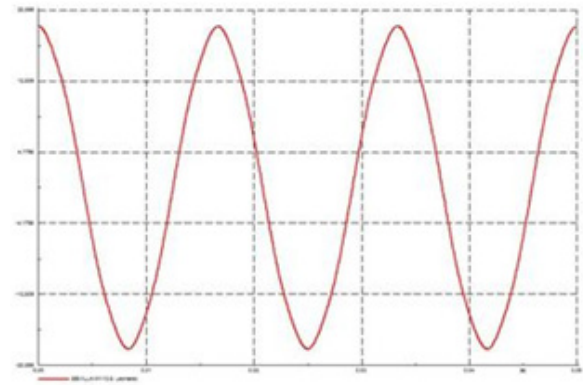


Fig. 8. Forma de onda del voltaje (sistema con filtro).

notoriamente al mejoramiento en el factor de potencia, donde la potencia reactiva necesaria para tal mejoramiento es la base en este caso para el diseño del filtro.

Como consecuencia de la alta vulnerabilidad que presenta este tipo de estrategia, se hizo necesario realizar una sintonización minuciosa del filtro, a fin de evitar que con el tiempo y condiciones a las que este expuesto el mismo, una leve desintonía en la frecuencia de diseño ocasione daños en las componentes del filtro. No obstante, esta desintonía con el tiempo es inevitable, debido al desgaste propio al que se ven sometidos tales componentes por la continua operación del sistema.

Una de las principales pautas de diseño se basa en tratar que las resonancias pico del sistema se encuentren alejadas de la frecuencia fundamental o que estén a frecuencias cuyo orden armónico no es inyectado por las cargas no lineales conectadas a la red, evitando con esto problemas de sobretensiones y sobrecorrientes que afecten por ejemplo el aislamiento sólido de los cables, las bobinas de las máquinas, envejecimiento en el capacitor del filtro, entre otros.

Un factor de calidad elevado es causante de la aparición de un valle prominente a la frecuencia de diseño en la curva de Impedancia vs Frecuencia, razón por la que se produce la captura en tal punto de gran contenido armónico. Sin embargo, estos filtros pueden atrapar corrientes armónicas de frecuencias cercanas, por la que se debe evaluar el impacto de estas corrientes extras en el funcionamiento del filtro. Se recomienda adoptar un bajo factor de calidad en situaciones donde el

nivel de TDH exceda levemente la norma, de lo contrario se recomienda adoptar un alto valor, estudiando previamente las posibles consecuencias que acarree tal pauta en el diseño.

La posible implementación a futuro de la estrategia propuesta ayudará a que CENS SA ESP cumpla con los límites establecidos por la CREG, demostrando a su vez el interés por brindar un buen servicio al usuario, cumpliendo lo establecido por la norma e implementando estrategias para corregir los problemas existentes, confirmando su estatus de empresa líder en la prestación del servicio a nivel regional [9],[10],[11].

Agradecimientos

Los autores agradecen al ingeniero Ricardo Aurelio Rincón, profesional P2 de la Unidad de Gestión Operativa de CENS SA ESP por su presta participación y asesoría en el desarrollo de la propuesta, por brindar la información necesaria para el análisis del sistema y planteamiento de la estrategia, así como a la ingeniera Gloria Esmeralda Sandoval por sus constantes asesorías con base en su experiencia en campo y desarrollo de propuestas en el sector eléctrico.

Referencias

- [1] Resolución 024-2005, por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica, Colombia, CREG, 2005.
- [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE standard 519-1992, 1992.
- [3] N. R. Noroña Lucero, "Diagnóstico de perturbaciones armónicas en el Sistema Nacional Interconectado," tesis de grado, Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011.
- [4] C. A. Ríos Porras, M. Aristizabal Naranjo, and R. A. Gallego, "Análisis de armónicos en sistemas eléctricos," *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 21, pp. 21-26, julio 2003.
- [5] IEEE Guide for application and specification of harmonics filters, IEEE standard 1531-2003, 2003.
- [6] IEEE Standard for Shunt Power Capacitors, IEEE standard 18-2002, 2002.
- [7] H. Alvarado Perusquia, and J. M. Ramírez Sánchez "Metodología para el análisis de propagación y filtrado de armónicas en sistemas eléctricos," tesis de licenciatura, Ingeniería Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 2010. [en línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6514/1/METODOLOGANALIS.pdf>
- [8] E. Parra, *Análisis de armónicos en sistemas de distribución*. Bogotá: Unibiblos, 2004.
- [9] XM SA ESP, *Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano*, 2015 [en línea]. Disponible en: [http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistema Elctrico Colombiano.aspx](http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistema%20Elctrico%20Colombiano.aspx)
- [10] Schneider Electric, *Capítulo M. Detección y filtrado de armónicos*, 2015. [en línea]. Disponible en: http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/distribucion_electrica/guia_instalaciones_electricas/capitulo-m-deteccion-filtrado-armonicos.pdf
- [11] Circutor SA, *¿Vale cualquier banco de capacitores?*, 2015. [en línea]. Disponible en: <http://circutor.es/es/documentacion/articulos/833-vale-cualquier-bateria-de-condensadores>

Sistema de Información Científica
Redalyc
www.redalyc.org

Científica

indizada en

Latindex

Sistema Regional de Información en Línea
para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.

www.latindex.org

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina
y el Caribe, España y Portugal.

Sistema de Información Científica Redalyc.

www.redalyc.org

Aplicación de la metodología de Checkland para el diagnóstico de una prótesis tumoral de rodilla

Aideé Huerta-Lecona¹

Luis Manuel Hernández-Simón¹

Víctor Manuel Domínguez-Hernández²

Víctor Manuel Araujo-Monsalvo²

Genaro Rico-Martínez³

¹Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Posgrado en Ingeniería de Sistemas.
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos",
Col. Lindavista, CP 07738, Ciudad de México.
MÉXICO.

Instituto Nacional de Rehabilitación
"Luis Guillermo Ibarra Ibarra"

²Laboratorio de Biomecánica

³Servicio de Tumores Óseos

Calz. México-Xochimilco núm. 289,
Col. Arenal de Guadalupe, CP 14389, Ciudad de México.
MÉXICO.

correos electrónicos (email): aideehuertalecona@gmail.com
lmhernan10@hotmail.com
vdominguez@inr.gom.mx
vicaraujom@yahoo.com.mx
grico@inr.gob.mx

Recibido 06-05-2015, aceptado 15-11-2015.

Resumen

Durante la observación de algunos fenómenos en la ciencia médica es común encontrarse con sistemas de bioingeniería complejos, debido a las múltiples interacciones de estos con el medio ambiente o dentro de los subsistemas que los conforman. Si los sistemas presentan una falla, la mayoría de los especialistas trabajan de manera autónoma, lo cual dificulta un diagnóstico integral y la completa erradicación del problema. La ciencia de sistemas permite comprender la situación, con el propósito de implementar u optimizar sistemas complejos y

ayuda a integrar el conocimiento de diversas disciplinas mediante un proceso estructurado para lograr una solución integral. La ciencia de sistemas se vislumbra como una valiosa herramienta para el diagnóstico de sistemas de bioingeniería. En este documento se presenta el diagnóstico de una prótesis tumoral de rodilla, como ejemplo de un sistema de bioingeniería. Esta prótesis tiene como objetivo la reconstrucción de la extremidad inferior mediante la técnica de artrodesis. A pesar de que la prótesis ha mostrado un buen desempeño, se han presentado situaciones críticas que han ocasionado la falla del sistema. Se propone la aplicación de la metodología de Checkland para obtener información sobre las posibles fallas del sistema y brindar una solución que englobe los aspectos emocionales, físicos, sociales y económicos del sistema.

Palabras clave: ciencia de sistemas, prótesis tumoral de rodilla, metodología de Checkland, sistemas de bioingeniería, diagnóstico.

Abstract (Application of the Checkland Methodology for the Diagnosis of a Knee Tumor Prosthesis)

During the observation of some phenomena in medical science it is common to find complex bioengineering systems, due to the multiple interactions of these with the environment, or the interactions within their subsystems. When these systems present a failure, most specialists work autonomously so the diagnosis is not comprehensive and the problem does not solve it at all. The systems science allows the study of the situation, in order to implement or optimize complex systems and it helps to integrate knowledge from different disciplines through a structured process, to give a comprehensive solution. So the systems science is seen as a valuable diagnostic tool for bioengineering systems. This paper presents a diagnosis of a knee tumor prosthesis, as an example of a bioengineering system. The purpose of this device is the reconstruction of lower extremities using the technique of arthrodesis. Although the prosthesis has presented a good performance, there are critical situations that have caused the system failure. The application of the Checkland methodology is proposed as a means to obtain information about the possible causes of a failure and provide a global solution that includes emotional, physical, social and economic factors of the system.

Index terms: systems science, knee tumor prosthesis, Checkland methodology, bioengineering system, diagnosis.

1. Introducción

Los tumores óseos afectan de manera adversa la salud e integridad física y, en casos graves, amenazan la vida del hospitalizado. La región anatómica que es afectada con mayor frecuencia es la rodilla (más de 50%) [1]. Existen en esencia tres opciones terapéuticas para el tratamiento de los tumores malignos de la rodilla:

- Resección en bloque del tumor y reconstrucción por medio de una prótesis interna tipo bisagra.
- Amputación del miembro afectado por arriba de la rodilla y el uso de una prótesis externa.
- Resección en bloque del tumor seguida de artrodesis.

En un estudio clínico [2] donde se evaluaron estas opciones terapéuticas, se encontró que los pacientes con artrodesis presentaban la mayor estabilidad en el miembro afectado y mostraban mayor habilidad para caminar en superficies resbalosas o disparejas, además de poder levantar objetos desde el suelo estando de pie. No obstante de presentar limitaciones en cuanto a la función del miembro afectado, la artrodesis tiene la ventaja de involucrar un menor costo y de preservar la anatomía del paciente.

El Servicio de Tumores Óseos del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) de México cuenta con un diseño propio de espaciador y clavo intramedular para la artrodesis de rodilla (véase Fig. 1). El implante consiste de un clavo intramedular sólido de la aleación Ti-6Al-4V grado médico (12 mm de diámetro y 70 cm de longitud). El clavo se inserta a través del canal medular del fémur y la tibia, los cuales son fresados previamente. En el sitio correspondiente a la rodilla se coloca un espaciador de forma cilíndrica (20 cm de longitud y 26 mm de diámetro exterior), el espaciador permite la continuidad ósea y la transmisión de carga del fémur a la tibia, evitando la concentración de carga en los pernos. El sistema se complementa de cuatro pernos (3.2 mm de diámetro), los cuales se insertan a través de una perforación a la cortical del fémur y la tibia, y pasan por los barrenos provistos en el clavo intramedular. La vida del implante se ve limitada por el aflojamiento de los pernos, esto se debe a que las cargas sobre los pernos son muy elevadas, por lo que se hunden en el hueso que se encuentra debajo de ellos, provocando dolor al paciente.

El diagnóstico de un sistema de bioingeniería requiere de un planteamiento integral, debido a la complejidad de la relación entre sus subsistemas y con el medio ambiente. Tal es el caso del sistema prótesis-hueso descrito anteriormente.

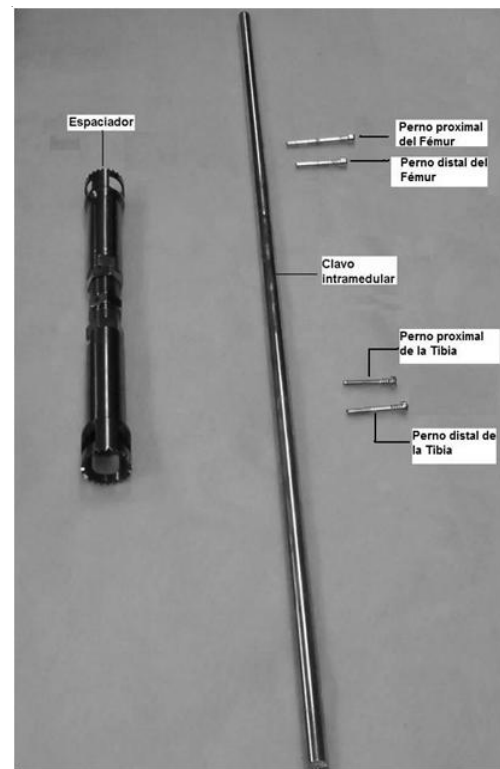


Fig. 1. Configuración del sistema protésico tumoral de rodilla [6].

Debido a que la calidad de vida de los pacientes se ve comprometida, al presentar dolor en la zona de inserción de los pernos, en este trabajo se plantea la aplicación de la metodología de Checkland para encontrar la correlación que existe entre el número, diámetro y ubicación de los pernos para distintos tamaños de resección, con la finalidad de disminuir las cargas en los pernos y con ello aumentar la vida útil del implante, hacerlo más confiable y, en consecuencia, mejorar la calidad de vida del paciente.

2. Desarrollo metodológico

Los sistemas suaves [3] se identifican como aquellos a los que se les da mayor importancia por su impacto social. Aunque el principal objetivo de este diagnóstico es determinar la mejor configuración de los pernos (sistema duro), no hay que olvidar que la consecuencia de esta acción repercute de manera positiva en la calidad de vida del paciente, pues el dolor se verá reducido.

Una de las metodologías más usadas para el planteamiento de sistemas suaves es la metodología de Checkland [4], compuesta de siete etapas. Durante el desarrollo de esta metodología es posible identificar los sistemas relevantes del sistema principal, lo que permite encontrar la raíz del problema y dar una solución acertada. En el caso del sistema prótesis-hueso a diagnosticar se plantean seis sistemas relevantes: hueso-pernos, pernos-espaciador-clavo, control-espaciador, emociones del paciente, diagnóstico del paciente y sistema de apoyo al paciente.

A continuación se muestra la aplicación de la metodología de Checkland en el diagnóstico del sistema protésico.

Fase 1. Problema no estructurado. En esta fase se reunió toda la información proporcionada por las áreas del Laboratorio de Biomecánica, Servicio de Tumores Óseos y el Departamento de Calidad de Vida del Instituto Nacional de Rehabilitación.

Fase 2. Situación estructurada. Esta fase permitió clasificar la información obtenida en la fase anterior. En esta fase surgieron las preguntas de investigación, y la hipótesis con respecto a la mejor distribución de las cargas fisiológicas en los pernos.

Fase 3. Definición de sistemas relevantes. De los sistemas mencionados anteriormente se tomó como ejemplo el sub-sistema pernos-espaciador-clavo para elaborar la definición raíz a través de la metodología de CATWOE.

Fase 4. Sistema conceptual. En esta fase se plantea el desarrollo de un diseño de experimentos que dé respuesta a las preguntas de investigación y la hipótesis de la fase 3. El experimento estará diseñado de acuerdo a las variables identificadas en la fase 1, y se aplicará en primera instancia en un modelo de simulación del comportamiento del sistema prótesis-hueso.

Fase 5. Comparar modelos conceptuales con la realidad. En este punto se comparan los resultados obtenidos en el diseño de experimentos de la fase 4 con el desempeño actual del sistema protésico descrito en la fase 1.

Fase 6. Cambios deseables, viables. En el caso del sistema protésico a diagnosticar, con los resultados obtenidos del diseño de experimentos se planteará un rediseño mecánico de la prótesis que contemple la mejor distribución de las cargas sobre los pernos y el espaciador.

Fase 7. Acciones para mejorar la situación problema. Una vez realizado el rediseño mecánico de la prótesis es necesario el

desarrollo de modelos *in vitro* e *in vivo* de la prótesis para conocer su desempeño. Una vez validados dichos modelos se debe contar con la aprobación de las instancias correspondientes para su aplicación en pacientes y poder realizar el seguimiento clínico (quirúrgico-psicológico) continuo del desempeño del implante rediseñado.

3. Resultados

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada fase de la metodología de Checkland.

3.1. Información obtenida en cada área involucrada en el diagnóstico de la prótesis tumoral de rodilla

3.1.1. Laboratorio de Biomecánica del INR

La ubicación de los pernos respecto al sitio de la resección juega un papel importante en la distribución de las cargas del implante. Se ha observado que una mejor distribución de cargas con una colocación del perno proximal a 2.5 cm de distancia del distal y una colocación del perno distal a 5 cm de distancia del espaciador [5].

El tamaño de la resección influye en las cargas que se producen en los pernos (véase Fig. 2 y 3 [6]). Los analistas de esfuerzos han observado que no existe riesgo de falla por fractura del implante al variar el tamaño del espaciador dentro del rango de 20-30 cm. Sin embargo, los esfuerzos en los pernos tibiales se incrementan considerablemente a partir de los 24 cm de resección, lo que puede ocasionar el aflojamiento del implante [5].

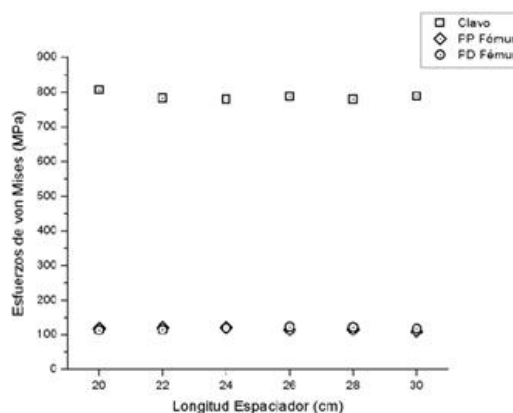


Fig. 2. Distribución de los esfuerzo de von Mises en el clavo y pernos [6].

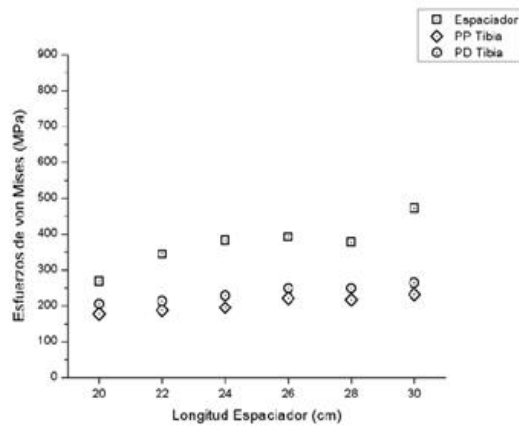


Fig. 3. Distribución de los esfuerzos de von Mises en el espaciador y los pernos [6].

3.1.2. Servicio de Tumores Óseos del INR

La inquietud por analizar el comportamiento biomecánico de esta prótesis surgió por parte del servicio, después de atender el siguiente caso clínico: paciente femenino de 85 años de edad, con un peso de 70 kg y una estatura de 1.55 m, la cual acudió a consulta al Servicio de Tumores Óseos por dolor en la rodilla derecha posterior a una torcedura de pie (eversión forzada del tobillo). Se diagnosticó a la paciente con un histiocitoma fibroso maligno en la rodilla afectada. La paciente fue tratada mediante un procedimiento quirúrgico de artrodesis con un clavo intramedular y un espaciador. La paciente evolucionó sin complicaciones, no obstante, 17 meses después de la cirugía presentó la ruptura del clavo intramedular posterior a una caída sobre el plano de sustentación. El clavo intramedular se fracturó a la altura del sitio de inserción del perno distal del fémur [5].

3.1.3. Departamento de calidad de vida (adscrito al Servicio de Tumores Óseos del INR)

De acuerdo a lo reportado por Flores-Pineda [7], más de 50% de los pacientes con diagnóstico de tumor óseo benigno tardan en promedio de 12 meses en acudir a algún servicio médico después de iniciada la sintomatología (véase Fig. 4). Por otro lado, el 35% de los pacientes con diagnóstico de tumor óseo maligno acuden a algún servicio médico dos o tres meses después de iniciada la sintomatología, como se muestra en la figura 5.



Fig. 4. Tiempos de demora en consulta en el caso de tumores óseos benignos, Laboratorio de Biomecánica 2010.

Debido a que un alto porcentaje de pacientes busca tratamientos después de dos o tres meses de haber comenzado la sintomatología, normalmente, los tumores se presentan con un extensivo involucramiento del tejido blando y superficie articular, lo que hace difícil la preservación de las articulaciones, y en ocasiones, de los miembros pélvicos y torácicos.

Se ha reportado, que a pesar de conseguir una artrodesis sólida, algunos pacientes pueden no estar satisfechos con el resultado final por persistencia del dolor o de la infección.

La mayoría de los pacientes (70%) refieren: dolor de leve a moderado en al menos una de las siguientes situaciones: caminar,

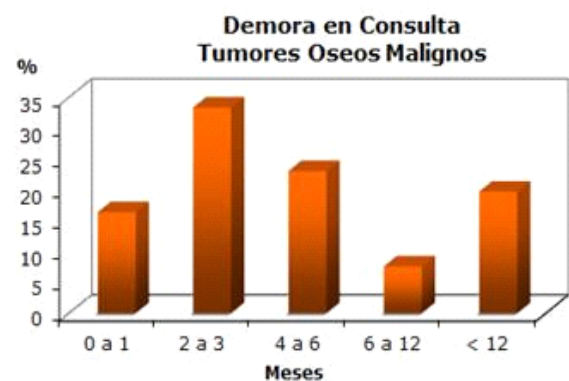


Fig. 5. Tiempos de demora en consulta en el caso de tumores óseos malignos, Laboratorio de Biomecánica 2010.

subir escaleras, nocturno o en reposo. También reportan dificultad leve a moderada para realizar en promedio siete actividades de la vida diaria humana, entre las que se encuentran: subir y bajar escaleras, realizar tareas domésticas, sentarse o levantarse de una silla o el excusado.

De un puntaje entre 0 y 100, el estado de salud promedio fue de 60. El menor estado de salud referido fue de 40 y el máximo fue de 100.

El número de cirugías a las que se sometió a estos pacientes fluctuó entre 1 y 15; en promedio 7, debido a complicaciones como dehiscencia de herida o infección.

3.2. Las preguntas de investigación y la hipótesis resultante para el diagnóstico del sistema protésico

- ¿Qué pasa si se coloca más o menos pernos?
- ¿Cuál es el mejor lugar para colocar los pernos?
- ¿Cuál es la carga máxima que la prótesis puede soportar sin causar daño al paciente?

Hipótesis: La configuración óptima de pernos permitirá una mejor distribución de las cargas a través de los pernos y el espaciador, evitando molestias a los pacientes que portan la prótesis.

3.3. Metodología de CATWOE para el subsistema pernos-espaciador-clavo y elaboración de la definición raíz

Actor: encontrar la configuración óptima de los pernos en función del tamaño de la resección.

Transformación principal: realizar modelos computacionales y experimentales del sistema protésico para evaluar el desempeño de la prótesis.

Weltanschauung o cosmovisión: vida diaria del paciente.

Owner o propietario: Laboratorio de Biomecánica.

Environment o ambiente: Instituto Nacional de Rehabilitación.

Definición raíz: El laboratorio de Biomecánica del INR debe realizar un modelo computacional que permita identificar la

configuración óptima de los pernos, en función del tamaño de la resección, con base en la información obtenida por los médicos y el personal del Departamento de Calidad de Vida para la mejora en la calidad de vida de los pacientes que acuden al Servicio de Tumores Óseos de dicha institución.

3.4. Diseño estadístico de experimento sugerido para la parametrización del sistema protésico

3.4.1. Definir variable(s) respuesta(s)

- Minimizar los esfuerzos de von Mises sobre los pernos (más importante, véase Fig. 6.a).
- Maximizar el promedio de esfuerzos en el espaciador (menos importante, véase Fig. 6.b).

3.4.2. Definir factores del experimento

Se establecieron de acuerdo a [5] y [6]:

- Clavo intramedular: longitud (70, 75 y 80 cm) y diámetro (10, 11 y 12 cm)
- Tamaño de la resección: 15, 20 y 25 cm

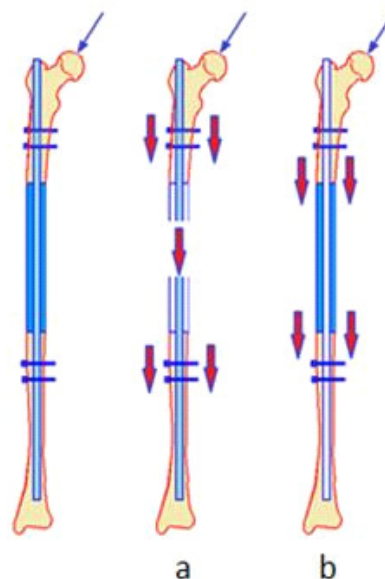


Fig. 6. Vías en la distribución de cargas a través del implante, a) pernos-clavo-pernos, b) espaciador, Laboratorio de Biomecánica 2010.

- Pernos: posición (a 5 cm de la resección, 2.5 cm de separación entre cada perno), cantidad (2 o 3) y diámetro (3.9, 3.6 y 4.2 mm).
- Longitud de la cuerda de la corona, (véase Fig. 7: 2, 3 y 4 cm).
- Calidad de la resección, véase Figura 7: Buena (80%), regular (50%) y mala (10%).

3.4.3. Definir factores del experimento

Factorial con 4374 corridas posibles e interacción de dos factores.

3.4.4. Experimento fraccionado

Debido a que es poco probable realizar las 4374 corridas descritas anteriormente, debido al alto consumo en horas-máquina, se plantea realizar un experimento fraccionado, el cual, mediante un algoritmo de optimización proporcione las corridas más significativas. En el diseño planteado, se obtienen en este paso 117 corridas. Este paso se realizó con la versión de prueba del software Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc. Warrenton, Virginia, USA).

3.5. Fases 5, 6 y 7

Debido a la complejidad y al tiempo requerido para la elaboración del modelo de simulación y el análisis de resultados; el planteamiento del rediseño que surja de la etapa anterior; el desarrollo de los modelos *in vitro* e *in vivo* para la validación del modelo computacional, así como el seguimiento clínico de los pacientes portadores del rediseño, estas fases se desarrollarán en trabajos futuros.

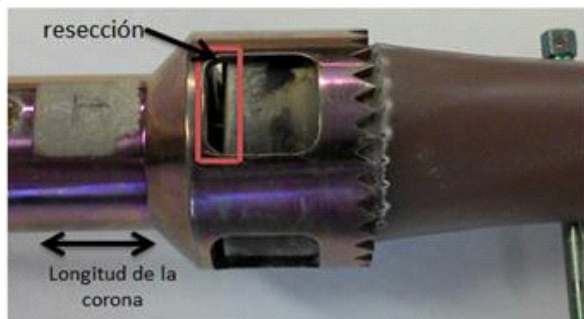


Fig. 7. Vista de la longitud de la corona y la calidad de la resección, Laboratorio de Biomecánica 2014.

4. Conclusiones

El objetivo de la investigación es encontrar la configuración óptima de los pernos (número, posición y diámetro) para mejorar la vida útil del implante, esto significa lograr una mejor distribución de las cargas en el implante, evitando el aflojamiento de los pernos y su hundimiento en el hueso. A pesar de que este problema se puede solucionar a simple vista con un diseño de experimentos (sistema duro), los investigadores del Laboratorio de Biomecánica del INR han observado que además de los factores biomecánicos, existen factores ajenos al diseño mecánico del implante que afectan el desempeño de la prótesis como el entorno sociocultural, psicológico y económico que rodean al paciente. Debido a que no es posible incorporar estos últimos factores a un diseño de experimentos, la propuesta de este documento, es la aplicación de una metodología de sistemas suaves, la metodología de Checkland, que incluya la aplicación de un sistema duro (diseño de experimentos aplicado a un modelo computacional) en la definición del sistema conceptual. Esta propuesta se presenta como la mejor opción para diagnosticar un sistema protésico en general.

La primera fase de la metodología de Checkland es crucial para obtener toda la información posible sobre el implante y revisar los recursos con los que se cuenta, además de las áreas médicas y de ingeniería que intervendrán en el proceso. Con base en la información recabada, es posible plantear un plan de acción para dar respuesta a las preguntas de investigación mediante la elaboración del modelo conceptual, el cual puede tratarse de un sistema duro, como la parametrización de la prótesis por medio de un diseño estadístico de experimentos.

En el caso de sistemas de bioingeniería, las fases 5, 6 y 7 se aprecian a largo plazo dentro de esta investigación.

Referencias

- [1] F. Lin, Y. Hu, L. Zhao, H. Zhang, X. Yu, Z. Wang, Z. Ye, S. Wu, Sh. Guo, G. Zhang, and J. Wang, "The epidemiological and clinical features of primary giant cell tumor around the knee: A report from the multicenter retrospective study in China," *Journal of Bone Oncology*, vol. 5, no. 1, pp. 38-42, 2016.
- [2] I. E. Harris, A. R. Leff, S. Gitelis, and M. A. Simon, "Function after amputation, arthrodesis, or arthroplasty for tumors about the knee," *Journal of Bone Joint Surgery*, vol. 72A, no. 10, pp. 1477-1485, 1990.

- [3] J. G. Miller, *Living Systems*, Colorado: Mc Graw Hill, 1972.
- [4] P. Checkland, and J. Scholes, *La metodología de los sistemas suaves en acción*, México: Noriega, 1994.
- [5] V. M. Domínguez, V. M., Araujo, J. J. Silva, G. Rico, L. M. Linares, and E. Delgado, "Riesgo de fractura del clavo intramedular en un espaciador tumoral para rodilla," *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 24, no. 2, pp. 144-154, 2003.
- [6] V. M. Araujo, V. M. Domínguez, J. Martínez, G. Rico, E. Delgado, D. Alcántara, A. Noriega, and P. Carbajal, "Análisis biomecánico de un espaciador para neoplasias de rodilla en función del tamaño de la resección por medio de Elementos Finitos," *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquía*, vol. 53, pp. 128-134, 2010.
- [7] N. Flores Pineda, "Intervención psicológica de pacientes programados a cirugía de artrodesis de rodilla," tesis de maestría, Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2008.

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

<http://www.dgbiblio.unam.mx/>

<http://periodica.unam.mx/>

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

Número de artículos descargados por región (2007-2012):

México
54 024

América Latina y el Caribe
40 194

Estados Unidos y Canadá
13 254

Europa
15 967

Asia, África y Oceanía
6 025

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
www.redalyc.org

Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo

David **Armas-Ruiz**¹

Steven **Ruiz-Galarza**¹

Marcelo **Piován**²

Luis **Carrión-Matamoros**³

Christian **Narváez-Muñoz**³

¹Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
Carrera de Ingeniería Mecánica
Av. Rumiñahui s/n Sangolquí.
ECUADOR.

²Universidad Tecnológica Nacional-FRBB
Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica
y Aplicada, 11 de abril 461, Bahía Blanca, BA,
B8000LMI.
ARGENTINA.

³Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica,
Av. Rumiñahui s/n Sangolquí.
ECUADOR.

correo electrónico (email): saruiz1@espe.edu.ec
daarmas4@espe.edu.ec

Recibido 04-08-2015, aceptado 11-11-2015.

Resumen

En los últimos años la ingeniería ha empezado a tratar más sobre el estudio de materiales orgánicos como las fibras vegetales que se encuentran en abundancia en distintos lugares del mundo, extraídas de plantas como la cabuya, abacá, paja toquilla, algodón, seda, bambú, balsa, caucho, mimbre, etc. Estas fibras en la actualidad se utilizan en mayor cantidad ya sean solas para motivos artesanales o combinadas con otros materiales para formar un material compuesto con propiedades mecánicas de elasticidad, fragilidad, fatiga y resis-

tencia, que sean aplicables a distintas áreas de la ingeniería. En este artículo se utilizaron distintas fibras que se extraen del tallo del banano, tratadas y sin tratar, combinadas con resina poliéster como matriz.

Las probetas fueron diseñadas con base en la norma ASTM D790, mediante máquinas de ensayos de tracción y flexión universales utilizadas para fibras, se obtuvieron los esfuerzos de tracción y flexión que pueden soportar estos materiales compuestos para su estudio y análisis, así como aplicaciones: estructurales, automotrices, textiles, entre otras.

Palabras clave: fibras de banana, flexión, material compuesto, resina poliéster, tracción.

Abstract (Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body)

In the last few years, engineering has begun to study about the organic materials like the vegetal fibers which can be found in abundance around the world, such as fibers extracted from plants like the sisal, abaca, toquilla straw, cotton, silk, bamboo, balsa wood, rubber, rattan, etc. Actually, the fibers are being used in more amount. People use single fibers for handicraft reasons or combined fibers with other materials to make a composite with some mechanical properties of elasticity, fragility, fatigue and resistance that are applicable to different areas of engineering. In this article we use different fibers extracted from the banana stem combined with the polyester resin as matrix.

Some fibers were treated chemically using a mixture of sodium chloride with water. The specimens of composite material, previously designed with the Standard ASTM D790, were means of machines of universal tests of traction and flexion used for fibers, there were obtained the efforts of traction and flexion that can support these composite materials for study, analysis and applications: structural, automotive, textiles, among others.

Index terms: banana fibers, composite material, bending, polyester resin, tensile.

1. Introducción

En la actualidad se están utilizando fibras naturales por su fácil obtención y extracción de la naturaleza, además, los costos de estos son reducidos en comparación a fibras obtenidas artificialmente [1] y, en muchos casos, sus propiedades presentan ventajas como: gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y el largo de sus filamentos. Estas fibras se utilizan para reforzar a los polímeros formando materiales compuestos con un mayor campo de aplicación en la industria [2].

Existen en el Ecuador alrededor de 25 especies de fibras vegetales especialmente usadas a nivel artesanal. Los desechos orgánicos de las bananeras ecuatorianas no son aprovechados y generan gran cantidad de desperdicios que pueden ser utilizables como es el caso de la fibra de banano. Estos mal considerados desperdicios podrían ser explotados dentro de la ingeniería [3].

Existen estudios sobre el comportamiento de las fibras de banano, en sus propiedades mecánicas, así como tratamientos químicos a los que se somete la fibra, para que posteriormente combinarla con algún tipo de polímero (resina epoxi en la gran mayoría de los casos [4]) y, así, mediante equipos para ensayos de flexión, tracción e impacto, caracterizar estos materiales compuestos. El investigador Shashi Shankar [5] en su estudio sobre el comportamiento de fibras de banano con epoxi realizó ensayos sobre flexión, tracción e impacto de estas fibras reforzando a la resina epoxi; el investigador Mario Fernando Muñoz Vélez [6] llevó a cabo un análisis sobre cómo realizar tratamientos químicos de alcalinización a las fibras para determinar la variación de sus propiedades comparadas con las fibras sin tratar químicamente [7].

En el presente estudio se realizaron pruebas de tracción y flexión en equipos de ensayos universales, para determinar las propiedades de las fibras de banano, de la resina poliéster y del material compuesto conformado entre ambos. Para esto las fibras fueron obtenidas del tallo, desde su corteza hasta la parte más interna del mismo, en la que se extrajeron las fibras en forma de hilos (obtenidas de corteza propia de cada capa del tallo) y fibras en forma de mallas (obtenidas bajo la corteza de cada capa). Se consideraron, además [8],[9],[10],[11],[12].

Dentro de este análisis se realizaron pruebas con las fibras de banano sin tratamiento y con un tratamiento químico de curado con NaOH al 10%, para obtener el comportamiento de sus propiedades mecánicas.

2. Desarrollo

Posterior a la cosecha del fruto de banano se obtiene del tallo los diversos tipos de fibras (véase Fig. 1).

2.1. Extracción de fibra

Para la extracción de las fibras de banano se siguen los siguientes pasos:

- Retiro de las capas del tallo de la planta para poder identificar las correspondientes fibras.
- Extracción de los diferentes tipos de fibras de banano presentes en cada capa, hasta cuando dicha capa lo permita.
- Una vez extraídas todas las capas del tallo del banano, se procede a separar los tipos de fibra que pueden obtener de estas capas, clasificándolos en fibra dura y malla.

2.1.1. Fibra dura

Fibra más usada y la más resistente, por lo que es empleada en la conformación de soporte de elementos (véase Fig. 2).

2.1.2. Malla

Su textura peculiar tiene una especie de entramado que le da su nombre de malla (véase Fig. 3).

Posterior a la extracción de todas las fibras posibles de cada capa, se procede al secado de las fibras por 72 horas a una temperatura ambiente de 18°C.



Fig. 1. Fibras obtenidas del tallo del banano.



Fig. 2. Fibra de banano tipo dura.

2.2. Tratamiento químico de las fibras

Un porcentaje de las fibras extraídas son sometidas a un tratamiento químico con un 10% de NaOH haciéndolas hervir por 45 minutos en agua, esto con la finalidad de eliminar las gomas presentes en las fibras. Posterior al tratamiento las fibras son secadas nuevamente al ambiente.

2.3. Molde para las probetas

Para la selección del material del molde se realizó un estudio de propiedades y costos de posibles materiales, así como la facilidad de maquinado y disponibilidad. El proceso de fabricación de los moldes se realizó en una fresadora CNC marca FADAL. Se utilizó el acero ASTM A36 por el costo, y las propiedades adecuadas que este material brinda. La plancha



Fig. 3. Fibra de banano malla.



Fig. 4. Molde para probetas.

que se utilizó es de 232.50mmx100mmx8mm, en esta plancha existen 10 moldes con dimensiones de 12mmx80mmx8mm. En la Fig. 4 se puede observar el molde terminado.

2.4. Probetas compuestas (resina poliéster y fibras)

Las probetas fueron realizadas en los moldes anteriormente mencionados y teniendo de dimensiones finales 12x80x8 mm $\pm$ 0.5mm según la norma ISO 178 (véase Fig. 5).

Las proporciones en volumen de las probetas se obtuvieron con las ecuaciones 1 y 2:

$$\%Resina = \frac{v_p - v_f}{v_p} 100\% \quad (1)$$



Fig. 5. Molde con fibras de banana colocadas.

$$\%Fibra = \frac{v_p - v_r}{v_p} 100\% \quad (2)$$

En donde v_p es el volumen de la probeta final, v_r es el volumen de las fibras que contiene cada probeta (se considera un volumen constante de fibras de 4287.08 mm³), v_r es el volumen de la resina.

2.5. Ensayo de tracción

Se utilizó una máquina de ensayos de tracción universal marca AMSLER modelo 02-2H-118. Este es uno de los ensayos más empleados y consiste en someter una probeta normalizada a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje hasta que llegue a la deformación y a la rotura correspondiente.

Se aplicó la ecuación 3 para calcular el esfuerzo último que la probeta es capaz de soportar en tracción:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (3)$$

En donde, σ_t es el esfuerzo de tracción, F es la fuerza aplicada, A es el área donde la fuerza es aplicada. En la Fig. 6 se indica la máquina y la probeta durante el ensayo.

Para determinar el módulo de elasticidad de la resina reforzada con fibra se debe aplicar las ecuaciones que se describen a continuación.



Fig. 6. Mordaza de la máquina AMSLER para ensayos de tracción horizontales.

En el caso de tracción toda la sección resistente del material compuesto se deforma (en teoría) igual con la siguiente tasa:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

En donde ϵ_x es la deformación unitaria, ΔL es la variación de la longitud de la probeta medida en dos puntos conocidos, L es la longitud inicial de la probeta medida en dos puntos conocidos.

La tracción σ_x en la dirección longitudinal es:

$$\sigma_x = E_x \epsilon_x \quad (5)$$

En la que E_x es el módulo de elasticidad longitudinal del material compuesto y se calcula en función de los módulos de elasticidad de los constituyentes como:

$$E_x = E_m V_m + E_f V_f \quad (6)$$

Donde E_m y E_f son los módulos de elasticidad longitudinal de la matriz (resina) y fibras, respectivamente.

2.6. Ensayo de flexión

En la probeta sometida a flexión se crea un estado de esfuerzos heterogéneo. La parte inferior se encuentra traccionada y la superior comprimida. Además debido a la variación del momento a lo largo de la muestra, los esfuerzos relacionados con el momento también varían.

Se sometió a las probetas a los ensayos de flexión en la máquina MTS modelo T5002 (véase Fig. 7 y Fig. 8).



Fig. 7. Máquina MTS con la probeta colocada entre apoyos para ensayo de flexión.



Fig. 8. Ensayo de flexión realizado en la máquina MTS.

La norma ASTM D790 investiga el comportamiento a la flexión de plásticos reforzados y no reforzados para determinar la resistencia a la flexión, el módulo de flexión y otros aspectos de la relación tracción/deformación a la flexión. Además se incluye materiales compuestos de alto módulo, materiales aislantes en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o cortados de láminas, placas o formas moldeadas. Estos ensayos son generalmente aplicables tanto a materiales rígidos como a semi-rígidos. Para determinar el esfuerzo de flexión se utilizó la ecuación 7:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bf^2} \quad (7)$$

En donde, σ_f es el esfuerzo de flexión de la probeta, P es la fuerza aplicada, L es la longitud de la probeta, b es el ancho de la probeta, d es el espesor de la probeta.

2.7. Resultados y discusión

En esta parte de la investigación se detallan los valores de los ensayos experimentales y el análisis de las fibras de banano reforzando la resina poliéster.

Tabla 1. Nivel de THDi registrado el 08/03/2015, 4:30p.m.

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]
R1	686,7	8,21
R2	451,26	5,05
promedio		6,63

2.7.1. Ensayo de tracción

Las probetas para los ensayos fueron las siguientes: resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar, resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente, resina poliéster reforzada con fibra de banano dura y por último la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo, las probetas fueron preparadas por estándares para ensayos de tracción, los ensayos se realizaron a una velocidad constante de 10 mm/min para determinar el esfuerzo último a la tracción como se muestra en las tablas 1, 2, 3, y 4.

Tabla 2. Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar (ST: sin tratamiento químico).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
SC1	971,19	10,49	0,74	0,01	805,03
SC2	941,76	10,51	2,02	0,04	291,44
SC3	922,14	9,94	3,46	0,06	164,31
SC4	961,38	10,71	1,82	0,03	336,00
SC5	686,70	7,49	1,3	0,02	320,79
SC6	971,19	10,79	2,38	0,04	258,36
SC7	971,19	11,22	1,66	0,03	375,03
SC8	971,19	10,36	1,08	0,02	543,87
SC9	1314,54	14,24	2,00	0,03	410,07
SC10	745,56	8,21	0,84	0,01	553,51
SC11	1510,74	16,58	0,54	0,01	1771,33
SC12	1177,20	12,76	2,42	0,04	294,33
SC13	765,18	8,81	0,64	0,01	785,74
SC14	774,99	8,70	3,96	0,07	124,06
SC15	784,80	8,77	1,66	0,03	303,78
SC16	755,37	8,49	0,72	0,01	650,05
SC17	951,57	10,77	0,75	0,01	815,35
promedio	951,57	10,52	1,65	0,03	517,83

Tabla 3. Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente (C: con tratamiento químico).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
C1	1569,60	16,88	0,47	0,01	1115,00
C2	1706,94	19,98	0,42	0,01	1384,17
C3	1687,32	18,58	0,83	0,03	685,96
C4	1079,1	12,30	1,57	0,05	220,88
C5	981,00	10,68	0,52	0,02	614,30
promedio	1404,79	15,68	0,76	0,02	804,06

Tabla 4 . Esfuerzo de tracción y módulo de elasticidad en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura (H: fibra tipo dura).

Id probeta	Fuerza de tracción [N]	Fuerza/Área [MPa]	Desplazamiento [mm]	Deformación	Módulo Elasticidad [MPa]
H1	1255,68	13,48	0,99	0,02	798,14
H2	1922,76	22,09	2,07	0,04	597,09
H3	1765,80	19,30	0,59	0,01	1897,01
H4	1569,60	17,50	1,72	0,03	580,02
H5	1628,46	18,00	2,56	0,04	407,74
promedio	1628,46	18,07	1,59	0,03	856,00



Fig. 9. Comparación de ensayos de tracción.

2.7.2. Ensayo de flexión

Las probetas para los ensayos fueron las siguientes: resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar, resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente resina poliéster reforzada con fibra de banano dura y por último la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo, las probetas fueron preparadas bajo la norma ASTM D790 para determinar el esfuerzo ultimo a la flexión como se muestra en las tablas 5, 6, 7, 8 y 9.

Tabla 5. Módulo de elasticidad de los elementos utilizados para la realización de las probetas de material compuesto.

Módulo de elasticidad experimental		
Elemento	Fuerza/(Área×Deformación) [MPa]	
Resina	488,15	
Fibra sin tratamiento químico	961,11	
Fibra con tratamiento químico	1161,82	
Fibra dura	1427,65	

Tabla 6. Esfuerzo de flexión en probetas de resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
R3	58,86	9,21
R4	77,50	11,59
R5	99,08	15,83
promedio		12,21

Tabla 7. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada sin tratar.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
SC18	130,47	19,89
SC19	157,94	23,73
SC20	264,87	37,30
SC21	187,37	28,66
SC22	241,33	35,19
SC23	194,24	27,04
SC24	233,48	36,91
promedio		29,82

Tabla 8. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano mallada tratada químicamente.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
C6	249,17	35,45
C7	195,22	27,15
C8	175,60	23,94
C9	262,91	37,26
C10	233,48	33,14
promedio		31,39

Tabla 9. Esfuerzo de flexión promedio en probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura.

Id probeta	Fuerza de flexión [N]	Esfuerzo de flexión [MPa]
H6	465,98	62,47
H7	463,03	67,68
H8	333,54	46,40
H9	296,26	41,99
H10	361,01	51,59
promedio		54,03

2.7.3. Análisis computacional

Se realizó simulaciones utilizando el método de elementos finitos, para determinar valores teóricos y poderlos comparar a posterior con los resultados reales obtenidos en los distintos ensayos de laboratorio, para realizar estos modelos numéricos se utilizó los valores reales obtenidos posterior a los ensayos de tracción y de flexión.

Para el modelado del ensayo de flexión y tracción se utilizó los módulos de elasticidad indicados en la tabla 5 y los valores de fuerza máxima utilizada para cada ensayo. Los valores a comparar para el ensayo de tracción serán los de deformaciones máximas permisibles obtenidas experimentalmente con las obtenidas por el software de elementos numéricos y para el ensayo de flexión se comparará los esfuerzos últimos obtenidos experimentalmente con las obtenidas por el mismo software.

2.7.3.1. Análisis para ensayos de tracción

Se muestran los análisis en la tablas 10 y 11 (véase Fig. 9).

2.7.3.2. Análisis para ensayos de flexión

Se muestran los análisis en la tablas 12 y 13 (véase Fig. 10).

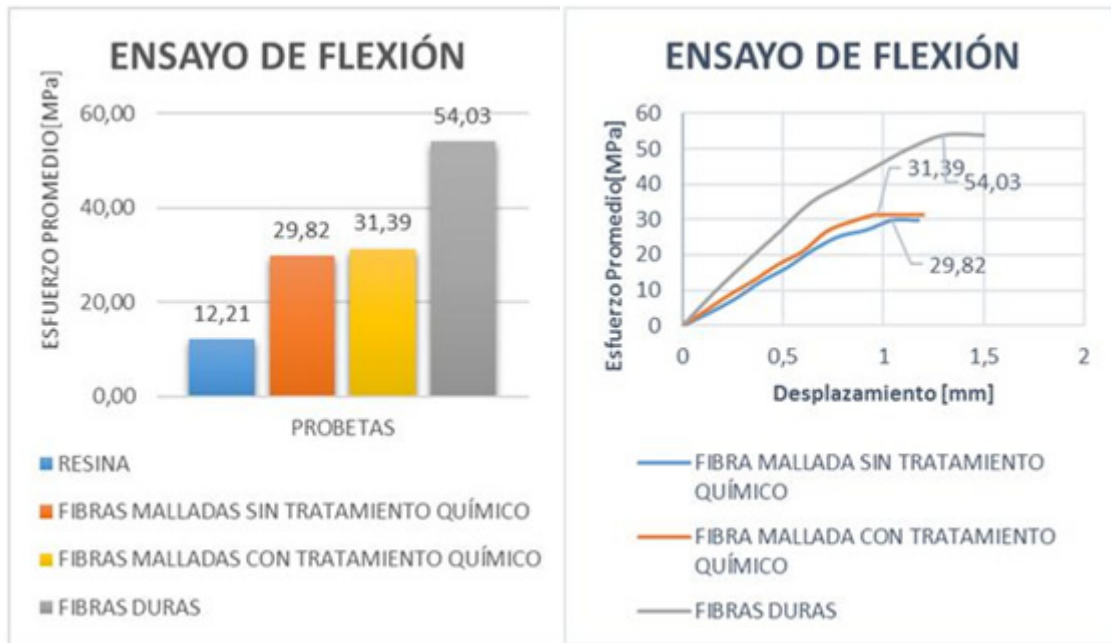


Fig. 10. Comparación de ensayos de flexión.

Tabla 10. Modelo de simulación para esfuerzos de flexión promedio en software general de elementos finitos para compuesto de resina poliéster reforzado con fibra mallada sin tratamiento químico.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	Deformación unitaria equivalente	0.0110933	0.0372182

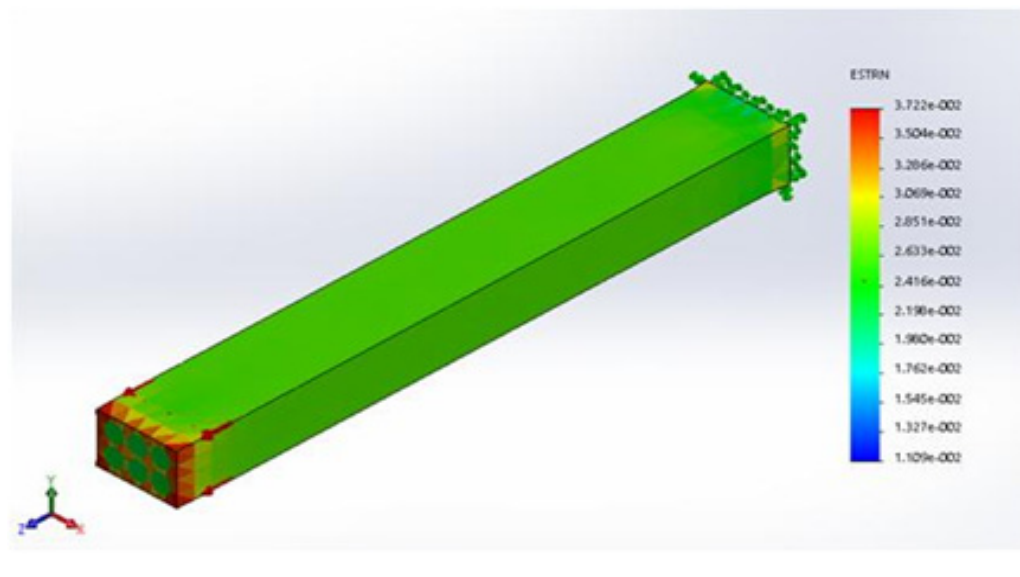


Tabla 11. Comparación de deformaciones unitarias del modelo experimental y el modelo computacional de los distintos tipos de refuerzos utilizados para la resina poliéster, medidos en la sección media longitudinal.

Comparación deformaciones experimentales y computacionales			
Fibra de Refuerzo para Resina	Experimental	Computacional	% error relativo
Mallada sin Tratamiento Químico	0,0396	0,0372	6,32
Mallada con Tratamiento Químico	0,0187	0,0205	8,67
Dura	0,0375	0,0414	9,44

Tabla 12. Modelo de simulación para esfuerzos de flexión promedio en software general de elementos finitos para compuesto de resina poliéster reforzado con fibra mallada sin tratamiento químico.

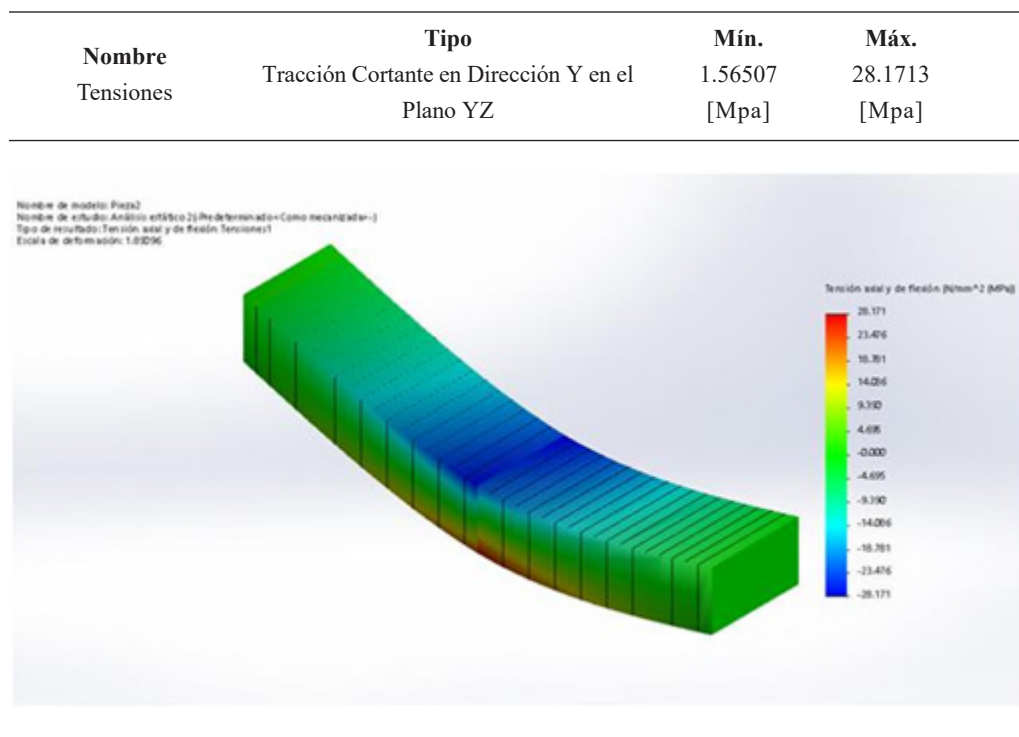


Tabla 13. Comparación de esfuerzos de flexión promedios del modelo experimental y el modelo computacional de los distintos tipos de refuerzos utilizados para la resina poliéster, medidos en la sección media longitudinal.

Comparación esfuerzos promedios flexión experimentales y computacionales			
Fibra de refuerzo para resina	Experimental [MPa]	Computacional [MPa]	% error relativo
Mallada sin Tratamiento Químico	29,8160	28,171	5,84
Mallada con Tratamiento Químico	31,3886	28,346	10,73
Dura	54,0267	48,7450	10,84

Posterior a dicha comparación de los ensayos de tracción y de flexión se puede deducir que estos errores obtenidos en el análisis experimental comparado con el análisis computacional se deben a lo siguiente:

- En las probetas utilizadas en los ensayos de laboratorio pudieron contener partículas de aire en su interior lo que provocó que no exista una distribución uniforme de las cargas utilizadas para el ensayo.
- La carga utilizada en el análisis experimental es constante, lo que en el software la carga va aumentando paulatinamente a medida que se ejecuta el análisis.
- El software considera condiciones ideales de trabajo, es decir, no considera factores externos que pueden afectar al trabajo como son la densidad del aire en el ambiente, la temperatura, la humedad relativa del ambiente, el tiempo de elaboración del elemento, cosa que en la vida real hay que considerar todos estos tipos de factores para la ejecución del ensayo.

3. Conclusiones

- Al obtener un material compuesto, reforzando la resina con fibras de banano de distintas características, las propiedades mecánicas que presenta este compuesto son mejores en comparación con el comportamiento de la resina poliéster, esto se puede verificar en los valores obtenidos en los ensayos de tracción y flexión de las distintas probetas.
- El tratamiento químico realizado a un grupo de fibras, y su posterior combinación con la resina demuestra que las propiedades mecánicas son mejoradas en comparación a la resina combinada con fibras no tratadas.
- El máximo valor de esfuerzo a tracción que se obtuvo es de 18.07 MPa pertenecientes a las probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura, en comparación del valor de 6.63 MPa correspondiente a la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.
- El máximo valor de esfuerzo a flexión promedio que se obtuvo es de 58.60 MPa pertenecientes a las probetas de resina poliéster reforzada con fibra de banano dura, en comparación del valor de 12.21 MPa correspondiente a la resina poliéster sin ningún tipo de refuerzo.
- Con el material compuesto obtenido se puede aprovechar la elevada resistencia a la compresión que presenta la resina y la resistencia a la tracción que nos brinda la fibra, en múltiples aplicaciones y en distintas solicitaciones que se le exija como por ejemplo: elementos de carrocería, partes de aeronaves o embarcaciones, estructuras aislantes, accesorios para herramientas entre otros.

- El material compuesto de fibra de banana con resina poliéster que presentó las mejores propiedades mecánicas tanto de tracción como de flexión fue la correspondiente a la combinación de fibra dura con resina. Este compuesto superó las propiedades mecánicas de la resina poliéster en aproximadamente el 272.55% en el esfuerzo máximo a la tracción, 292.46% en el módulo de elasticidad y 442.51% en el esfuerzo promedio de flexión.
- Al tratar químicamente a las fibras de banano malladas las propiedades mejoran en el esfuerzo a tracción en aproximadamente 150% y en flexión un 105% lo que nos demuestra que estos compuestos no tendrían inconvenientes en trabajar en ambientes salinos sin que sus propiedades se vean afectadas.

Referencias

- [1] K. Begum, and M. A. Islam, "Natural Fiber as a substitute to Synthetic Fiber in Polymer Composites: A Review," *Research Journal of Engineering Sciences*, vol. 2 no. 3, pp. 46-53, abril 2013.
- [2] D. Chandramohan, and K. Marimuthu, "A review on natural fibers," *International Journal of Review in Applied and Social Sciences (IJRASS)*, vol. 8, no. 2, pp. 194-206, 2011.
- [3] K. Torres, "Experimentación tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos," tesis de licenciatura, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2013. [en línea] Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2641>.
- [4] N. Venkateshwaran, and A. ElayaPerumal, "Banana Fiber Reinforced Polymer Composites - A Review," *A Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, no. 15, pp. 2387-2396, mayo 2010.
- [5] P. Shashi Shankar., K. Thirupathi Reddy and V. Chandra Sekhar., "Mechanical Performance and Analysis of Banana Fiber Reinforced Epoxy Composites", *International Journal of Recent Trends in Mechanical Engineering (IJRTME)*, vol. 1, pp. 1-10, 2013.
- [6] M. Muñoz, M. Hidalgo, and J. Mina, "Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial," *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, no. 2, pp. 60-70, julio 2014.
- [7] L. A. Pothan, and S. Thomas, "Polarity parameters and dynamic mechanical behavior of chemically modified banana fiber reinforced polyester composites",

- Composites Science and Technology*, vol. 63, no. 9, pp. 1231-1240, julio 2003.
- [8] S. Raghavendra., Lingaraju, P. Balachandra Shetty, and P. G. Mukunda, "Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 1652-1655, mayo 2013.
- [9] A. N. Nakagaito, and H. Yano, "The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high strength plant fiber based composites," *Applied Physics Part A: Materials Science & Processing*, vol. 78, no. 4, pp. 547-552, marzo 2004.
- [10] J. Santhosh, N. Balanarasimman, R. Chandrasekar, and S. Raja, "Study of properties of banana fiber reinforced composites," *International Journal of Recent Trends in Mechanical Engineering (IJRTME)*, vol. 3, no. 11, pp. 144-150, noviembre 2013.
- [11] S. Aguilar, J. Ramírez, and O. Malagón, "Extracción de fibras no leñosas," *Revista iberoamericana de Polímeros*, vol. 8, no. 2, pp. 89-97, marzo 2007.
- [12] P. Pontón, and V. Guerrero, "Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de Abacá mediante estratificación manual", *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, vol. 23, no. 3, pp. 47-54, diciembre 2010.

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

<http://periodica.unam.mx/>

**INSTITUTO
POLITÉCNICO
NACIONAL**

80

ANIVERSARIO

1936-2016

Evaluation of Temperatures in Mexico to Analyze the Saving and Efficiency Energy

Hernán Daniel Magaña-Almaguer¹

Carlos Pérez-Tello²

Gustavo López-Badilla³

¹Instituto Tecnológico de Mexicali
Mexicali, Baja California.
MÉXICO.

²Universidad Autónoma de Baja California
Mexicali, Baja California.
MÉXICO.

³Universidad Politécnica de Baja California
Mexicali, Baja California.
MÉXICO.

correo electrónico (email):
maganahernan@itmexicali.edu.mx
carlosperez@uabc.edu.mx
glopezbadilla@yahoo.com

Recibido 17-06-2015, aceptado 21-11-2015.

Abstract

Natural gas and coal have caused serious damage to human health and the environment over the last 100 years, its emissions. In the last 10 years, it has increased the use of non-renewable energy, but even so, they are still used fossil fuels such as oil and nuclear energy, which generate significant concentrations of air pollution, being mainly the pollutants derived from the carbon. This has caused problems for the environment and health in populations of large cities. This has led to generate extreme climates, where the climate in indoors of buildings, is responsible for the increased energy consumption in areas of extreme weather such as the city of Mexicali and many other urban areas of our country. Because of this, there are a lot studies of temperature levels, where is carried out in different regions, with thermal simulators that are based on scientific principles and operated from computing platforms to evaluate the thermal performance of buildings indoors. With mathematical simulations of heat transfer levels of outdoors to indoors of buildings, it can be known the process of climate in

indoors, and thus able to recommend and evaluate some energy saving measures. This can minimize the consumption of electrical energy and support to not affect the environmental and with this the climatic factors and the human health. This work aims to collect data on time in some regions of our country, from specialized data systems for thermal simulation as residential housing, office buildings, or any construction in Mexico. The study was conducted in the period of 2010-2012.

Index terms: analysis of temperatures, saving energy, energy efficiency.

Resumen (Evaluación de temperaturas en México para analizar el ahorro y eficiencia de energía)

El gas natural y el carbón han generado graves daños a la salud humana y el medio ambiente en los últimos 100 años, por sus emisiones. En los últimos 10 años, se ha incrementado el uso de energías no renovables, pero aun así, se siguen utilizando combustibles fósiles como el petróleo, energía nuclear, que generan concentraciones considerables de contaminación del aire, siendo principalmente los polutantes derivados del carbón. Esto ha originado problemas al medio ambiente y salud en las poblaciones de las grandes urbes. Esto ha generado climas extremos, donde el clima artificial de interiores de edificaciones, es responsable por el mayor consumo de energía en las zonas de clima extremo como la ciudad de Mexicali, y muchas otras áreas urbanas de nuestro país. Debido a esto, se tiene una gran diversidad de estudios de los niveles de temperaturas en diversas regiones del país, con simuladores térmicos que se basan en principios científicos y operados desde plataformas informáticas para evaluar el rendimiento térmico en interiores de edificaciones. Con las simulaciones matemáticas se conocen los niveles de transferencia de calor de los exteriores a los interiores de las edificaciones y, con ello, se puede recomendar y evaluar algunas medidas de ahorro energético; para reducir el consumo y ayudar a contener los problemas ambientales o de energía. Este trabajo tiene como objetivo recoger datos de tiempo en algunas regiones de nuestro país, a partir de los sistemas de datos especializadas para la simulación térmica como viviendas residenciales, edificios de oficinas, o cualquier tipo de construcción en México. El estudio se realizó en el periodo de 2010 a 2012.

Palabras clave: análisis de temperaturas, ahorro de energía, eficiencia energética.

1. Introduction

The electrical energy consumption of air conditioning equipment represents an increase of over 50% in demand for electricity in the residential housing in areas that require it, in office buildings, hotels, shopping malls and stores department. This is in order to get a comfort during the summer months ranging from May to October in this zone of the northwest of Mexico, where some regions are identified as hot zones, as Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango and Tamaulipas. In these zones of Mexico, are two major climates identified as very dry, dry and semi dry areas, represented by high temperatures during the summer months, reaching 45°C and near of 0°C in winter, with levels higher than 50% of relative humidity. Thermal simulators operate with climatological data of the region in which the property is located. The simulation results are as good as the data that have fed, so it is important to have reliable climatological information and processed the way they require simulators. Thermal simulators operate with climatological data of the region in which the property is located [1]. The simulation results are as good as the data that have fed, so it is important to have reliable climatological information and processed the way they require simulators. There are a lot of studies conducted to evaluate the temperatures and their relationship to the energy consumption. An example may be the Federal Electricity Commission (FEC), which supply, regulates and control the electricity in the northwest of Mexico principally. FEC evaluates the temperatures by regions where climates are hot, and presents an increase of the consumption by air conditioning or coolers evaporative and increasing the economic costs to the families. For this reason, this study is focused on decreasing cost per kilowatt hour below their normal price in the Mexicali city where the cost of electricity is very high. Also in this zone of Mexico, the electricity system lacks a formal technical analysis methodology for estimating prices that can be discussed by experts on the subject and subjected to other types of analysis. In Mexicali, exists the Engineering Institute at the Autonomous University of Baja California (UABC), which has developed a simulator which using thermal calculations for hourly temperatures showing that they can be estimated skills. This can be, with cooling system functions and the electricity consumption, of any construction building with the climatological information of the cities, where can be possible realize analysis, of efficiency of energy [2],[3].

Specialized thermic systems

The commercial simulators to realize thermal calculations regularly are developed by companies engaged in selling of used computing systems to calculate the temperatures cities and determine of the cooling systems capacity in buildings. But most, have only climatological information of USA and provide estimates of thermal loads in buildings that are not used in our country, and furthermore the presence of heat can provide a different reality. The biggest problem of designers of these systems is when they face to thermal calculations of the 11th temperature level, solar radiation and relative humidity, principally; in hourly periods, and each place represents a custom analysis. The study aims to show, the possibility to group the principal climatic regions and demonstrate how can behave the reality of a thermal climatic region as a very similarly to another region, and set the conditions where possible. It will also be possible to establish criteria for groups of temperatures in different cities in Mexico.

Efficacy of energetic systems

The importance of efficient use of electric energy is today a topic of utmost importance for all economic, political and social sectors. The companies dedicated in the generation, transmission and distribution of electricity systems

Have shown that it is much better to save or stop using electricity when it is not needed. Exists alternative campaigns implemented on the importance of turning off a light bulb when it is not needed and benefit of present and future to save electricity. In Mexico, the use of electricity in the domestic sector is 26%, distributed in the air conditioning, the lighting, refrigeration and the appliances. Additionally, it should be mentioned that in Mexico, are an average of 8 lamps to the lighting systems in houses and 19 in commercial and industrial activities. If the normal lamps are replaced with saving lamps, would be savings of 80%, and emissions to the environment would be in the order of 31 million tons of CO₂. By other hand, this work aims to provide systematic information of climatic variables of interest such as temperature, solar radiation and relative humidity, hour by hour, trying to cover the widest extension of the territory of the Mexican Republic. This is as a reliable source for mathematical modeling, simulation and thermal energy behavior in the building systems, especially geared towards residential housing, buildings and commercial and public sector. Most of the data is provided by the Sistema

Meteorológico Nacional (SMN-Mexico) with automatic stations monitoring, of climatic parameters mentioned above located in different places of the country. Also, the Meteorology Department of the Engineering Institute in the University of Baja California, California, working with the Department of Engineering of the University of Sonora and Comisión Nacional del Agua (CAN-Mexico) in Baja California, have supported information from their respective stations. The SMN agency under the CNA, has monitoring systems in the Automatic Weather Stations (AWS), with registers every 10 minutes of the following information to studies of this topic showed in table 1.

Once obtained and processed the information of the climatic factors in hourly times, the data can be analyzed to obtain a representative regionalization of climates, average temperatures, and most importantly the variable used in studies of energy efficiency (degree-hours). This indicates, the effect of local temperature, representing the time duration of the temperature obtained in the period of analysis to be used in the thermal simulation program developed by the Institute of Engineering, UABC. With this, can get a realistic characterization of the energetic behavior and establish conditions of conservation and efficient use of energy for all types of buildings in the regions evaluated.

Heat transfer mechanism

Heat transfer occurs mainly when there is a difference of temperatures between two bodies. The heat gain occurs when a body temperature increases relative to another and heat loss, when a body temperature decreases relative to other. The laws of thermodynamics indicate that all physical systems tend to the thermal equilibrium [4], when there is a temperature difference between bodies and it is a phenomenon that occurs

consistently. The second law of thermodynamics states that energy having a direction and sense, has a heat flow in a direction and this, and is from a lower level to a higher level of temperature. When there is a temperature difference between two objects in proximity to each, the heat transfer can't be stopped; and it can only become slower. The thermal conductivity coefficient expresses the magnitude of their ability to conduct heat through unit area of a sample of material of infinite extent. This coefficient varies with conditions Material (moisture content, temperature at which the measurement is performed), by what conditions to do so are fixed, usually for dry material is in some times of 15°C (mean temperature of building materials) and in other times of around 27°C. Heat gain is the rate at which energy is transferred to a space or rate at which energy is generated inside this. Heat gain has two components sensible heat and latent heat, which must be calculated separately [5], [6]. Heat gains usually occur in the following forms:

1. Solar radiation through the windows.
2. By heat conduction through the boundary and by radiation and convection from the inner surface into space.
3. Sensible heat convection and radiation from the internal objects.
4. By introducing external air, either by cooling or by infiltration.
5. Latent heat gains within the space generated.

Thermal calculation

Is expressed through mathematical models how energy is transmitted in as heat between different systems, surfaces, materials, etc.; whenever there is a temperature difference [7], [8]. There are several factors to consider for thermal calculations, and to understand this is important to know how to find heat transfer that can occur, taking into account the main mechanisms as conduction, convection and radiation processes, as is showed in Fig. 1, as the thermal gains can be inside a house.

Heat balance

Generally, the thermal conditions of a building depend of the magnitude of heat gains and losses instantly. The building will tend to heat up when heat gains have the greater losses and the cooling process in the opposite situation. In either both cases, can easily reach the interior conditions of discomfort which, in extreme situations, require artificial cooling systems (cooling and / or heating) to be countered [9], [10]. A heat

Table 1. Climatic factors monitoring by the meteorological stations.

Climatic parameters monitored
Wind speed and direction
Room temperature
Barometric pressure
Solar radiation
Relative humidity and precipitation

Data from CNA-Mexico

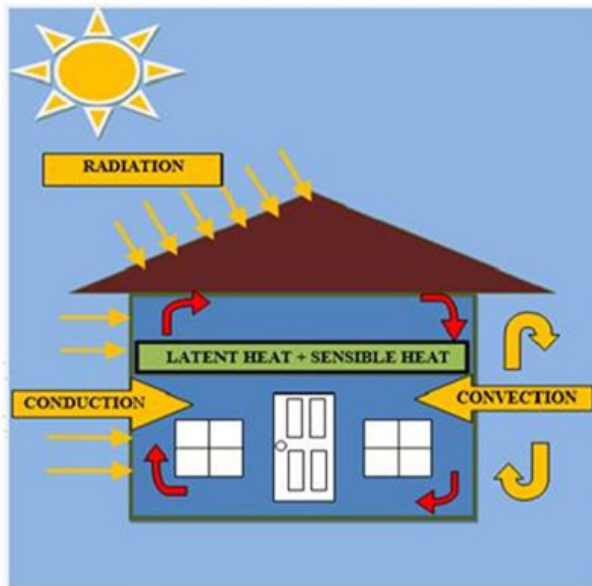


Fig. 1. Transference mechanisms of heat in a normal house.

balance considers internal heat gains and external, described below:

- a) Internal Earnings: People, lighting, equipment, material flow.
- b) External Earnings: Absorption of solar radiation by surfaces exterior windows, skylights, ventilation.

The American Society of Refrigeration and Air Conditioning (ASHRAE), recognized the validity of four methods for calculating the thermal loads to select the capacity of air conditioning equipment, that is mentioned follows:

1. The Method of Transfer Functions (MTF). Is a simplified version of this method with applications for different types of construction, being published in the ASHRAE handbook fundamentals 1977 [11]. This method was founded to estimate the cooling loads in hourly periods and to predict conditions space for several systems, control programs and establish programs operation. The method of transfer functions is applied to calculate unidirectional flow of heat transfer walls and ceilings sunny.
2. The second method is to calculate the thermal charges and differential temperature and the cooling load factors. It is a method that can be applied to be considered as the first alternative calculation procedure manual [12]. This method

is considered a simplified method by using a factor U to calculate the cooling load for roofs and walls, the basic equation for cooling load on outer surfaces is: $Q = UA$.

The Load Calculation Method for Differential Temperature (LCDMT) is based on the assumption that the flow of heat through a wall or ceiling can be obtained by multiplying the (indoor-outdoor) temperature differential by overall heat transfer coefficients [13], which can be found as tabulated values U from ceilings and walls, respectively.

3. The third method is used for the calculation of thermal stress, being the Equivalent Differential Temperature Total and Average Time (EDTT/AT). The first presentation of this method was made in the manual ASHRAE fundamentals 1967, and is recommended for specialized users. To calculate the cooling load of a space using the convention EDTT/AT specialized software, and are utilized the same general procedures employed to apply the MTF.
4. The four method was used to calculating the residential loads [14]. There are several packages in the market of commercial calculation, which facilitate the determination of the cooling load on buildings, for example in the USA, are the follows:
 - a) Residential Load Calculation. This software can estimate the gains and heat losses of buildings of 1900 cities in the United States, but does not specify the methodology used.
 - b) Software Design for HVAC Professionals (www.commercial.carrier.com). The name of E20-II software and its methodology used to calculate the heat gains and losses, is by the method of transfer functions proposed by ASHRAE and can only be used within the United States.

One of the most accepted methods is the transfer function given by ASHRAE in 1997, which is described in the Fundamentals of the manual, containing information of the time required temperature instantly, during the whole year and information needed several years [15]. However simulators, that use this methodology has databases of states and cities of the United States, not possible apply in Mexico. The commercial use simulators based on climatological information, based to the room temperature of the Meteorological Station nearest to the evaluated city, but is not applied to the hour-grade criterion. This can lead to unrealistic results. For example, if desired the simulation of the temperature of a building in San Felipe and not has

registers, can use the record of the city or town which exists nearby information and could be the Mexicali city. Clearly, despite of nearby areas to determine energy behavior is not the same as the climates of both sites and may be significantly different. The simulator developed by Engineering Institute of UABC, uses the methodology transfer functions given by the ASHRAE, and also adding the hour-grade criterion for determining cooling systems, rapid removal of heat and power consumption of an indoor building conditioning. This simulator has been used quite reliable for 22 thermal calculations performed in houses of Mexicali, Hermosillo and Cd. Obregon in Sonora, Culiacan, Sinaloa and diverse cities as Cienfuegos, Moa and Sancti Spiritus, in Cuba, among others. Their database has degree-hour information of these cities and regions. Currently still working to expand the information base available to the simulator for other regions and cities and be used in any part of our country.

Geography of Mexico

Mexico is divided into 31 states and the Federal District, and has a land area of 1,964,375 square kilometers. The geographic location within the map Global is North Latitude $32^{\circ} 43' 6''$ on the border with the United States of America, which is located on the right bank of the Colorado River between The Algodones, Baja California and Andrade, California. West longitude $118^{\circ} 22' 00''$ west longitude; Elephant Rock at Guadalupe Island, located in the Pacific Ocean. North Latitude $14^{\circ} 32' 27''$ and at the mouth of the river Suchiate border with Guatemala. The latitude is 86° West $42' 36''$ at the southeast end of the island women. Mexico has a total population recorded in the census of the year 2005 with 103 million and in the population census of 2010 was 112 million inhabitants that is an increase of 7%. It mention that the study began conducting the census data in 2005, however the increase in population does not significantly affect results.

The climates in Mexico

Climate types identified by the National Weather Service in our country showed in Fig. 2. In Mexico the climate is determined by several factors, among which find the altitude above sea level, geographical latitude, the various weather conditions and the existing distribution of land and water. The country has a great diversity of climates, which can be classified according to their temperature in warm and temperate; and according to the moisture in the middle, being dry, semi dry and very dry, and in humid and sub-humid environments.

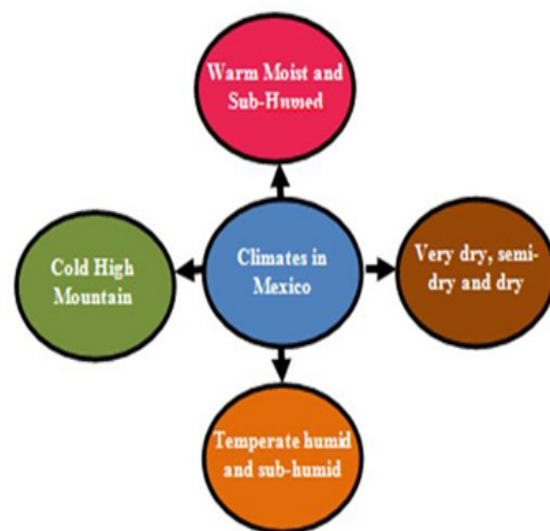


Fig. 2. Climates in Mexico.

Dry and semi dry weather

It is found in most of central and northern Mexico, in a region that includes the 28.3% of the country; and is characterized by the circulation of winds caused by low cloudiness and rainfall 300 to 600 mm per year, with average annual temperature 22°C to 26°C in some regions, at 18°C to 22°C . This corresponds to states located geographically in the North, Northwest and Northeast zones that are principally Aguascalientes (86%), Zacatecas (73%), San Luis Potosi (71%), Nuevo Leon (68%), Coahuila (49%), Sonora (48%), Durango (40%), Sinaloa (40%), Chihuahua (33%) and Baja California (24%). These percentages are the predominant climate in their territory.

Very dry climate

Registers temperatures average 18°C to 22°C , with extreme cases of more of 26°C ; presenting annual rainfall of 100-300 mm on average, 20.8% in the country, and is characterized to be located geographically in the North and Northwest areas covering the states of Baja California (69%), Lower California Sur (92%), Chihuahua (40%), Coahuila (46%) and Sonora (46.5%). these percentages are the predominant climate in their territory.

Warm climate

This is divided into sub-humid warm moist warm. The first of it occupies 4.7% of the national territory and is characterized by

a temperature 25°C annual average between 22°C and 26°C and rainfall of 2000 to 4000 mm annually. Meanwhile, the warm sub-humid climate is found in 23% of the country; it is recorded rainfall between 1000 and 2000 mm per year and temperatures ranging from 22°C to 26°C, with regions where 26°C exceed.

Mild climate

It is divided into sub-humid and humid; and the first, was recorded temperatures between 18°C and 22°C and average rainfall of 2 000 to 4 000 mm per year; comprising 2.7% of the national territory. Regarding the sub-temperate wet, is 20.5% in the country, mostly observed temperatures between 10 ° and 18°C and 18to 22°C, however in some areas may decrease to less than 10°C; recorded rainfall of 600 to 1 000 mm in average during the year.

2. Methodology

The analysis of climate in Mexico was to obtain information of the geographic zones with different environments and can determine the factors about of the activities in each region of this country. In this study was made some steps: (1) compilation, organization and analysis of information of climates in Mexico, (2) Selection of cities with habitants higher than 100 000 habitants, (3) determine maximum and minimum temperatures in the cities of step 2 with the type of climates, (4) select houses to make a thermic simulation and (5) identify houses with high consumption of electricity as shown in Fig. 3.

3. Results

Mexico exhibits throughout its territory six main climates and subclimates classified and grouped by the National Weather System as show in figure 3: (1) warm humid and sub-humid, (2) Dry and semi-dry, (3) temperate humid, (4) warm humid, (5) very dry and (6) warm sub-humid.

Figure 3 was made in accord of three principal climate factors based in population, cities and territory, mentioned next:

1. What is the climate that has largest population in Mexico?
2. What is the climate that has the largest number of cities?
3. What is the climate that has greater coverage in our country?

To answer these questions, was decided to first analyze all cities a larger population of 100 000. The diversity of climate in Mexico explained above was showed by distribution in table 2 and next information.

Classification of climate related with population

For urban populations over 100 000, it was found following:

1. Temperate and sub-humid with the largest number of habitants 24 501 964.
2. Warm and sub-humid in second place with 14 207 920.
3. Dry and semi dry with 13 318 566.
4. Very dry climate in the fourth position with 8 009 361.
5. Temperate and humid with 155.253.
6. Warm in humid with 78 989.

Total of 59 955 484 people, representing 46% of the population of Mexico. Assuming the rest of people lives in towns with less than 100 000 populations.



Fig. 3. Analysis of climates and climates in Mexico.

Núm.	Type of climate	Habitants	Cities	Territorial extension (km ²)
1	Warm and sub-humid	14,207,920	37	562,129
2	Dry and semi-dry	13,318,566	34	521,676
3	Temperate and sub-humid	24,501,964	39	229,754
4	Very dry	8,009,361	33	332,593
5	Warm humid	155,253	20	136,155
6	Temperate humid	78,989	2	27,093

1. Temperate and sub-humid with a total of 39.
2. Warm sub-humid with 37 cities.
3. Dry and semi dry with 34 cities.
4. Very dry with 33 cities.
5. Warm humid climate with 20 cities.
6. Temperate humid with 2 cities.

1. Warm sub-humid with 562.129 km².
2. Dry and semi dry with 521.676 km².
3. Very dry with 332.593 km².
4. Temperate and sub-humid with 229.754 km².
5. Warm humid with 136.155 km².
6. Temperate humid with 27093 km².

Climate greatest impact on consumption and energy demand is one imposes greater demands of HVAC (Heat-Ventilation-AirConditioning) and corresponds to warmer throughout the year and in the summer season. This also implies greater economic burden on consumers of electric power consumption due to extra for the air conditioning required:

- Climates representing higher temperatures throughout the year are the warm humid and warm sub-humid. These are located in the areas geographical of the southeast of Mexico.
- The very dry, semi-dry and dry climates found on the geographic area northern Mexico and have the highest temperatures during summer (May-October). The climate is the most populous sub-humid temperate with 24 501 964 inhabitants it accounts for almost 20%. The weather in more cities is the warm sub-humid with 39 representing 22%. And finally the warm sub-humid climate is the most coverage our territory with 562.129 km², this represents almost 28%.

a) Warm climate. It has higher temperatures year round and are found mainly in the southeast and southwest areas of Mexico, as showed in Fig. 4 with the principal characteristics.

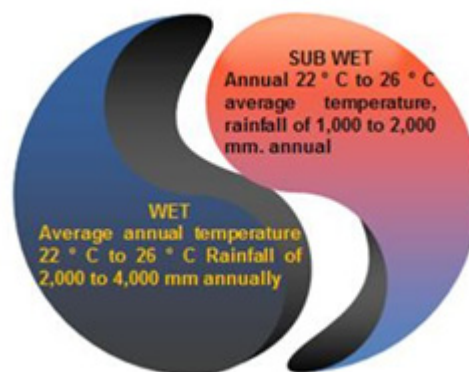


Fig. 4. Simulation analysis of warm climate in Mexico.

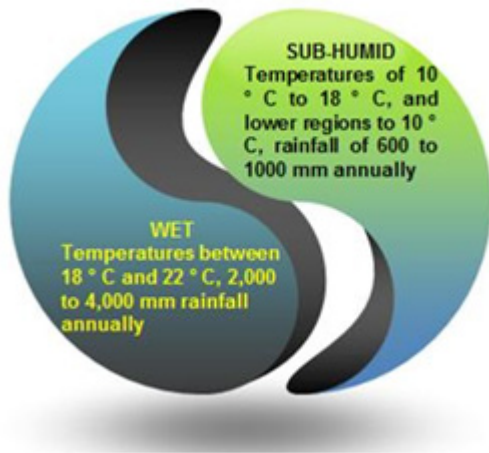


Fig. 5. Simulation analysis of temperate climate in Mexico.

- b) Temperate climate. It presents the lowest temperatures throughout the year is located in the center of Mexico areas, as showed in Fig. 5 with the principal characteristics.
- c) Dry climate. It presents the highest temperatures in the summer period (May to October) and are in the north, northeast and northwest areas of Mexico.

4. Discussion

The humid and sub-humid climates are associated with higher average temperatures through the year the climate and was

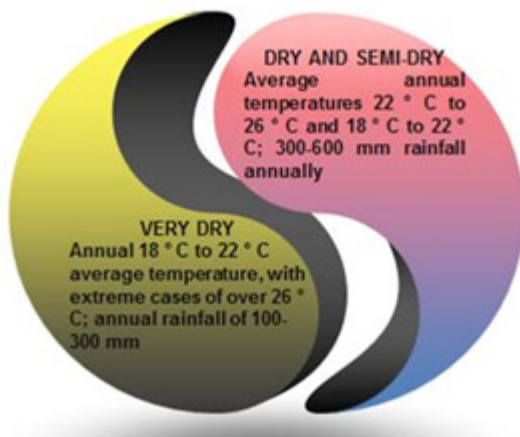


Fig. 6. Simulation analysis of dry climate in Mexico.

identified in the summer and winter, with a difference of no more than 2 degrees Celsius. Very dry, dry and semi dry weather was observed with the highest hourly temperatures during the summer season in Mexico, in contrast, in the winter period temperatures are low. The difference in the average summer temperature over winter is up to 13 degrees Celsius. This indicates that it is an area with extreme weather heat in summer and cold in winter. Temperatures in the humid and sub-humid temperate climates are very similar and relatively low throughout the year.

5. Conclusions

The study foundations to have a systematic regionalization thermo energetically building systems characterize most of the country. Grouped three temperature ranges were selected: 30 to 25°C, 15°C to 25°C and 10°C to 28°C. Cities and regions that belong to a temperature profile can be used to propose actions for saving and efficient energy use, these actions may include official standards in buildings, electricity tariffs, environmental legislation and health among others.

Acknowledgments

Authors want to grateful to University Program of Postgrad that the support and provide to the evaluations the information analysis and the specialized software to make the analysis simulations.

References

- [1] R. A. Taylor, "Socioeconomic impacts of heat transfer research," *Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 3 no. 1, pp. 15-23, 2012.
- [2] J. Walton, C. Hicks, and D. Wilson, *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, Handbook*, 2nd ed., New Jersey: Wiley, 2011.
- [3] J. Wilmore, and D. K. L. Costill, "Materials used in the heat transfer systems," *Journal of Engineering and Climatic Topics*, vol. 8 no. 1, pp. 89- 102, 2012.
- [4] J. M. Smith, M. M. Abbott, and H. C. Van Ness, *Introduction to engineering thermodynamics, Handbook*, 7th ed., New York: McGraw-Hill, 2005, pp. 125.
- [5] Y. A. Cengel, and J. A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*, New York: McGraw-Hill, 2011, pp. 48- 64.
- [6] Y. A. Cengel, *Heat Transfer. A practical approach*, 2th ed., New York: McGraw-Hill, 2005, pp. 67- 82.

- [7] P. A. Tipler, and G. Mosca. *Physics for Scientists and Engineers*, 6th ed., New York: Worth Publishers, 2008, pp. 666-670.
- [8] J. R. Senft, *Mechanical efficiency of heat engines, Handbook*; Cambridge: University Press, 2007.
- [9] F. McQuiston, and J. Splitter, *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, 2nd ed., New Jersey: Wiley, 2010.
- [10] A. Faghri, Y. Zhang, and J. Howell, "Advanced heat and mass transfer," *Journal of Thermic Processes*; vol. 9 no. 4, pp. 57-63, 2010.
- [11] *Fundamentals of American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineering*, ASHRAE Handbook, ASHRAE, 1999.
- [12] J. H. Lienhard V, and J. H. Lienhard IV, "A heat Transfer. An overview", *Journal of Heat Applications*, vol. 6 no. 3, pp. 28-40, 2008.
- [13] A. Mojiri, R. Taylor, E. Thomsen, and G. Rosengarten, "Spectral beam splitting for efficient conversion of solar energy. A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 654-663, Dec. 2013.
- [14] X. Xiaoming, and J. W. Chang, "Smart materials to increase the heat transfer," *Journal of Materials and Engineering*, vol. 7 no. 1, pp. 34-45, 2013.
- [15] M. Wend, and T. Henderson, "Theoretical features of conduction and convection heat transfer," *American Journal of Heat*, vol. 9 no. 1, pp. 80-95, 2012.

Latindex

Sistema Regional de Información en
Línea para Revistas Científicas
de América Latina, el Caribe,
España y Portugal

<http://www.latindex.org/>

IPN

80

Años

1936-2016

ESIME

100

Años

1916-2016

Determinación del enfriamiento en piezas fundidas mediante la técnica de la simulación

Lázaro Humberto **Suárez-Lisca**
Ramón **García-Caballero**
Yaidel **Muñiz-Acosta**
Alexis **Alonso-Martínez**

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Departamento Ingeniería Mecánica.
Carretera a Camajuaní km 5 ½,
Santa Clara, Villa Clara.
CUBA.

Tel. (53)42-281630

correo electrónico (email): lazarosl@uclv.edu.cu

Recibido 07-09-2012, aceptado 27-02-2014.

Resumen

La modelación del enfriamiento de una pieza es un elemento vital para la obtención de piezas fundidas con la calidad requerida. En este caso, la pieza que se toma como material de estudio es un cilindro de laminación, pieza que requiere de una elevada calidad por las condiciones de trabajo en la que desarrolla su trabajo. Este artículo está encaminado a demostrar la importancia del uso de estas técnicas predictivas que tanto aportan a la economía de una empresa. Para llevar a cabo este trabajo, se determinaron los principales elementos de la tecnología de fundición y se realizó una búsqueda sobre los principales datos fisicoquímicos del metal a utilizar, elemento muy complejo por las características del metal.

Como resultado de la evaluación se pudo apreciar el enfriamiento de la pieza con el transcurrir del tiempo, además de poder constatar la importancia de la simulación para piezas con altos requerimientos de calidad y costo.

Palabras clave: simulación, enfriamiento, cilindros de laminación.

Abstract (Modeling of the Cooling of a Piece by Simulation)

The modeling of the cooling of a piece is vital to obtain castings with the required quality. In our case the part is taken as study material is a rolling mill, a piece that requires a high quality working conditions in which its work. This article aims to further demonstrate the importance of using these predictive techniques that both bring to the economy of a company.

To carry out this work, identified the key elements of the casting technology and conducted a search on the main physico-chemical data of the metal used, this very complex element by the characteristics of metal to use.

As a result of the evaluation could be seen the cooling of the piece over time, besides being able to confirm the importance of simulation for parts with high quality and cost requirements.

Index terms: simulation, cooling rate, rolling mill.

1. Introducción

Los cilindros de laminación son los elementos principales de los trenes de laminación, cuya misión es deformar plásticamente por compresión los materiales a laminar consiguiendo con ello una reducción de la sección de dichos productos [1].

Los cilindros de laminación utilizados en la industria para la conformación del metal están sometidos a condiciones altamente complejas y severas. El desgaste, bajo la forma de la abrasión o adhesión metal contra metal, y los fenómenos de fatiga térmica (laminación en caliente) ocasionan la degradación de los cilindros, especialmente cuando se combinan con la oxidación y la corrosión. Este entorno extremadamente agresivo, junto con la exigencia de una mayor pro-

ductividad con tolerancias más estrictas del producto acabado, obliga a esta industria a desarrollar nuevos materiales constitutivos.

Para combatir estos problemas, una de las técnicas utilizadas en estos casos, en general en todo el mundo, es el empleo de programas de simulación los cuales son muy efectivos en el logro de un producto final en la obtención de piezas por fundición [2], [3]. En la actualidad, toda industria competitiva requiere de la simulación de sus productos o procesos, para predecir o corregir posibles problemas que se pudieran presentar. El campo de aplicación de la simulación por elementos finitos es amplio, pudiendo utilizarse ya sea en las grandes estructuras de la industria metalmeccánica como así también en la verificación de pequeños implantes biomédicos [4].

La aplicación más difundida del método de elementos finitos es en diseño de productos. En este caso se tiene la posibilidad de evaluar de manera virtual los prototipos, permitiendo dejar para la etapa final del desarrollo la construcción y el ensayo, una vez que se ha logrado la configuración ideal [5].

En la industria cubana la simulación no es muy tomada en cuenta por diferentes razones, lo cual conlleva a que haya pérdidas económicas de gran magnitud. Desde hace años varios autores han demostrado la importancia de esta técnica [6]. Por lo que es necesario tomar en cuenta la simulación por elementos finitos y así lograr un trabajo más económico así como un producto con calidad. Por lo que es de máxima prioridad el uso de la técnica de simulación pues permite realizar la optimización en ambiente computacional con mucha velocidad y sin costos de insumos materiales o de energía. Claro que para ello hay que contar con un programa de simulación poderoso, dado que se están representando casos reales en ambiente virtual. Dada la complejidad de esta problemática, se ha estado trabajando en conjunto con la Empresa Planta Mecánica de Villa Clara con el objetivo de aplicar la alternativa de simulación en la producción de piezas fundidas y así garantizar producciones con calidad, lo cual será una gran alternativa económica para la empresa y el país de Cuba.

2. Materiales y métodos

Existen tres tipos básicos de herramientas de simulación computarizada: programas empíricos basados en la experiencia y resultados experimentales, programas semiempíricos basados en resultados experimentales además de física básica y programas basados principalmente en principios físicos

que requieren matemáticas complejas además de datos termofísicos aproximados de los materiales.

Para la ejecución de este trabajo se utilizó el software Ansys, este programa tiene un alcance general, es decir, el programa incluye muchas capacidades generales, tales como funciones de preprocesador, soluciones, postprocesador, gráficos, modelado paramétrico y utilidades para que el programa sea fácil de usar.

Este programa utiliza el método de los elementos finitos (MEF) el cual no es más que la transformación de un sistema de ingeniería (con infinitas incógnitas) a un modelo computacional con finitas incógnitas.

2.1. Diseño de la tecnología de fundición del cilindro de laminación

Lo primero por determinar es la tecnología de fundición del cilindro, en la tabla 1 se muestran los principales resultados obtenidos.

Tabla 1. Resumen de la tecnología de fabricación del cilindro de laminación.

Peso bruto para 4 piezas	3920 kg
Peso bruto para 1 pieza	970 kg
Peso acabado	802 kg
Contracción	1%
Temp. de vertido	1280-1240 °C
Tiempo de vertido	35 s
Tiempo de desmoldeo	86400 s
Tiempo de permanencia	86400 s
Diámetro de la boquilla	45 mm
% de eficiencia tecnológica	83%
Capacidad de la cuchara	6 ton
Pintura para el molde	1.5 dm ³
Pintura para la coquilla	1.8 dm ³

Dimensiones de las cajas (véanse los demás anexos)

Mezclas del molde	Mezcla de cara		Mezcla sistema de alimentación	
	Denominación	kg	Denominación	kg
	MCE-4	360	MCE-4	150

Para la realización de una modelación tan compleja como es la que se propone se deben tomar algunas consideraciones iniciales:

- El flujo de calor es unidireccional, estable y el molde se toma como si fuera semi-infinito. Ello implica que la temperatura exterior del molde es constante.
- El contacto térmico del metal y el molde es perfecto, no dando lugar a resistencia térmica en la interfase metal-molde. Ello significa que la temperatura de la interfase es alcanzada instantáneamente y que permanece constante (choque térmico).
- Las propiedades físicas tanto del metal como las del molde permanecen constantes durante el proceso.
- El fluido es isotrópico y tiene una viscosidad constante.
- El fluido es incompresible (densidad constante).
- El fluido es newtoniano.

Para analizar el modelo se requirió alimentar datos al sistema que afectan directamente el resultado final, tales como geometrías, materiales, temperaturas iniciales, estos se pueden observar en el Anexo I.

El modelo real se llevó a un ambiente computarizado permitiendo esto tener una idea de las dimensiones reales de cada punto necesario a evaluar en el programa de simulación (véase Fig.1, Fig 2 y Fig. 3).

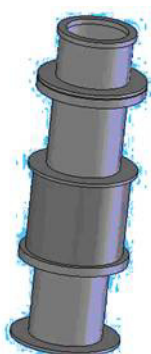


Fig. 1. Dibujo del ensamble de las cajas para producir un cilindro.

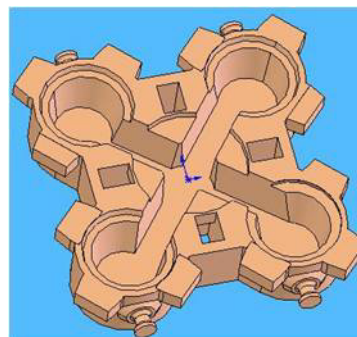


Fig. 2. Base donde se ubican los moldes.

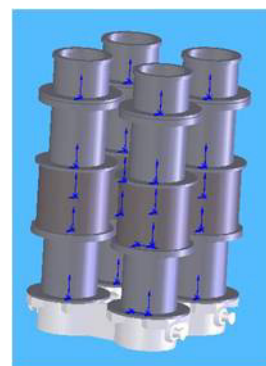


Fig. 3. Ensamble final para obtener cuatro cilindros en una sola colada.

3. Conclusiones (análisis de los resultados)

Al realizar el análisis del enfriamiento de la pieza se observa que sobre la hora de espera todavía quedan puntos locales con una temperatura mayor que el resto de la geometría y que pueden dar lugar a defectos en el futuro (véase Fig. 4 y Fig. 5), además se puede apreciar el buen trabajo que realiza la coquilla, la cual garantiza al menos en el ambiente virtual que la parte más importante de la pieza enfríe como está establecido.

Teniendo en cuenta un breve y muy superficial análisis económico, algunos datos sobre el costo de fabricación de algunos elementos se muestran en la tabla 2, nos permite apreciar la importancia del uso de la técnica de la simulación dentro de los

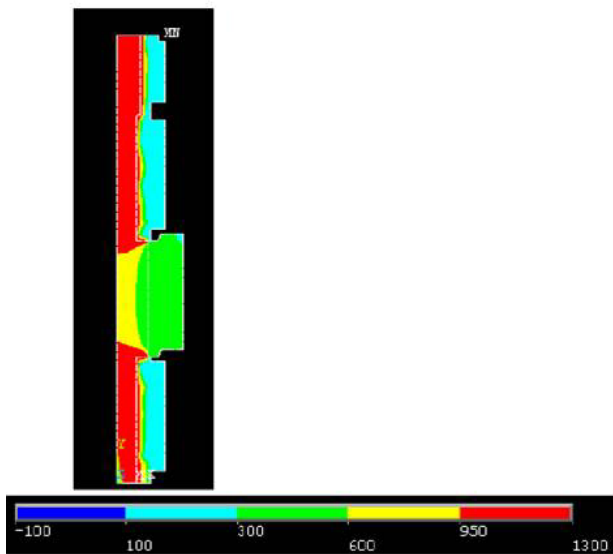


Fig. 4. Resultado de la simulación a los 10 segundos del vertido.

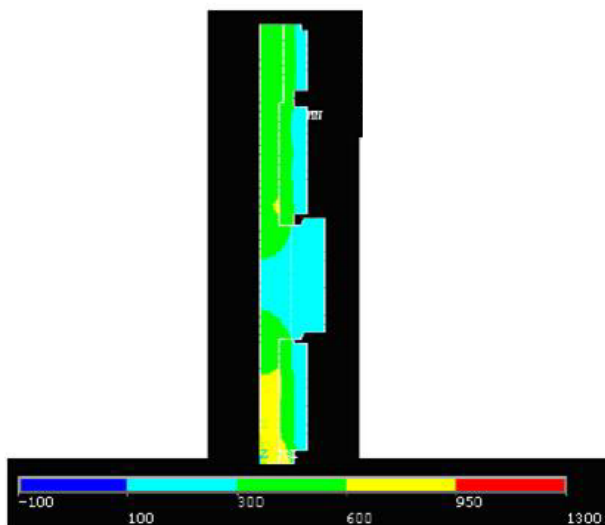


Fig. 5. Resultado de la simulación cuando ha pasado 1 hora.

procesos tecnológicos de fabricación y en especial dentro de la metalurgia para garantizar la máxima calidad del producto y beneficios económicos para la empresa que los ejecute.

Anexo

I. Datos utilizados en el experimento.

Tabla 2. Valores monetarios de algunos elementos.

Caja para la mazarota	370.40
Caja para los extremos	740.80
Coquilla	100.00
Base	100.00
Precio del ensamble para un cilindro	1211.20
Precio del ensamble para cuatro cilindros	4944.80 (se añade la base)

Agradecimientos

Para la realización de este trabajo se hizo indispensable la ayuda de técnicos e ingenieros de la producción los cuales aportaron sobre todo su experiencia.

Referencias

- [1] K. H. Schröder, *Descripción básica de los fundamentos mecánicos de los cilindros de laminación*. 2003. [en línea]. Disponible en http://www.brchina.com/downloads/spanish/Mein_Buch_es.pdf
- [2] J. Pons i Sans, *Estudio de la convección térmica en un proceso de fundición de Aluminio por el método de los elementos finitos*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [3] A. Venkatesan, A., V. M. Gobinath, and A. Rajadurai, "Simulation of casting solidification and its grain structure prediction using FEM," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 168, no. 1, pp. 10-15, septiembre 2005.
- [4] T. R. Vijayaram, S. Sulaiman, A. M. S. Hamouda, and M. H. M. Ahmad, "Numerical simulation of casting solidification in permanent metallic molds," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 178, no. 1,2,3, pp. 29-33, 2006.
- [5] R. D. Pehlke, "Computer Simulation of Solidification Processes- The Evolution of a Technology," *Metallurgical and materials transactions A*, vol. 33, no. 8, 2251–2273, agosto 2002.
- [6] T. Rodríguez Moliner, A. Parada Expósito, and U. Ordóñez, "El uso de técnicas de Simulación para la predicción de defectos en piezas fundidas," *Ingeniería Mecánica*, no. 3, pp. 47-51, septiembre 2004.

Anexo I. Datos utilizados en el experimento.

Datos de la mezcla de arena

Denominación	Composición	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg°C)	Conductividad térmica (J/s m °C)
MCE-4	Arena de cromita (95%) NaOH Silicato de sodio (5%)	1500	830	0.6550

Datos del material de la coquilla

Denominación	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg°C)	Conductividad térmica (J/s m °C)
FG-18 (NC)	7200	510	0.6789

Datos del material a verter

Temperatura	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (J/s m °C)	Entalpía de fusión $f(T)$ J/kg
100	7200	0.5836	
200	7200	0.5051	92110
300	7200	0.4433	147920
400	7200	0.3983	203140
450	7200	0.3820	
500	7200	0.3700	258530
550	7200	0.3622	287840
600	7200	0.3585	320830
650	7200	0.3590	360480
700	7200	0.3638	421820
750	7200	0.3727	485840
800	7200	0.3858	532980
850	7200	0.4031	572750
900	7200	0.4245	608760
950	7200	0.4502	642670
1000	7200	0.4801	675330
1050	7200	0.5141	707570
1100	7200	0.5524	738970
1150	7200	0.5948	1017390
1200	7200	0.6414	1046700
1250	7200	0.6922	1076010
1300	7200	0.7472	1106570
1350	7200	0.8064	1136720

Portal de Portales Latindex

El Portal de Portales Latindex (PPL) proporciona acceso a los contenidos y textos completos de revistas académicas disponibles en hemerotecas digitales de América Latina, el Caribe, España y Portugal, adheridas al movimiento de acceso abierto

**más de 1 542 783
artículos indexados
(2016)**

El objetivo de este portal es difundir el conocimiento científico que se publica en la región iberoamericana. El desarrollo informático utiliza el OAI Harvester2 desarrollado por el Public Knowledge Project (PKP) basado en el protocolo OAI-PMH.

www.latindex.ppl.unam.mx

Instrumento virtual de un filtro adaptable usando una red neuronal dinámica para cancelación de ruido implementado en LabVIEW

Álvaro Anzueto-Ríos
Rafael Santiago-Godoy
Kevin Andrés Hernández-Santiago
Luis Enrique Hernández-Gómez

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria en
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2580,
Col Barrio la Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero,
Ciudad de México, C.P. 07340.
MÉXICO.

correo electrónico (email): aanzueto@ipn.mx
rsantiagog@ipn.mx
kevin.andres.hsantiago@gmail.com
lehernandezgo@hotmail.com

Recibido 13-05-2015, aceptado 21-10-2015.

Resumen

En un laboratorio de máquinas, el ruido que producen cuando se encuentran en operación, sobrepasa los decibeles recomendados, convirtiéndose en contaminación auditiva. En este trabajo se presenta una aplicación para minimizar la contaminación por ruido que se produce en este tipo de laboratorios. Una red neuronal se ha utilizado para la cancelación dinámica del ruido, se desarrolló empleando el software NI LabVIEW 2013 en su versión académica. El instrumento virtual (VI) del sistema está compuesto del panel frontal y el diagrama funcional. Se emplea el algoritmo de aprendizaje de la regla delta sobre una red ADALINE (ADaptive LINear Element). Esta consta de treinta bloques de retraso, cada bloque se encarga de retrasar un tiempo a la señal de entrada y desarrollando de esta manera un tipo de filtrado por ventana. La neurona en su proceso de aprendizaje busca aproximarse al ruido producido por las máquinas. El instrumento

virtual tiene como interfaz de trabajo a la tarjeta NI MyDAQ, donde se reciben las señales de entrada, provenientes de micrófonos tipo electret. En el diagrama funcional se presentan las partes que constituyen el sistema: el supresor de ruido, los componentes del algoritmo LMS y los bloques de lectura de las señales de entrada y salida. La señal resultante del sistema se manda al exterior a un parlante. La gráfica de error presentada indica que la neurona tiene un alto grado de similitud con este sonido. Al restar el valor aprendido por la neurona, a la mezcla de entrada, el ruido fue minimizado demostrando la efectividad del sistema.

Palabras clave: NI LabVIEW, NI MyDAQ, red neuronal dinámica, filtro FIR adaptable, cancelación de ruido, red ADALINE.

Abstract (Virtual Instrument of an Adaptive Filter Employing a Dynamic Neural Network Based on LabVIEW for Noise Cancelling)

In an operating machine laboratory, the noise sometimes exceeds the appropriate levels. As a result, it becomes in noise pollution. In this paper, a noise reduction software for such laboratories is presented. A neural network was developed with the NI LabVIEW 2013 Academic code. It was used in the dynamic noise cancellation, The Virtual Instrument (VI) of the system consists of a front panel and a functional block diagram. The delta rule was used as the learning algorithm for an ADALINE (ADaptive LINear Element) network. This network, featured thirty delay blocks. Each one holds back the input signal for an established period. In this way, a window FIR filter was developed. In its learning algorithm, the neural network attempted to match the noise produced by the machines. The VI had the NI MyDAQ board as an input interface, where the input signals were obtained from electret microphones. In the functional block diagram, the parts of the system are shown. They are the noise suppressor, the LMS algorithm and the input and output reading blocks. For this purpose, the output signal was sent to a loudspeaker. The error plot graph shown, points out that the learned signal had a high degree of likeness with the noise. By subtracting the learned signal to the input mix, the noise was reduced, proving the effectiveness of the system.

Index terms: NI LabVIEW, NI myDAQ, Neural network dynamic adaptive FIR filter, noise cancellation, ADALINE.

1. Introducción

La cancelación de ruido sobre la adquisición de señales es un tópico de interés. Actualmente, este proceso puede verse en la nueva generación de audífonos portátiles, los cuales tienen incluido un micrófono que captura el sonido ambiental y lo considera fuente de ruido. El usuario logra escuchar la canción de su reproductor más el sonido ambiental; por lo tanto el sistema de cancelación de ruido eliminará el sonido ambiental permitiendo al usuario escuchar únicamente el sonido deseado [1]. Otro campo de gran auge sobre la cancelación de ruido es la robótica; un sistema robótico puede alterar su comportamiento ante la presencia de este, nuevamente se puede usar el sistema de cancelación para mejorar el funcionamiento de estos sistemas [2].

Numerosos métodos han sido desarrollados buscando la extracción de señales perturbadoras (ruido), algunos de estos se pueden agrupar de la siguiente manera: (1) métodos clásicos de cancelación de ruido aplicados esencialmente en la rama de las comunicaciones eléctricas, (2) métodos clásicos de procesamiento estadístico de señal y (3) métodos adaptativos de cancelación de ruido. Este trabajo se realizó con base en el tercer grupo de métodos y la adaptabilidad es desarrollada empleando redes neuronales.

El filtro desarrollado en [3], parte de una idea similar a la que se presenta, sin embargo, en dicho trabajo se considera una señal de frecuencia fija (60Hz) como ruido; mientras que, en este trabajo, se tiene una señal con frecuencia variable (ruido generado por un torno). Además, se utilizan más bloques de retraso, ampliando así la ventana de muestreo.

Ríos-Ríos y colaboradores [4] presentan una propuesta de inicialización de los pesos para un filtro espacial empleando el algoritmo LMS aplicado a un arreglo de antenas. Este trabajo parte de una idea similar, al utilizar el algoritmo LMS como método de ajuste de pesos en la arquitectura neuronal empleada y con el resultado se genera el filtro que es capaz de minimizar la señal elegida.

Singh y colaboradores [5] presentan diferentes arquitecturas de filtros de respuesta de pulso infinito en instrumentación virtual comúnmente llamados IIR, Kehtarnavaz y Kim [6] presentan una implementación de eliminación de ruido utilizando un filtro Weiner. Ambos filtros son similares al presentado en este trabajo con respecto al tema de la cancelación de ruido, sin embargo, estos quedan únicamente en una

implementación virtual. En el presente trabajo se emplea una tarjeta NI MyDAQ como interfaz y las señales son obtenidas de un ambiente de laboratorio, además se explota la adaptabilidad de los sistemas neuronales.

LabVIEW es un programa desarrollado a mediados de los años ochenta con base en un lenguaje gráfico. En la actualidad, la compañía *National Instrument* ha desarrollado tarjetas compatibles con este lenguaje [7]. Un caso específico es la tarjeta NI MyDAQ. Tiene tres entradas analógicas. Una de ellas es de audio de forma dual y tres canales de salida analógicos. Se emplean las dos líneas de la entrada de audio para ingresar las señales a procesar y una línea de salida para entregar la respuesta del sistema.

Como base del sistema se tiene una arquitectura neuronal de tipo ADALINE que desarrolla el proceso de filtrado, el cual es considerado como un filtro FIR. Para el entrenamiento de la red ADALINE se utiliza la regla de aprendizaje delta. Se eligió una red neuronal de este tipo debido a su mayor inmunidad al ruido en comparación con un arreglo tipo PERCEPTRON, de hecho se puede decir que estas redes son más ampliamente usadas en aplicaciones prácticas [8], [9], [10], [11].

Este trabajo busca minimizar la contaminación por ruido (en [12] se menciona que el máximo nivel auditivo permitido es 105dB) que se produce en los laboratorios o cuartos de máquina, ayudando a las personas a extender sus horas de trabajo ya que el caso contrario la molestia producida por el ruido cambia el tiempo de productividad de una persona.

2. Filtro adaptable con red neuronal ADALINE

Al utilizar la red ADALINE como un filtro adaptable, se necesitan bloques de retraso de señal. Estos ayudarán a tener los desplazamientos en los datos de la señal de entrada. El arreglo neuronal con los bloques de retardo es presentado en la Fig. 1.

Del arreglo mostrado en la Fig. 1 se obtiene ecuación (1).

$$a(k) = \text{pureline}(Wp(k) + b) \quad (1)$$

La ecuación (1) establece que la matriz de pesos W estará determinada por la cantidad de bloques de retardo, el subíndice k establece la cantidad de entradas a la neurona, b es el factor que polarizará a la neurona y como respuesta de la neurona se tendrá a . La salida a de la neurona es com-

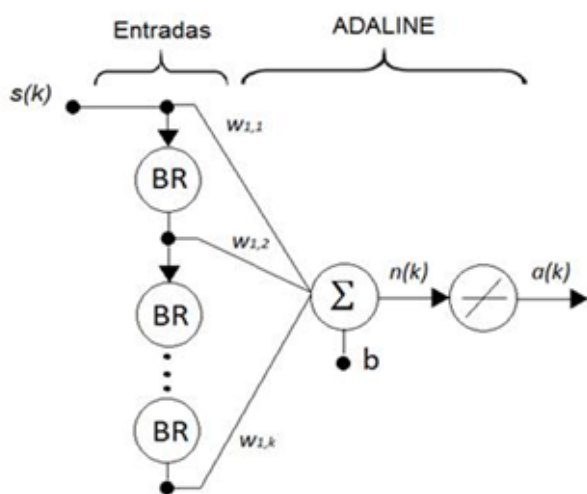


Fig. 1. Arreglo neuronal.

parada con la señal objetivo para obtener el error calculado. Este determinará la adaptabilidad de la neurona. El diagrama de bloques presentado en la Fig. 2 muestra el concepto general del proceso.

En la Fig. 2, como señal de entrada a filtrar y buscando verificar de forma cualitativa el resultado del sistema, se adquirió en un laboratorio de máquinas la señal de mezcla de una canción y el ruido producido por un torno.

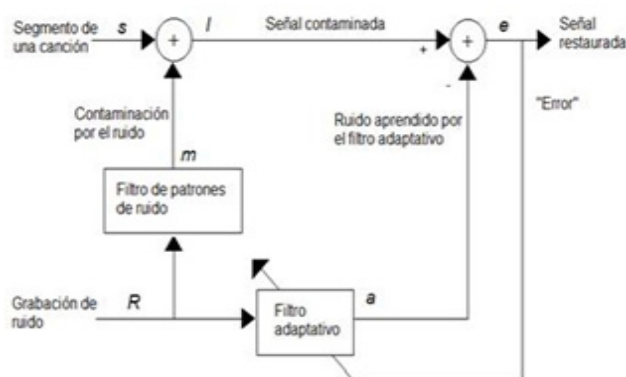


Fig. 2. Diagrama de bloques del procesamiento de la señal.

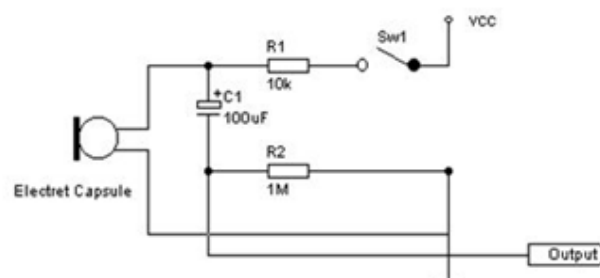


Fig. 3. Diagrama eléctrico del sistema de adquisición física de la señal.

3. Adquisición de señales

Para la adquisición física de las señales, el sistema cuenta con dos micrófonos. Uno de ellos es el encargado de adquirir la señal de ruido y el segundo el segmento de una canción. La señal mezclada está compuesta de la señal ruido que se desea eliminar y de la señal música que representará la señal que se desea conservar. Ambos micrófonos cuentan con la misma configuración y se presenta en la Fig. 3.

En la Fig. 3 se observa la resistencia R1, conectada a la fuente de alimentación, la cual limita la corriente que circulará por el micrófono y el arreglo C1-R2 es utilizado para quitar componentes de alta frecuencia de la señal adquirida antes de ser enviada a la entrada de audio de la tarjeta NI MyDAQ. La tarjeta es la interfaz de comunicación entre el elemento virtual y el ambiente de trabajo.

4. Instrumento virtual del filtro adaptable

El filtro adaptable es desarrollado en el ambiente de trabajo de *National Instruments LabVIEW*. El diagrama completo es presentado en la Fig. 4.

En el diagrama se pueden observar los bloques que componen al sistema y serán descritos en los siguientes apartados.

4.1. Bloque de entrada del instrumento virtual

El bloque de entrada del instrumento virtual realiza la lectura de las señales provenientes del canal del micrófono de la NI MyDAQ. Este canal tiene una configuración dual, permitien-

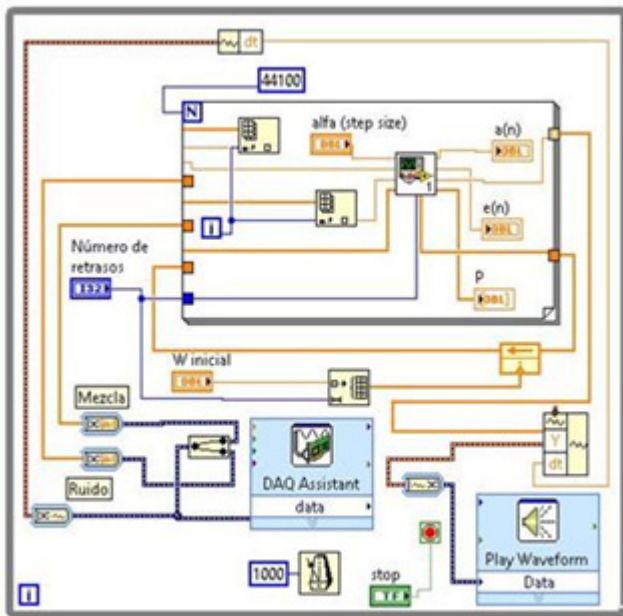


Fig. 4. Instrumento virtual de la red neuronal propuesta.

do, de esta manera, la admisión de dos señales. Este bloque se presenta en la Fig. 5.

Los parámetros de configuración de este bloque son, por un lado, los límites de tensión permitidos que, para este caso, se tiene la tensión con un valor máximo de 1 V y un mínimo de -1 V; por otro, el parámetro de la elección del canal de lectura, se requirió la entrada de audio dual, la cual al configurar el primer canal se refiere a obtener la señal del canal izquierdo y el segun-



Fig. 5. Bloque de adquisición de la señal dual y la separación en dos componentes (canción y ruido).

do canal al derecho. Los parámetros de *sample to read* y *rate* (Hz) son establecidos a 5k, es decir, se obtendrás cinco mil muestras en un segundo de adquisición. A la salida, este bloque entrega una señal dinámica que contiene dos canales, por lo tanto, es necesario conectarle un bloque que separe las señales. Es necesario poner atención en la amplitud de entrada de las señales, ya que podrían exceder el valor máximo de tensión permitido por la tarjeta y, por ende, dañar la entrada de audio.

4.2. Bloque neuronal

Los datos obtenidos del bloque de entrada del instrumento virtual alimentan al bloque neuronal. El bloque actual tiene cinco parámetros de entrada. El primer parámetro es referido a los pesos iniciales de la neurona, su valor inicial es de 0.05 y estos se ajustan para una mejor adaptabilidad de la red neuronal durante el proceso de entrenamiento. El segundo parámetro de entrada corresponde al valor de aprendizaje de la neurona (alfa para este caso). Su valor es de 0.1 y es tomado del artículo *Filtro adaptable usando una red neuronal dinámica para cancelación de ruido* [13]. El tercer parámetro es el referido a la cantidad de bloques de retraso, en el desarrollo se emplea la cantidad de 30 retrasos. Los datos son presentados en secuencia y cada bloque retrasará a la señal un tiempo (t). Los parámetros de entrada, cuarto y quinto, son referidos a las señales de entrada de ruido y mezcla, respectivamente.

El bloque entrega la señal filtrada y el coeficiente de error. La señal filtrada es convertida a formato WAV para poder ser interpretada en algún reproductor multimedia y el coeficiente de error es utilizado como parámetro de retroalimentación en el proceso de actualización de los pesos durante el proceso de aprendizaje, además de ser utilizado como gráfica de comportamiento.

5. Desempeño del sistema

El sonido producido por las máquinas que se encuentran en el laboratorio donde se desarrollaron las pruebas es considerado como fuente de ruido. En la Fig. 6 se muestra la gráfica del sonido producido por una de estas máquinas.

La señal fue obtenida por un micrófono colocado a un metro de la fuente emisora de ruido.

En la Fig. 7 se muestra la gráfica de la señal obtenida por el segundo micrófono la cual es el fragmento musical.

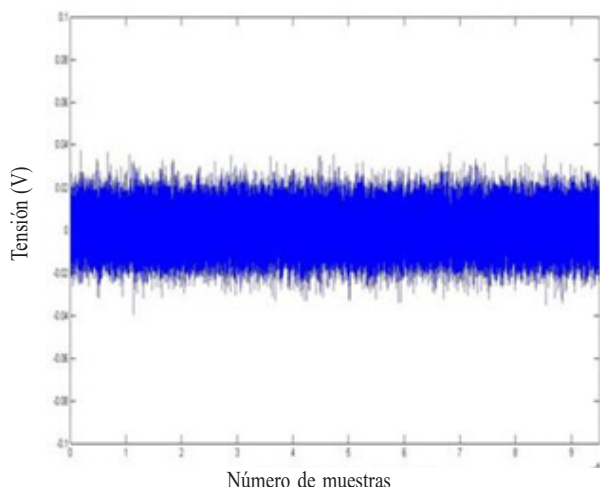


Fig. 6. Espectro de ruido obtenido en el laboratorio.

La mezcla que contiene a la señal de ruido y a la señal que se desea filtrar es mostrada en la Fig. 8.

El esquema de distribución de los micrófonos es presentado en la Fig. 9.

La gráfica presentada en la Fig. 10 es la señal resultado del instrumento virtual elaborado.

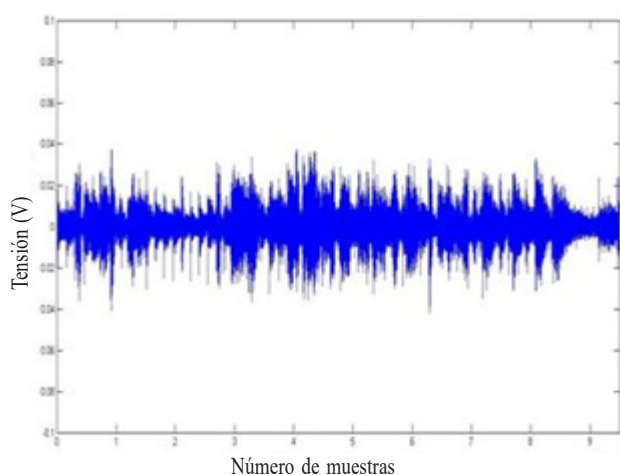


Fig. 7. Espectro de audio musical obtenido por el segundo micrófono.

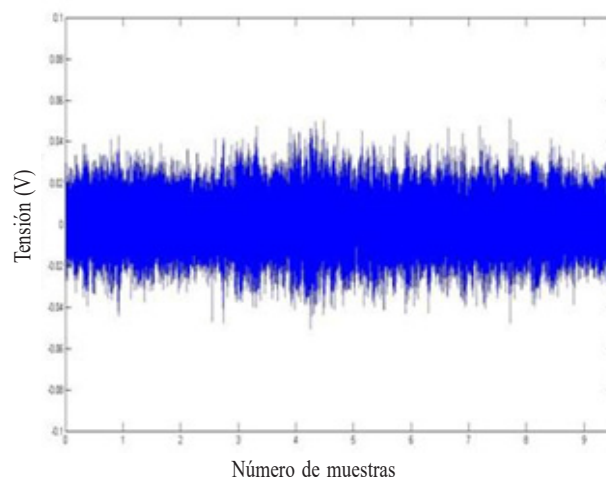


Fig. 8. Espectro de la mezcla entre ruido y el segmento musical.

Como medio de validación de la eficiencia del sistema se presenta la gráfica de error de desempeño de la neurona en la Fig. 11. Este error es calculado restando la señal de salida del sistema con la señal de audio original.

Se diseñó un filtro *Notch* para comparar los resultados obtenidos por el sistema propuesto contra lo reportado en la literatura.



Fig. 9. Distribución de los micrófonos para la captación del ruido generado por las máquinas del laboratorio.

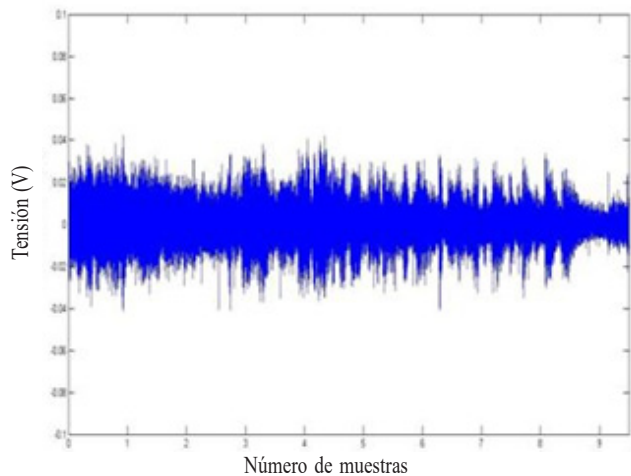


Fig. 10. Gráfica de la señal salida arrojada por el instrumento virtual.

El diagrama del filtro *Notch* es representado por un bloque para filtrar señales en LabVIEW y su gráfica de respuesta puede visualizarse en la Fig. 12.

Como punto principal donde se puede apreciar la diferencia entre ambos sistemas es que el filtro *Notch* es diseñado específicamente para una sola señal de ruido, es decir, si el ruido cambia es necesario cambiar el diseño del filtro *Notch*.

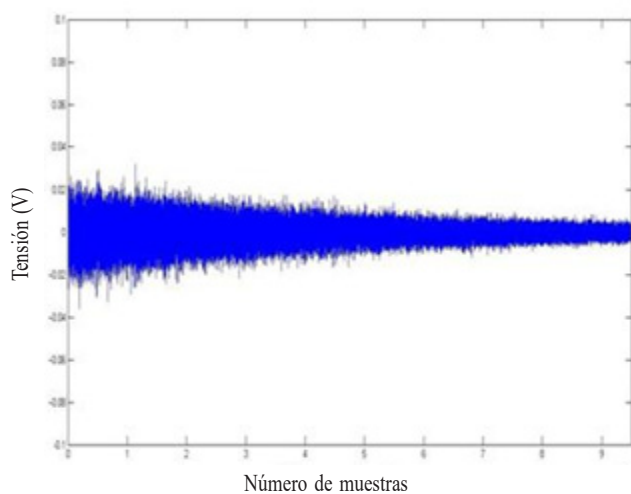


Fig. 11. Gráfica de error del instrumento virtual.

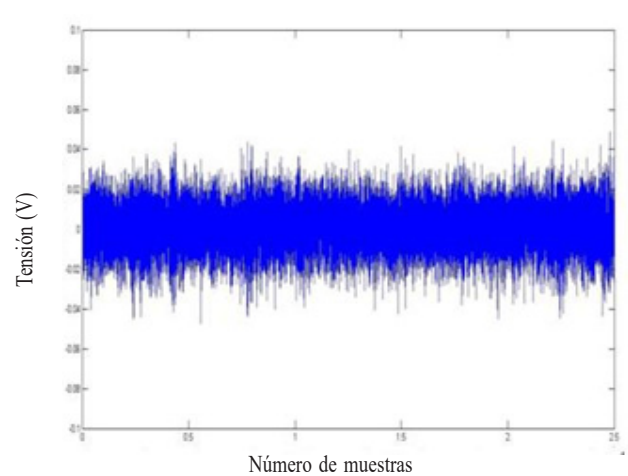


Fig. 12. Como entrada a este filtro se tiene la señal mezcla presentada en la Fig. 6.

El sistema tiene la capacidad de que al cambiar el ruido el sistema de aprendizaje se adaptaría al cambio sin la necesidad de ser reconfigurado.

6. Conclusiones

En este trabajo se presenta un instrumento virtual elaborado en LabVIEW, que desarrolla un filtro adaptable. La adaptabilidad del filtro se logra empleando el algoritmo LMS y un arreglo neuronal es aplicado en el diseño. En el arreglo neuronal se emplearon bloques de retraso para retrasar la señal de entrada.

Los datos arrojados por el sistema aseguran la efectividad de la minimización del ruido en señales ambientales. El sistema fue evaluado con diferentes mezclas, considerando siempre la señal producida por una máquina como el ruido. En todos los casos el sistema logró la minimización del ruido la cual se determina calculando el error de aprendizaje en la red neuronal.

Como perspectivas de este trabajo se tiene su aplicación en la limpieza y estudio de señales mioeléctricas y reconocimiento de patrones en voz.

Referencias

- [1] C. Sidney, J. H. McClellan, A. V. Oppenheim, T. W. Parks, R. W. Schafer, and H. W. Schuessler, Ch. 8, en *Ejercicios de tratamiento de la señal utilizando MATLAB V.4*, Madrid: Prentice Hall, 1998.

- [2] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, and J. R. Buck, *Tratamiento de señales en tiempo discreto*, Madrid: Prentice Hall-Pearson, 2009.
- [3] N. Jindapetch, S. Chewae, and P. Phunkpattaranont, "FPGA implementations of an ADALINE adaptive filter for power-line noise cancellation in Surface electromyography signals," *Measurement*, vol. 45, no. 3, pp. 405-414, 2012.
- [4] C. Ríos-Ríos, M. A. Acevedo-Mosqueda, and P. Oleskiy, "Propuesta de inicialización de los pesos en el filtro espacial LMS," *Científica*, vol. 15, no. 1, pp. 3-9, enero 2011.
- [5] Y. Singh, S. Tripathi, and M. Pandey, "Analysis of Digital IIR Filter with LabVIEW," *International Journal of Computer Applications* vol. 10, no. 6, pp. 23-30, noviembre 2010.
- [6] N. Kehtarnavaz, and N. Kim, *Digital Signal Processing System Level Design Using LabVIEW*, USA: Elsevier, 2005.
- [7] P. U. Bilgunde, S.K., Sudhansu, S.M., and Jagde, "Reducing Complexity of FIR Filter using Narrowband Filters," *International Journal of Computer Applications*, vol. 88, no. 3, pp. 12-16, febrero 2014.
- [8] K. Rakesh, S. Dutta, and K. Shama, "Gender Recognition Using Speech Processing Techniques in LabView," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 51-63, mayo 2011.
- [9] F. Escolano, M. A. Cazorla, M. I. Alfonso, Colomina, and M. A. Lozano, Ch. 4, en *Inteligencia artificial, modelos, técnicas y áreas de aplicación*, Madrid: Thomson, 2003.
- [10] M. T. Hagan, and H. B. Demuth, Ch. 10, en *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, 1996.
- [11] P. Cruz-Ponce, Capítulo 3, en *Inteligencia artificial*, Alfaomega, 2010.
- [12] *Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido*, NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Diario Oficial de la Federación, 17 de abril de 2002.
- [13] K. Hernández-Santiago, A. Anzueto-Ríos, and R. Santiago-Godoy, *Filtro adaptable usando una red neuronal dinámica para cancelación de ruido*, Boletín UPIITA, Ciudad de México, 2015.

Directory of Open Access Journals (DOAJ)

DOAJ is a community-curated online directory that indexes and provides access to high quality, open access, peer-reviewed journals.

<https://doaj.org/>

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

cuenta con:

1138 revistas científicas
38 624 fascículos
496 751 artículos
a texto completo

www.redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

XML JATS en Redalyc

Redalyc ha emprendido una transición y se suma al estándar XML JATS, bajo la especificación JATS4R, lenguaje de metamarcado con reglas simples, que provee de un método uniforme para describir e intercambiar datos estructurados

xmljatsredalyc.org

REDALYC 3.0

Indicaciones para los autores que deseen publicar en Científica

La revista *Científica* es una publicación semestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, que presenta trabajos de investigación y propuestas originales e inéditas de la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, en Sistemas, Electrónica, en Telecomunicaciones y de la Educación en Ingeniería.

Los manuscritos pueden estar escritos en español o inglés y se reciben en formato electrónico (archivo digital adjunto), por medio del correo electrónico revistacientificpn@yahoo.com.mx con atención al Comité Editorial (Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Edificio 5, 1^{er} Piso, oficina de la revista *Científica*; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Ciudad de México, México).

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (que desconoce tanto la autoría y procedencia de los manuscritos) de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros para que evalúen el escrito (por pares ciegos). Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. La aceptación está sujeta a la aprobación, en todos los casos, de dos revisores; cuando no hay consenso entre los dos primeros revisores el Editor Asociado resuelve el dictamen. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas y no pueden estar sujetas a revisión en ninguna otra publicación de forma simultánea; además, el resultado del proceso de arbitraje es inapelable y se sujeta, estrictamente, a las políticas dictadas por el Comité Editorial en funciones. Una vez aceptado un artículo, el autor o autores transfieren los derechos de publicación a la institución editora que está representada por el Editor en Jefe de la revista, los artículos estarán bajo una 'Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional'.

Estructura de los artículos

Los manuscritos deben contener los siguientes elementos: *título*, *datos de los autores*, *resumen* (con palabras clave en español), *abstract* (con palabras clave en inglés: *index terms*), *introducción*, los apartados correspondientes al *desarrollo*, *conclusiones* y *referencias*. Dentro del artículo se numeran, solamente, las secciones desde la introducción hasta las conclusiones.

Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaturas de preferencia) y no exceder de tres líneas.

Datos del autor

Se muestran el o los nombres completos de los autores (sin abreviaturas y distinguiendo los nombres de los apellidos con letras en 'negrita': Nombre **Apellido**), la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país, el teléfono (con la clave internacional de su país) y correo electrónico. En el caso de dos autores o más (de diversas instituciones), se deben mencionar los datos completos de cada uno.

Resumen

Debe contener 250 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir su relevancia.

Abstract

Se incluye el resumen en inglés.

Palabras clave (Index Terms)

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo en español e inglés.

Declaración de subvenciones

Se debe indicar si el trabajo ha sido realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo y el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño.

Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: artículos, libros, memorias de congresos, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes [1], con las siguientes especificaciones (*IEEE Editorial Style Manual*, AENOR UNE-ISO 690):

Artículo de revista científica:

- [1] A. Autor, "Nombre del artículo," *Nombre de la revista*, volumen, número, páginas, mes, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [1] R. Ponce-Morales, F. Sánchez-Silva, I. Carvajal-Mariscal, M. Toledo-Velázquez, and J. S. Cruz-Maya, "Estudio experimental de la reducción de fricción en la conducción de fluidos usando surfactantes," *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, vol. 4, no. 6, pp. 205-217, junio, 2014. [en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=768&idp=1>. Consultado: 20 octubre, 2014.

Libro:

- [2] A. Autor, *Título del libro*, número de edición. Ciudad: Editorial, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [2] J. P. Alperin, D. Babini, and G. E. Fischman, *Indicadores de acceso abierto y comunicaciones académicas en América Latina*, 1ª ed., Buenos Aires: CLACSO, 2014. [en línea]. Disponible en: http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20141217052547/Indicadores_de_acceso_abierto.pdf. Consultado: 5 febrero, 2015.

Tesis:

- [3] A. Autor, "Título de la tesis," grado, departamento, institución, ciudad de la institución, país, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [3] O. I. López-Suárez, "Análisis del desempeño de una prótesis cardíaca en posición aórtica," tesis de maestría, Depto. Ing. Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 2010. [en línea]. Disponible en: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/10306>. Consultado: 17 junio, 2013.

Memorias en congreso:

- [4] A. Autor, "Nombre de la ponencia," en *Nombre del Congreso*, ciudad, país, periodo, año [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udawani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," en *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turín, Italia, 14-19 abril, 2013. [en línea]. Disponible en: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Consultado: 28 noviembre, 2014.

Agradecimientos

Los agradecimientos se consideran dentro del cuerpo del artículo y se incorporan después de las conclusiones.

Anexos

Los anexos (nomenclatura, simbología, notación) se consideran parte del artículo.

Otras consideraciones

El trabajo se entrega en un procesador de textos (*word*) con páginas en tamaño 'carta' con tipo de letra 'Times New Roman' de 10 puntos, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno), alineados a la izquierda, se puede solicitar la plantilla para manuscritos al correo electrónico de la revista revistacientifpn@yahoo.com.mx.

Las ecuaciones y fórmulas se enumeran para mayor claridad, deben encontrarse en formato editable, no como imágenes; los acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto.

Las figuras deben aparecer en el cuerpo del manuscrito y, además, entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). Las tablas deben aparecer en el documento en formato editable.

Los pies de las figuras deben estar debajo de estas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes en figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de estas. Se requiere el uso, en todo caso, de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas.

En el formato de las referencias se han considerados los lineamientos del *IEEE Editorial Style Manual* (2014) del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y las especificaciones de la norma UNE-ISO 690 (2013) para su adaptación al español, traducida por la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.

Científica considera que el material utilizado por los autores para su publicación está debidamente autorizado para tal propósito y le corresponde a los autores, no a *Científica*, obtener los permisos correspondientes para dicho material.

La revista *Científica* realizará las modificaciones editoriales pertinentes para el diseño de los manuscritos en el formato vigente.

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

Científica is a biannual Journal sponsored by the Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) of Instituto Politécnico Nacional Mexico, it publishes theoretical and experimental research on Electromechanical and Electronics Engineering, Computer Engineering, Telecommunications, and also Education in Engineering.

Manuscripts could be written in English or Spanish and sent by email to revistacientifpn@yahoo.com.mx addressed to the Editorial Board [Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Mexico City, DF, Mexico].

Papers are reviewed by the Editorial Board and sent to an Associate Editor (AE doesn't know authors and their affiliations), he chooses two referees (blind peer review) selected for their expertise in a given field and reports to the Editorial Board the results. Authors should only submit original work that has neither appeared elsewhere for publication, nor which is under review for another refereed journal. Author accepts sending his/her paper the Editorial Board Policies. Once a manuscript has received the final approval of the reviewers and Editor-in-Chief, the author will be notified and sent a copyright form, in any event, authors must transfer copyright to *Científica*, papers will be shared by a Creative Commons License 'Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)'.

Manuscripts

The manuscript must be prepared in a *word* format with the sections, starting with an abstract, as shown below:

- **Abstract**
- **Resumen (Spanish abstract)**
- **Introduction**
- **Body of the manuscript**
- **Conclusions**
- **References**

Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

Authors' Name and Affiliations

The authors' name must be written below the title using a one column format starting with the given name followed by one or two family names, if two family names applies,

they should be joined by a hyphen (family names must be in **bold** type). Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number and email.

Abstract

The abstract with about 250 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

Index Terms (*palabras clave*)

All papers must contain index terms as provided by the authors. They must be incorporated in Spanish too.

Financial support

All financial support for the work must be listed here and not in the acknowledgment at the end of the paper.

Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included. The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results if any, together with a Conclusions Section.

References

A numbered list of references must be provided at the end of the paper. The list should be arranged in the order of citation in text, not in alphabetical order. List only one reference per reference number. It is not necessary to mention the authors of a reference unless such mention is relevant to the text (see *IEEE Editorial Style Manual*). Sample correct formats for various types of references are as follows.

Periodicals:

- [1] F. N. Author, "Name of paper," *Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, abbrev. Month, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [1] L. H. Hernández-Gómez, I. Saucedo-Meza, G. Uriolagoitia-Calderón, A. Balankin, and O. Susarrey, "Evaluation of crack initiation angle under mixed mode loading at diverse strain rates," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 42, no. 1, pp. 53-61, Sep. 2004. [Online]. Available: http://www.mfractal.esimez.ipn.mx/integrantes/balankin/balankin_publications/public02/2004_3.pdf. Accessed on: May 25, 2012.

Book:

- [2] F. N. Author, *Title of Published Book*, xth ed. City of Publisher: Abbrev. of Publisher, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [2] L. Jayamaha, *Energy-Efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation*, 1st ed., Portland: McGraw-Hill Education, 2014.

Theses and Dissertations:

- [3] F. N. Author, "Title of thesis/dissertation," M. S. thesis or Ph. D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [3] L. H. Hernández-Gómez, "Crack Initiation under Shock Loading: Validation of a New Testing Technique," Ph. D. dissertation, Dep. Mech. Ing., Oxford Univ., Oxford, UK, 1992.

Published Conference Proceedings:

- [4] F. N. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, City of Conf., Country, year, pp. xxx-xxx [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udawani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," in *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turin, Italy, 14-19 Apr., 2013. [Online]. Available: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Accessed on: Nov. 28, 2014.

Preparation for publication

The following is a list of general guidelines for the submission of electronic media by prospective authors:

The operating system and word processing software used to produce your document should be noted on your e-mail (postscript and Adobe Acrobat PDF files are not acceptable because the files cannot be edited).

Text in Times New Roman 10, single spacing without paragraph indent; check that your files are complete. Include: abstract, index terms, text, references and figure captions.

Figures comments must be below them and tables comments above. It is necessary to use the International Systems of Units not abbreviations.

In order to achieve the highest quality of reproduction, resolutions of 600 dpi (1 bit/sample) at final printed size for line art (graphs, charts or drawing) and 300 dpi (8 bits/sample) at final printed size for photographs and other grayscale images are required.

Científica assumes that material submitted to its publication is properly available for general dissemination for the readership of this publication. It is the responsibility of the authors, not *Científica*, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain that consent. If an author uses charts, photographs, or other graphics from previously printed material, he/she is responsible for obtaining written permission from the publisher to use the material in his/her manuscript.

Científica does not provide drafting or art services. Thus, the better the quality of the material submitted, the better the published result. Try to adhere to the accepted style as much as possible. Of particular importance here is the references list, editing references guidelines are from the *IEEE Editorial Style Manual* (Chapter V. Editing References, pp.34-40).

Científica

ISSN 1665-0654

Instituto Politécnico Nacional, México.

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco.

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación.

www.cientifica.esimez.ipn.mx
revistacientifipn@yahoo.com.mx

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
 Instituto Politécnico Nacional
 MÉXICO

Alexander Balankin
 Instituto Politécnico Nacional
 MÉXICO

Jesús del Castillo
 Instituto Venezolano de Investigación Científica
 VENEZUELA

María Teresa Alonso Rasgado
 University of Manchester
 REINO UNIDO

Manuel Elices Calafat
 Universidad Politécnica de Madrid
 ESPAÑA

Marco Ceccarelli
 University of Cassino
 ITALIA

Héctor Pérez Meana
 Instituto Politécnico Nacional
 MÉXICO

Jinhui Shao
 University of Shuo
 JAPÓN

Indizada en:

Latindex: Sistema Regional de Información en Línea
 para Revistas Científicas de América Latina,
 el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
 Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
<http://www.dgbiblio.unam.mx/>
http://132.248.9.1:8991/F/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y
 el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información
 Científica Redalyc.
redalyc.org.

**Implementación de un filtro pasivo para compensación
 armónica y corrección del factor de potencia**

Implementation of a Passive Filter for Harmonic
 Compensation and Power Factor Correction
 Leonardo **Astudillo-Mora**, Alejandro **Vásquez-Vega**,
 Juan **Rojas-Serrano**.
COLOMBIA

3-11

**Aplicación de la metodología de Checkland para
 el diagnóstico de una prótesis tumoral de rodilla**

Application of the Checkland Methodology for the
 Diagnosis of a Knee Tumor Prosthesis
 Aideé **Huerta-Lecona**, Luis Manuel **Hernández-Simón**,
 Víctor Manuel **Domínguez-Hernández**,
 Víctor Manuel **Araujo-Monsalvo**, Genaro **Rico-Martínez**.
MÉXICO

13-19

**Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras
 de banano de la corteza y el cuerpo del tallo**

Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body
 David **Armas-Ruiz**, Steven **Ruiz-Galarza**, Marcelo **Piován**,
 Luis **Carrión-Matamoros**, Christian **Narváez-Muñoz**.
ECUADOR/ARGENTINA

21-31

**Evaluation of Temperatures in Mexico to Analyze
 the Saving and Efficiency Energy**

Evaluación de temperaturas en México para analizar el ahorro y eficiencia de energía
 Hernán Daniel **Magaña-Almaguer**, Carlos **Pérez-Tello**,
 Gustavo **López-Badilla**.
MÉXICO

33-41

**Determinación del enfriamiento en piezas fundidas
 mediante la técnica de la simulación**

Simulation for Parts with High Quality and Cost Requirements
 Lázaro Humberto **Suárez-Lisca**, Ramón **García-Caballero**,
 Yaidel **Muñiz-Acosta**, Alexis **Alonso-Martínez**.
CUBA

43-47

**Instrumento virtual de un filtro adaptable usando una red neuronal
 dinámica para cancelación de ruido implementado en LabVIEW**

Virtual Instrument of an Adaptive Filter Employing a Dynamic Neural
 Network Based on LabVIEW for Noise Cancelling
 Álvaro **Anzueto-Ríos**, Rafael **Santiago-Godoy**,
 Kevin Andrés **Hernández-Santiago**,
 Luis Enrique **Hernández-Gómez**.
MÉXICO

49-55

EQUIPO EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Director** • Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
 Cuauhtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico** • Luis Alberto Méndez Cruz, **Página Web** • Margarita Sam Rodríguez, **Revisora**