

Precio \$70.00 • Volumen 18 Número 3 • edición trimestral: julio-septiembre 2014 • Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • México • ISSN 1665-0654



#### Instituto Politécnico Nacional México

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



VOLUMEN 18, NÚMERO 3, JULIO-SEPTIEMBRE 2014

LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

#### **DIRECTORIO**

Guillermo Urriolagoitia Calderón

Editor en Jefe

Alma Vicenta Miranda Godínez

Coordinación Editorial

Cuauhtémoc Jiménez Pérez **Edición Técnica** 

Miguel Ángel Tenorio Trejo

Producción Editorial

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

## **Contenido**

#### Análisis del control de humedad en interiores de la industria electrónica de ambientes marinos del noroeste de México

Analysis of control of humidity in indoors of the Electronics industry in marine environments of the northwest of Mexico
Gustavo López-Badilla, Elizabeth Romero-Samaniego,
Sandra Luz Toledo-Perea, Deisy Judith Camacho-Rodríguez,
Janeth Guadalupe Rodríguez-Sánchez, Magnolia Villegas-Soto.

México

89-94

## Análisis mecánico de una línea de transporte de vapor ante cargas sísmicas y de viento

Mechanical Analysis of a Vapor Transport Line under Seismic and Wind Loads Nefi David **Pava-Chipol**, Joel Francisco **Pava-Chipol**, Lorenzo **Morales-Benítez**. **México** 

Determinación de esfuerzos en materiales compuestos de matriz metálica mediante el MEF

Determining Efforts in Metal Matrix Composites by Using a Computer Program Based on the FEM Alexander **Reyes-Cruz**, Juan **Atonal-Sánchez**, Rodrigo **Vázquez-Machorro**.

México 103-106

## Diseño y manufactura de túnel de viento subsónico de circuito abierto

Design and Manufacture of Subsonic
Open Circuit Wind Tunnel
Pablo Moreno-Garibaldi, Barbarela Dávila-Carmona,
Arnulfo Sánchez-Cortés, José Manuel Cervantes-Vázquez,
Miguel Ángel Munive-Rojas, Noemí Corro-Valdez.
México

**M**ÉXICO 107-111

#### 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

95-101

#### 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)

Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Sección de Estudios de Posgrado e Investigación



VOLUMEN 18, NÚMERO 3, JULIO-SEPTIEMBRE 2014

LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

#### **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 de Shieffield (REINO UNIDO)

Guillermo Urriolagoitia Sosa Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Israel Sauceda 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)

Revista Científica ESIME, ISSN 1665-0654, Volumen 18, Número 3, julio-septiembre de 2014. Revista trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Edificio 5, 1er piso, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI-ESIME Zacatenco), Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, Tel. 5729 6000 ext. 54518. correo electrónico: revistacientifipn@yahoo.com.mx. Página en Internet: www.cientifica.esimez.ipn.mx. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo. Reserva: 04-2004-053109300500-102, 31-V-06. Certificado de Licitud de Contenido 7611, 10-I-00. Certificado de Licitud de Título 10962,10-I-06. Suscripción anual: \$ 400.00 (pesos). Annual fee including airmail charges US \$ 50.00 (fifty US Dollar). El contenido de los artículos firmados es responsabilidad del autor. Impresión: Talleres Gráficos de la Dirección de Publicaciones del IPN, Tresguerras 27, Centro Histórico, México, DF. Tiraje 500 ejemplares. Imagen en portada: *Grúa auxiliar diseñada con la finalidad de facilitar el traslado de pacientes con problemas de movilidad dentro de hospitales*, Juan Alfonso Beltrán-Fernández, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación.

## EDITORIAL

Científica, en su tercer número del volumen 18, publica artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita, además, a consultar los artículos y números completos en línea (desde 2005) en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

En el primer trabajo publicado, se elaboró un análisis del efecto de los vientos Santa Ana (VSA), considerado como fenómeno meteorológico, que originó variaciones de las principales variables climáticas como la humedad relativa (HR) y temperatura en los interiores de una planta industrial ubicada en la ciudad de Tijuana en el noroeste de la república mexicana. Los rangos de dichos parámetros climáticos, incrementaron desde 40% a 80% y de 18°C a 25°C, en periodos de solo algunas horas en el transcurso del día en presencia de los VSA. Esto generó el proceso de condensación que originó la formación de películas húmedas visibles e invisibles, que fueron un factor en la presencia de la corrosión electroquímica. Este proceso deterioró los materiales metálicos principalmente de cobre que es muy utilizado en los conectores o conexiones de equipos utilizados en la industria electrónica de esta región. Esto contribuyó a reducir el rendimiento operativo de los sistemas industriales usadas en los procesos de manufactura de la empresa evaluada. Teniendo un adecuado control de los niveles de HR, con un sistema de control automático (SCA), se logró tener rangos de temperatura indicados para evitar la corrosión y el deterioro de las superficies metálicas de los conectores y conexiones eléctricas. Los microanálisis se realizaron con la técnica de Microscopia de Barrido Electrónico (MBE), donde se observó corrosión por picaduras en la época de otoño y corrosión uniforme en el periodo de primavera del estudio realizado del 2010 al 2011.

En el artículo siguiente, se realizó un análisis sísmico y de viento a un sistema de tuberías de transporte de vapor perteneciente a la planta de procesos INNOPHOS Fosfatados de México, ubicada en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz (México). Este se conforma de siete ramales y un cabezal principal. El estudio se llevó a cabo para conocer la integridad mecánica del sistema de tuberías con el que se podrá evaluar la seguridad estructural de la planta. Las tuberías que conforman el sistema son de tres diámetros diferentes, correspondientes a 4, 6 y 18 pulgadas, las cuales transportan vapor a una temperatura de 260°C y a una presión de 2746.46 kPa. El análisis se efectúa mediante el método elemento finito ocupando el programa ANSYS en su versión 14. El modelo se desarrolló con los elementos PIPE16 y PIPE18, los cuales son adecuados para el análisis de esfuerzos en sistemas de tuberías de plantas de proceso. Para el análisis se incluyeron las características geométricas del sistema de tuberías, así como sus diámetros, espesor de pared, soportes y restricciones. Por último se realiza la evaluación de resultados, en los cuales se demuestra que la planta está en condiciones de soportar un sismo de intensidad media alta y que además es capaz de soportas velocidades de viento máximas de 160 km/h; considerando que tanto los sismos y los vientos no actúan al mismo tiempo.

La generación de conocimiento y las necesidades presentes hoy en día en la vida del ser humano ha traído consigo la evolución de nuevos materiales para satisfacer dichas necesidades para ayudar con el desarrollo tecnológico y científico. Los materiales compuestos tienen un papel muy importante en la vida del ser humano, es por ello que su correcto estudio, bajo ciertas condiciones de trabajo es de suma importancia para la generación de diseños confiables. Por ello la aplicación de programas computacionales es necesario para el estudio de estos materiales dentro del proceso de diseño, aunado a ventajas de tiempos de análisis más cortos y ahorro de dinero en la creación de modelos físicos para sus estudios.

Se presenta el diseño y la manufactura de un túnel de viento de circuito abierto, cuya configuración fue seleccionada debido a su bajo costo de fabricación. El propósito de su elaboración se enfoca en la necesidad de la institución por el ensayo de diversos cuerpos bajo la acción de un fluido en movimiento y de esta forma conocer su comportamiento aerodinámico, en pocas palabras el objetivo es diseñar un túnel de viento que genere una corriente de aire limitada por un conducto variable, con la finalidad de lograr condiciones especiales en el flujo y simular el movimiento de objetos en su interior con el propósito de analizar sus propiedades en función del fluido a su alrededor, como fuerzas de levantamiento y arrastre, así como líneas de corriente, etcétera. Otro de los puntos importantes del presente trabajo es la selección del motor, que será el encargado de desplazar el fluido por la sección de pruebas a una velocidad especifica de 50 m/s (180 km/h), valor que es considerado como punto de partida para el diseño y tomando en consideración el estado de Tlaxcala (México) como su lugar de instalación.

Científica agradece su preferencia y le invita a participar con sus aportaciones 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.

# Análisis del control de humedad en interiores de la industria electrónica de ambientes marinos del noroeste de México

Gustavo **López-Badilla**<sup>1</sup>
Elizabeth **Romero-Samaniego**<sup>2</sup>
Sandra Luz **Toledo-Perea**<sup>2</sup>
Deisy Judith **Camacho-Rodríguez**<sup>1</sup>
Janeth Guadalupe **Rodríguez-Sánchez**<sup>1</sup>
Magnolia **Villegas-Soto**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM) Mexicali, Baja California. MÉXICO. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Ensenada (ITE) Mexicali, Baja California. MÉXICO.

correo electrónico (email): glopezbadilla@yahoo.com rose65102@hotmail.com, stoled@hotmail.com

Recibido 22-10-2013, aceptado 24-10-2014.

#### Resumen

Se elaboró un análisis del efecto de los vientos Santa Ana (VSA), considerado como fenómeno meteorológico, que originó variaciones de las principales variables climáticas como la humedad relativa (HR) y temperatura en los interiores de una planta industrial ubicada en la ciudad de Tijuana en el noroeste de la república mexicana. Los rangos de dichos parámetros climáticos, incrementaron desde 40% a 80% y de 18°C a 25°C, en periodos de solo algunas horas en el transcurso del día en presencia de los VSA. Esto generó el proceso de condensación que originó la formación de películas húmedas visibles e invisibles, que fueron un factor en la presencia de la corrosión electroquímica. Este proceso deterioró los materiales metálicos principalmente de cobre que es muy utilizado en los conectores o conexiones de equipos utilizados en la industria electrónica de esta región. Esto contribuyó a reducir el rendimiento operativo de los sistemas industriales usadas en los procesos de

manufactura de la empresa evaluada. Teniendo un adecuado control de los niveles de HR, con un sistema de control automático (SCA), se logró tener rangos de temperatura indicados para evitar la corrosión y se evitó el deterioro de las superficies metálicas de los conectores y conexiones eléctricas. Los microanálisis se realizaron con la técnica de Microscopia de Barrido Electrónico (MBE), donde se observó corrosión por picaduras en la época de otoño y corrosión uniforme en el periodo de primavera del estudio realizado del 2010 al 2011.

**Palabras clave:** control de humedad, industria electrónica, ambiente marino, vientos Santa Ana, microscopía de barrido electrónico.

#### Abstract (Analysis of Control of Humidity in Indoors of the Electronics Industry in Marine Environments of the Northwest of Mexico)

An analysis of the effect of Santa Ana winds (VSA), considered as a weather phenomenon that cause variations of the main climatic factors, such as relative humidity (RH) and temperature in indoors of an industrial plant of Tijuana city, that is located in the northwest of the mexican republic. The ranges of these climatic parameters, increased from 40% to 80% and from 18°C to 25°C, in periods of only a few hours during the day in presence of SWA. This led the condensation phenomena of formation of visible and invisible wet films, which were a factor in the presence of electrochemical corrosion. This process deteriorated metal materials mainly copper used in the electrical connectors and connections of industrial equipments and machinery used in the electronics industry of this region. This generates a reduction in the operation yielding of the industrial systems used in the manufacturing process of the company evaluated. Having the adequate control of RH levels with automatic control system (ACS), was maintained the temperature ranges and prevent the corrosion and deterioration of the metallic surfaces of the electrical connectors and connections are avoided. Microanalyses were performed using the technique of Scanning Electron Microscopy (MBE), where corrosion pitting was observed in the autumn season and uniform corrosion in the spring period, of study conducted from 2010 to 2011.

**Key words:** humidity control, electronics industry, marine environment, Santa Ana winds, scanning electron microscopy.

#### 1. Introducción

Este estudio presenta un análisis del 2010 al 2011, centrado principalmente en la época de invierno del 2010 (finales de mes de octubre y principios del mes de diciembre) hasta principios de la primavera de 2010 (finales del mes de marzo a principios del mes de abril), que fue cuando se tuvo presencia de los vientos Santa Ana [1]. En estos periodos, la HR y temperatura de la costa de Baja California y de los interiores de la empresa donde se desarrolló el estudio, oscilaron muy drásticamente aumentando y disminuyendo en pocas horas del día. Esto ocasionaba que las superficies metálicas de las conexiones y conectores eléctricos, presentaran condiciones de mojado a seco y viceversa en pequeños lapsos con cambios muy rápidos [2].

Estas variaciones influyeron en la velocidad de corrosión (VC) de los conectores y conexiones eléctricas. En la región noroeste que abarca la costa de Baja California, se encuentra la ciudad de Tijuana considerada como zona industrial, y siendo frontera con la ciudad de San Diego, California, es de gran importancia. Es aquí donde se inició la investigación obteniéndose información de interés para los expertos en el área de corrosión y de electrónica [3]. La cantidad de dispositivos electrónicos defectuosos, utilizados en los procesos de manufactura e inspección, se incrementó desde 25% hasta 50% y las fallas eléctricas por día en los periodos evaluados tuvieron un incremento de 28% por la presencia de los VSA, en comparación con las otras estaciones del año. Además, del 100 % de las materias primas ubicadas en el almacena principal y secundarios, 33% eran inutilizables. La técnica de MBE fue aplicada para determinar los productos de corrosión formados en las superficies metálicas de los conectores y conexiones eléctricas de los equipos y máquinas industriales [4,5].

#### Origen de los vientos de Santa Ana

Las variaciones climáticas en zonas marinas del noroeste de la República Mexicana se presentan debido a fenómenos meteorológicos, siendo uno de ellos los vientos Santa Ana (VSA), que aparecen como eventos de meteorología en el suroeste del estado de California de los Estados Unidos y en noroeste en el estado de Baja California de México [6,7]. El nombre de los VSA es debido a que se originan principalmente en las montañas Santa Ana, cerca del condado de Orange, que está ubicada a unos kilómetros de la ciudad de Los Án-

geles en California. Dichos VSA [8], se generan en la Gran Cuenca (entre la Sierra de Nevada y las Montañas Rocosas) y el desierto de Mojave (que abarca los estados de Utah, California y Arizona de la unión americana), por el efecto de la presión del aire a altitudes elevadas entre la Gran Cuenca y las Montañas Rocosas (sistema de cordilleras que recorre la costa oeste de América del Norte, desde Alaska, pasando por Canadá hasta el suroeste de los Estados Unidos, finalizando en Nuevo México [9]. La masa de aire con diferencia de presiones, baja a la superficie por el efecto de la gravedad. Los vientos Santa Ana se forman en las épocas de cambio de estación del verano al otoño en el mes de octubre y de invierno a primavera en el mes de marzo de cada año [10, 11]. Este fenómeno meteorológico ocasiona el mismo efecto que el del Niño pero sin lluvias, modificando de manera inmediata en los cambios de las variables meteorológicas mencionadas. La presencia de los VSA al modificar el clima, afecta la vegetación de la costa de Baja California y los entornos generando la necesidad de que ciertas especies de animales marinos y de tierra cercanos a la playa, migren a otros lugares cuando se presenta este fenómeno meteorológico [12]. Esto ocasiona que los ecosistemas cercanos a las plantas industriales del ramo electrónico, se vean afectados y con ello se presenten las variaciones de HR y temperatura en periodos cortos en el transcurso del día [13].

#### Contaminacion del aire

Los gases y partículas contaminantes del aire emitidos en la zona donde se ubica la empresa en la cual, se desarrolló la investigación, principalmente los sulfuros (SOX) y cloruros (Cl-), penetraron facialmente por rendijas, orificios, secciones del techo y sistemas de aire acondicionado de la planta industrial [14], que proporcionó el apoyo para la investigación. Estos contaminantes del aire originaron ambientes agresivos en los interiores de la empresa evaluada, siendo un factor muy importante en la generación de corrosión [6]. A pesar de utilizar métodos de protección para evitar la presencia de corrosión electroquímica, se originó éste fenómeno por las variaciones de HR y temperatura, ocasionadas por los vientos Santa Ana [15].

#### Corrosión atmosférica

La corrosión atmosférica (CA) es un fenómeno electroquímico que se genera en la presencia de películas visibles e invisibles en superficies metálicas de cobre de conexiones y

conectores eléctricos de la maquinaria industrial [5]. Esta película es el electrolito que corroe el metal creando iones metálicos que se intercambian de lugar y van deteriorando las superficies, hasta que en ocasiones generan productos de corrosión como conexiones eléctricas indebidas o falta de conductividad [7]. Esto ocasiona que el rendimiento operativo de los equipos y máquinas industriales utilizadas en la industria electrónica de la costa de Baja California, disminuya a veces hasta en un 50% en los periodos de la presencia de los VSA y no se cumplan las metas requeridas en la empresa donde se realizó la investigación. Otro aspecto a considerar en la CA es la presencia de contaminantes del aire, como lo son los sulfuros provenientes del tráfico vehicular y de empresas y los cloruros de la brisa marina, principalmente [6]. La combinación de los parámetros climáticos y de contaminación, originan fácilmente la corrosión y el rápido deterioro de los materiales metálicos usados en la industria electrónica [14].

#### 2. Metodología

El uso del cobre como material principal en las conexiones y conectores eléctricos de la maquinaria industrial de la empresa del ramo electrónico, es por su buena conductividad eléctrica y térmica. Esto permite la rápida conducción de la corriente eléctrica, principalmente en microdispositivos electrónicos. Para desarrollar el análisis en la planta industrial, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a) Evaluación de la VC en base a la HR y temperatura en los interiores de la empresa. Se realizaron en las cuatro estaciones del año y se organizó la información obtenida de un higrómetro con termómetro KT 906, en tablas y gráficas, para determinar los periodos horario, diario, mensual y estacional con mayor efecto en la presencia de corrosión [16].
- b) Análisis numérico. Se realizó para determinar con base en una simulación matemática, el proceso electroquímico, por medio de la velocidad de corrosión (VC), que representa la pérdida de masa en mg/m²-año, de las superficies metálicas de cobre y el grado de deterioro de estos materiales metálicos. En esta simulación del método gravimétrico, el análisis numérico fue realizado con el programa MatLab [17].
- c) Aplicación de la técnica de MBE. Representó la microcorrosión generada y los dos tipos ocurridos observándose

a escala microscópica [4] con el cual se obtuvo información importante de los principales agentes contaminantes (SOX y Cl-) con sus respectivos porcentajes de concentración y velocidad de corrosión [18, 19].

#### 3. Resultados

Las rápidas transiciones de los niveles de HR y temperatura en los interiores de la empresa evaluada ocasionaron el rápido deterioro de los materiales metálicos de la maquinaria industrial, causando un efecto negativo drásticamente. En la época de otoño, la corrosión uniforme se generó por una película formada en toda la superficie metálica y en cambio en la estación de primavera, al presentarse periodos un poco cálidos, en estos materiales se generaron solo algunas pequeñas gotas que se adhirieron a ciertas áreas del metal [20].

### Deterioro de los materiales metálicos de la industria electrónica

Los rangos de HR y la temperatura era mayor que 70% y 35°C durante el día en los periodos de la ocurrencia de los VSA, ocasionaron el rápido deterioro de los metales de los equipos y máquinas industriales de la industria electrónica. Con un mínimo de 20% y 30°C en los periodos de vientos térmicos (otoño y primavera) y un máximo de 80% y 10°C en el resto del año, la VC se aceleró rápidamente y con niveles mayores de 70% y 30°C el incremento de la VC fue mayor. En la época de otoño, con temperaturas alrededor de 15°C a 25°C y la HR de 35% a 75%, el agua se condensó en la superficie del metal y el deterioro fue muy rápido. Los contaminantes del aire mencionados anteriormente excedieron los niveles permitidos por las normas de calidad del aire en la época de otoño, pero en primavera no ocurrió ese proceso, que favoreció la corrosión (véase Tabla 1).

#### Simulación en MatLab

La corrosión se aceleró rápidamente de acuerdo a los índices de correlación que se obtienen con la relación que se presenta de las variaciones de HR y temperatura y de las concentraciones de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Para determinar los niveles de mayor efecto de los parámetros climáticos y de contaminación del aire por diversos rangos, se desarrolló un análisis de simulación con el programa MatLab. La evaluación presentó

**Tabla 1.** Análisis de correlaciona de la VC con factores climáticos y de contaminación del aire.

EA	Corrosión atmoférica							
	Sulfuros (SO <sub>2</sub> )				Cloruros (Cl <sup>-</sup> )			
	HR	T	NC	VC	HR	T	NC	VC
P								
mínima	25	24	0.3	176	28	22	0.2	158
máxima	75	15	0.2	44	72	16	0.1	15
О								
mínima	36	20	0.3	198	33	21	0.3	144
máxima	81	11	0.2	56	79	14	0.2	33

EA. Estaciones del año; P. Primavera; O. Otoño;

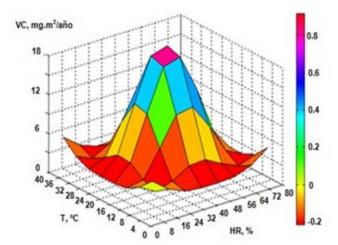
HR: humedad relativa (%); T: temperatura (°C); NC: nivel de concentración (ppm); VC: velocidad de corrosión (mg.m².año)

información relevante, que se explica a continuación. La figura 1 muestra los niveles de correlación del SO, que es uno de los contaminantes que genera un efecto mayor en la generación de corrosión en superficies metálicas de cobre. Los índices de concentración del SO<sub>2</sub> varían de acuerdo a los valores de humedad relativa y temperatura, indicando con la escala representada en el lado derecho el índice de correlación que inicia desde -0.2 a 0.8 en base al nivel de colores indicados. El análisis de la gráfica presenta la evaluación de la época de verano. La evaluación aplicando el coeficiente de correlación de Pearson, representa la medida de relación de los niveles de HR y temperatura correlacionados con los índices de concentración (IC) del SO<sub>2</sub>. Esto indica en la parte inferior de la escala colorimétrica, una correlación negativa donde en este rango la temperatura se considera como el parámetro con un efecto mayor en los IC del SO, que la HR. Esto significa que al incrementarse gradualmente los índices de HR desde 48% hasta 64% y temperatura casi constante cercana a los 12 °C, los IC del SO, se incrementan rápidamente desde 0.5 ppm hasta casi constante de 2 ppm. En cambio aun con valores casi constantes de HR de 32% e incrementos graduales de temperatura desde los 20°C a los 36°C, se presentan IC del SO<sub>2</sub> también cercanos a los 2 ppm. Con valores de correlación de 0, se indica que las dos variables climáticas en conjunto tienen una relación directamente con los IC de SO<sub>2</sub>. En este rango, con niveles de HR menores al 32% y temperaturas entre los 24°C a los 32 °C, los IC del SO, oscilaron entre los 3

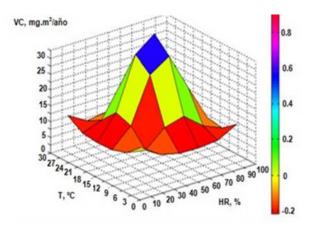
ppm y 10 ppm. Lo mismo ocurrió en índices de HR de 48% a 64% a una temperatura menor a los 16°C, con la misma intensidad en los IC del SO<sub>2</sub>. En cambio con índices de correlación entre 0 y 1, se expresa una correlación positiva, siendo que la humedad en este caso, con un efecto mayor en los IC del SO<sub>2</sub>, donde a niveles de temperatura desde los 28°C a los 36°C, con valores oscilando cerca del 40%, los IC de SO<sub>2</sub> fluctúan entre los 3 ppm y los 10 ppm. En cambio a niveles de HR variando gradualmente desde el 48% al 64% a temperaturas cercanas a los 16 °C, los IC de SO2 fluctúan desde los 9 ppm a casi los 17 ppm. Lo mismo ocurrió a niveles de HR cercanos al 40% a temperaturas de los 28 °C a los 36 °C, los IC de SO<sub>2</sub> oscilaron desde los 9 ppm a los 16 ppm.

En los procesos de correlación negativa y positiva se muestran la relación de las dos variables climáticas que originan el efecto en las concentraciones de SO<sub>2</sub>, mostrando en cada etapa el nivel de efecto mayor de cada parámetro climático. La figura 2, representa la evaluación del coeficiente de correlación Pearson, para la época de invierno, donde se observan los niveles de la escala colorimétrica, indicando en los valores donde la humedad y la temperatura tiene un efecto mayor y menor en cada rango, siendo similar a la figura anterior.

En rangos de HR de 70% a 95%, y a una temperatura con variaciones mínimas con un índice de 15°C, y con variaciones notables de temperatura de 18°C a 28°C a niveles de HR casi constate de 40%, se presentó una correlación negativa, indi-



**Fig. 1.** Análisis de correlación de las concentraciones de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con las variaciones de humedad relativa y temperatura en la época de primavera en Tijuana (2012).



**Fig. 2.** Análisis de correlación de las concentraciones de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con las variaciones de humedad relativa y temperatura en la época de otoño en Tijuana (2012).

cando que la temperatura tuvo un mayor efecto en los índices de concentración (IC) del SO, con rangos de 5 ppm a 13ppm y de 3 ppm a 13 ppm, respectivamente. En el orden de correlación de 0, las dos variables climáticas generaron el efecto en el proceso, donde con niveles de HR y temperatura de 60% a 80% y temperatura casi constante de los 20°C. En cambio en el nivel de 40% con mínimas variaciones de éste valor y a temperaturas de 18°C a 24°C, se observó que el SO, se incrementó desde 15 ppm a casi los 30 ppm, generando rápidamente el proceso de corrosión. En la etapa de corrosión positiva, la HR tuvo un efecto mayor en los IC del SO<sub>2</sub>, observando que a HR de 80% a 95% y temperatura con pequeñas variaciones, de 13°C a 17°C, y a una HR de 50% a 60%, y variaciones de temperatura de 25°C a 30°C, los IC del SO, oscilaron desde los 10 ppm a los 27 ppm. Esta fue la etapa donde se generó un mayor deterioro de las superficies metálicas del cobre.

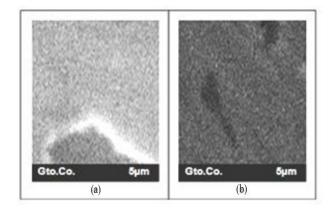
#### Microanálisis de corrosión

El deterioro de las superficies metálicas de cobre se percibía a simple vista en ocasiones como pequeñas manchas de color gris oscuro. Para determinar la cinética de corrosión, se desarrollaron evaluaciones a nivel microscópico con la técnica de microanálisis de MBE. Con esta técnica, se observó la diferencia entre corrosión uniforme como lo muestra la figura 3a con una parte de sección de una muestra metálica de un

conector eléctrico de un equipo electrónico industrial de la empresa donde se evalúo. Las manchas presentes en los metales analizados, eran de color gris oscuro indicando presencia de bióxido de azufre como principal agente de contaminación que originó el fenómeno electroquímico. También se mostró en esta microfotografía, una pequeña franja de color blanco que representó niveles bajos de cloruros por la brisa marina, siendo el análisis fue de la época de otoño. En la figura 3b, se observaron principalmente dos manchas de color negro oscuro, indicando presencia de SO<sub>2</sub> como agente principal con menor presencia de cloruros sin notarse en la microfotografía. Esta figura muestra el deterioro de las superfícies metálicas, que tienen un efecto negativo en el proceso de la conductividad eléctrica al disminuir su capacidad de conducción y generar fallas eléctricas.

#### 4. Conclusiones

Los contaminantes del aire afectan el deterioro de cobre y su comportamiento a la corrosión y resistencia. Las principales fuentes antropogénicas y naturales en interiores de las plantas industriales en la ciudad Tijuana de contaminantes corrosivos son las emisiones de gases de los vehículos, las partículas de cloruro del medio marino. La generación de la corrosión en las empresas ha sido un importante factor de en los últimos 30 años por la complejidad de los dispositivos y equipos electrónicos que están calificados por la demanda del



**Fig. 3.** Microanálisis de corrosión uniforme (a) en el otoño y corrosión por picaduras (b) en la primavera en Tijuana (2012).

mercado, su funcionamiento y fiabilidad. El análisis en la microelectrónica, se rige por la fabricación de dispositivos y equipos electrónicos, el aumento de la necesidad de desarrollar diversos y una gran cantidad de operaciones y disminuir su tamaño a un bajo costo. Este ha sido el principal efecto de cambiar los diseños con espacios más pequeños entre los dispositivos electrónicos y el uso de nuevos materiales en conectores eléctricos y las conexiones de los dispositivos y equipos electrónicos. Otros factores son los climas no controlados de interiores, que promuevan la generación de la corrosión. En este estudio se observó que por mínimo que sean las variaciones de HR y temperatura o en cambio las grandes transiciones de los factores climáticos por la presencia de los vientos Santa Ana, se originó la corrosión y se aceleró muy drásticamente principalmente en la época de otoño. El SO, fue el agente contaminantes con mayor efecto que otros como lo cloruros por brisa del mar.

#### Referencias

- [1] López B.G.; Valdez S. B.; Schorr M. W.; "Spectroscopy analysis of corrosion in the electronic industry influenced by Santa Ana winds in marine environments of Mexico"; INTECH ED. INDOOR AND OUTDOOR POLLUTION, 4; Edited by Jose A. Orosa, 33, Book, 2011.
- [2] López G, Tiznado H., Soto G, De la Cruz W., Valdez B., Schorr M., Zlatev R.; "Corrosion de dispositivos electrónicos por contaminacion atmosferica en intertiores de plantas de ambientes aridos y marinos; *Nova Scientia*, 2010.
- [3] Traviña A., Ortiz-Figueroa M., Cosio M.; Santa Ana winds and upwelling filaments off the Northern Baja California winds; *Journal of Dynamic of Atmospheres and Oceans*; 2002.
- [4] López-Badilla, G.; González-Hernández, C.; Valdez-Ceballos, A.; "Análisis de corrosión en MEM de la industria electrónica en ambientes árido y marino del noroeste de México"; *Científica*, Vol. 15, núm. 3, julioseptiembre, pp. 145-150; 2011.
- [5] Moncmanova A. Ed. *Environmental Deterioration of Materials*, WITPress, 2007, pp 108-112.
- [6] Veleva L., Valdez B., Lopez G., Vargas L. and Flores J.; Atmospheric corrosion of electroelectronics metals in urban desert simulated indoor environment; *Corrosion Engineering Science and Technology*; 2008.
- [7] G López Badilla, B. Valdez Salas, M.Schorr Wiener and C. R. Navarro Gonzalez; "Microscopy and Spectroscopy analysis of MEMS corrosion used in the electronics

- industry of the Baja California region, Mexico"; Chapter 9; INTECH Book: Air Quality. New Perspective; 2012.
- [8] López B.G.; Tesis; "Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica en Mexicali, B.C.", 2008.
- [9] Lopez B.G., Valdez S.B., Zlatev K.R., Flores P.J., Carrillo B.M. and Schorr W. M.; Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry; *Anti-Corrosion Methods and Materials*; 2007.
- [10] López B. G., Valdez S. B., Schorr W. M., Tiznado V. H., Soto H. G., Influence of climate factors on copper corrosion in electronic equipments and devices, *Anti-Corrosion Methods and Materials*; 2010.
- [11] López B. Gustavo, Valdez S. Benjamin, Schorr W. Miguel, Zlatev R., Tiznado V. Hugo, Soto H. Gerardo, De la Cruz W.; AES in corrosion of electronic devices in arid in marine environments; AntiCorrosion Methods and Materials; 2011.
- [12] López B. Gustavo, Valdez S. Benjamin, Schorr W. Miguel, Rosas G. Navor, Tiznado V. Hugo, Soto H. Gerardo; Influence of climate factors on copper corrosion in electronic equipment and devices, *AntiCorrosion Methods and Materials*; 2010.
- [13] ASHRAE; Handbook; Heating, Ventilating and Ari-Conditioning; applications; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.; 1999. www.intechopen.com
- [14] Cole S. and Paterson D. A.; Relation of atmospheric pollution and the generation of corrosion in metals of copper, steel and nickel; *Corrosion Engineering*; 2004.
- [15] Dillon P., MTI & DOE Launch Project Partnerships, Communications Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc, 2000.
- [16] *Annual Book of ASTM Standards*, 2000, Wear and Erosion: Metal Corrosion, Vol. 03.02.
- [17] Duncan Balachandran, Walsh Harold; *An Engineer's Guide to MATLAB*, 2e: with Applications Electrical Systems,; Prentice Hall, 2005.
- [18] ISO 9223:1992, Corrosion of metals and alloys, Corrosivity of Atmospheres, Classification. ISO 11844-2:2005.
- [19] Corrosion of metals and alloys Classification of low corrosivity of indoor atmospheres Determination and estimation attack in indoor atmospheres. ISO, Geneva, 2005.
- [20] ISO 11844-1:2006. Corrosion of metals and alloys Classification of low corrosivity of indoor atmospheres-Determination and estimation of indoor corrosivity. ISO, Geneva, 2006.

## Análisis mecánico de una línea de transporte de vapor ante cargas sísmicas y de viento

Nefi David **Pava-Chipol**Joel Francisco **Pava-Chipol**Lorenzo **Morales-Benítez** 

Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (ITSSAT).

Carretera Costera del Golfo S/N, Matacapan km 140+100, CP 95800. San Andrés Tuxtla, Veracruz. MÉXICO.

correo electrónico (email): sowbran@hotmail.com

Recibido 19-08-2013, aceptado 23-02-2014.

#### Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis sísmico y de viento a un sistema de tuberías de transporte de vapor perteneciente a la planta de procesos innophos Fosfatados de México, ubicada en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. Este se conforma de siete ramales y un cabezal principal. El estudio se llevó a cabo para conocer la integridad mecánica del sistema de tuberías con el que se podrá evaluar la seguridad estructural de la planta. Las tuberías que conforman el sistema son de tres diámetros diferentes, correspondientes a 4, 6 y 18 pulgadas, las cuales transportan vapor a una temperatura de 260°C y a una presión de 2746.46 kPa.

El análisis se efectúa mediante el método elemento finito ocupando el programa ANSYS en su versión 14. El modelo se desarrolló con los elementos PIPE16 y PIPE18, los cuales son adecuados para el análisis de esfuerzos en sistemas de tuberías de plantas de proceso. Para el análisis se incluyeron las características geométricas del sistema de tuberías, así como sus diámetros, espesor de pared, soportes y restricciones.

Por último se realiza la evaluación de resultados, en los cuales se demuestra que la planta está en condiciones de soportar un sismo de intensidad media alta y que además es capaz de soportas velocidades de viento máximas de 160 km/h; considerando que tanto los sismos y los vientos no actúan al mismo tiempo.

**Palabras clave:** espectro de respuesta, análisis modal, esfuerzos transitorios, viento.

#### **Abstract**

#### (Mechanical Analysis of a Vapor Transport Line under Seismic and Wind Loads)

The structural integrity of steam header and its seven branches, of a process plant of Innophos Fosfatados de México was evaluated. The pressure and temperature of operation are 2746.46 kPa and 260°C, respectively. This analysis was carried on when such piping system is under seismic conditions or extremely wind loading. This industrial installation is located in Coatzacoalcos. Veracruz.

The resultant stresses in each case of study were evaluated with the Finite Element Method. For this purpose, it was used the appropriate elements for the simulation of a straight pipes and elbows of long radius. Besides, the geometrical characteristics of the piping system, the diameters and thickness of the tubular elements and the guides and restrictions of the supporting system were taken into account.

The results showed that the process plant is safe when an earthquake or wind load conditions mentioned above take place.

**Key words:** thermal expansion, finite element, ASME code, support, anchor, process plant.

#### 1. Introducción

Hoy en día realizar un análisis estructural a un sistema de tuberías proporciona mayor seguridad en su funcionamiento. En este contexto, el viento y los sismos originan cargas dinámicas

que pueden causar el colapso. En condiciones críticas, el sistema puede entrar en resonancia. Por esta razón, es necesario tomar precauciones para evitar un comportamiento catastrófico. Sin embargo, no existen métodos de predicción de sismos, porque en cualquier momento pueden ocurrir; de igual manera, en caso de un huracán se desconoce la intensidad y dirección de impacto del viento, por lo que se desconoce cómo afectarán estos acontecimientos naturales inusuales. Los análisis correspondientes involucran información estadística sobre la ocurrencia de estos eventos en la zona de interés. Se combinan con procedimientos que toman en cuenta la situación más desfavorable. Todos estos análisis se realizan numéricamente.

#### Planteamiento del problema

Debido al incremento de la demanda de ácido sulfúrico y con la finalidad de obtener un producto de buena calidad, la empresa INNOPHOS Fosfatados de México optó por un sistema de cogeneración para proveer energía eléctrica y calorífica. Como consecuencia, se modificó sustancialmente el sistema de tuberías de vapor. Dicho sistema trabaja en condiciones de presión y temperatura de 330 kg/cm² y 330°C respectivamente y se encuentra conformado por un cabezal de vapor con siete ramales. El material es acero al carbón A53 grado B sin costura.

Esta planta se encuentra situada en el complejo industrial Pajaritos, en Coatzacoalcos, Veracruz. Dada su cercanía al Golfo de México, está propenso a recibir vientos fuertes en temporada de huracanes. Asimismo, esta área es de intensidad sísmica media.

Para la solución de este problema, se planteó una metodología con base en las características sísmicas y de viento en México. Esto se fundamentó con el *Manual de diseño de obras civiles* de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). De la misma manera, se evalúan los daños que puedan ocasionar los vientos debido a su alta exposición a huracanes. Para abordar con éxito esta problemática, se aplicaron los códigos ASME B31.3 "Sistemas de Tuberías de Refinería y Plantas Petroquímicas y de Proceso" y PEMEX NRF-032-PEMEX-2005 "Sistemas de Tuberías en Plantas Industriales, Diseño y Especificación de Materiales."

En el caso del análisis sísmico, se empleó el método de respuesta, mientras que, para viento, se aplicaron las cargas distribuidas que generan los vientos más desfavorables en los elementos tubulares, considerando su comportamiento aerodinámico. A partir de esto, se obtuvieron los esfuerzos en los ramales y las cargas en los puntos terminales. El análisis estructural del sistema de tuberías se lleva a cabo mediante el Método de Elemento Finito utilizando el programa de cómputo ANSYS. Este estudio determinó la integridad estructural de la planta.

#### 2. Metodología

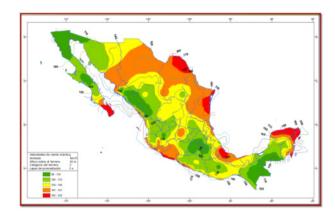
#### 2.1. Localización y características de la zona

Una de las características físicas y de relieve del municipio de Coatzacoalcos es que se encuentra ubicado en la zona centro con el Golfo de México. Por lo tanto, está propenso a recibir vientos fuertes de 160 km/h durante la temporada de huracanes (véase Figura 1).

Asimismo, esta área es de intensidad sísmica media. La CFE la considera como una zona de categoría B (véase Figura 2), que corresponde a un coeficiente de aceleración sísmica de 0.2 g.

#### 2.2. Método del Elemento Finito aplicado a tuberías

En el caso de estudio, se emplean tubos rectos y curvos, dos tipos de elementos PIPE. Cada elemento tiene dos nodos, N1 y N2, como se muestra en la figura 3. N1 es el nodo de inicio, y N2 es el nodo final. Estas se expresan en las coordenadas locales considerando la geometría del elemento [3].



**Fig. 1.** Velocidades de viento regionales [1].

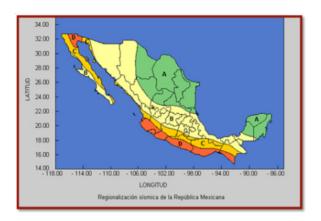


Fig. 2. Regionalización sísmica de la república mexicana [2].

Cada nodo de un elemento está asociado con tres desplazamientos  $D_x', D_y', D_z'$ , y tres de rotaciones,  $R_x', R_y', R_z'$ . Asimismo, con tres fuerzas  $F_{y}', F_{y}', F_{z}', y$  tres momentos  $M_{y}', M_{y}', M_{z}'$ .

El método del elemento finito, se fundamenta en la premisa que en cada elemento hay una relación entre fuerzas y desplazamientos. Por lo anterior, se puede decir que cada elemento tiene una correspondencia en coordenadas locales como:

$$\{F'\} = \{K'\}\{D'\} \tag{1}$$

Donde  $\{F'\}$  es el vector fuerza que representa 12 fuerzas y momentos en ambos nodos. Lo que significa que:

$$\{F'\} = \{F'_{x1}, F'_{y1}, F'_{z1}, M'_{x1}, M'_{y1}, M'_{z1}, F'_{x2}, F'_{y2}, F'_{z2}, M'_{x2}, M'_{y2}, M'_{z2}\}^{T}$$
(2)

El subíndice 1 representa al nodo N1 y el 2 representa el nodo N2. El superíndice *T* denota la transpuesta.

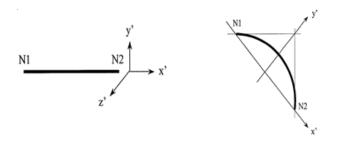


Fig. 3. Elementos en coordenadas locales [3].

{D'} es el vector de desplazamiento que representa 12 desplazamientos y rotaciones en ambos nodos, teniendo entonces:

$$\{D'\} = \{D'_{x1}, D'_{y1}, D'_{z1}, R'_{x1}, R'_{y1}, R'_{z1}, D'_{x2}, D'_{y2}, D'_{z2}, R'_{x2}, R'_{y2}, R'_{z2}\}^{T}$$
(3)

[K'] es una matriz simétrica de rigidez de 12X12. Los términos exactos en [K'] son demasiados complejos para ser incluidos

#### 2.3. Ecuaciones resultantes

Para resolver el sistema de ecuaciones, que se generan al realizar el modelo del sistema de tuberías en elementos finitos, es fundamental usar un sistema de coordenadas común, llamado sistema global de coordenadas [3]. Por tal motivo, la matriz de rigidez de coordenadas locales de cada elemento, se debe convertir a coordenadas globales antes de realizar el ensamblaje de ecuaciones (véase Figura 4).

Dependiendo de la orientación del elemento, con la ayuda una matriz rotacional, podemos convertir los vectores de fuerza y desplazamientos locales en vectores de fuerza y de desplazamiento globales [3], en los que se puede expresar:

$${F'} = [L]{F}$$
 (4)  
 ${D'} = [L]{D}$  (5)

$$\{D'\} = [L]\{D\} \tag{5}$$

#### Donde

[L] es la matriz 12X12 de transformación.

 $\{F\}$ es el vector de fuerza en coordenadas globales.

 $\{D\}$ es el vector de desplazamiento en coordenadas globales.

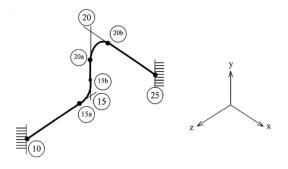


Fig. 4. Elementos en coordenadas globales [3].

Al sustituir la ecuación 1, en las relaciones anteriores, tenemos que:

$$[L]{F} = {K'}[L]{D}$$

$${F} = [L]^{-1}{K'}[L]{D}$$
(6)
(7)

La matriz de rigidez global [K], de cada elemento se crea aplicando la transformación rotacional a la matriz de rigidez local [K'] como:

$$[K] = [L]^{-1}[K'][L] = [L]^{T}[K'][L]$$
 (5)

 $[L]^{-1}$  es la transformación inversa de la matriz [L], y  $[L]^T$  es la transpuesta de [L]. Para transformación rotacional, las matrices  $[L]^{-1}$  y  $[L]^T$  son iguales. La relación de fuerza/desplazamiento está dada por la ecuación  $\{F\} = [K]\{D\}$  y se divide en:

Donde los subíndices 1 y 2 denotan el nodo N1 y el nodo N2, respectivamente. Las restricciones y anclajes son tratados como rigidez adicional y son añadidos. La ecuación general se parece a:

Donde N es el número total de grados de libertad, que frecuentemente se refiere con el número de ecuaciones. Las cargas, las fuerzas y momentos (en coordenadas globales) en cada elemento y pueden ser encontradas usando la ecuación 1.

#### 2.4. Modelo y solución numérica por ANSYS

Se empleó el elemento PIPE 16 y PIPE18, adecuado para modelos tridimensionales de sistemas de tuberías. Una vez realizado el modelo, se prosiguió con la elaboración de la red de elementos finitos generando así 1500 nodos. Se incluyeron las características geométricas de las tuberías, las condiciones de soporte, así como la presión, peso muerto y el tipo de

**Tabla 1.** Propiedades del material.

Material	Acero al carbón ASTM A-53 grado B
Densidad	7833 kg/m <sup>3</sup>
Relación de poisson	0.288
Módulo de elasticidad 20°c	203.4 GPa
Presión máxima de operación	n 2746.46 kPa

material (véase Tabla 1). Estas condiciones fueron para ambos análisis (véase Figura 5).

Las cargas aplicadas fueron:

- Las cargas de viento fueron uniformemente repartidas.
- Presiones, peso muerto y expansión térmica.

Condiciones de frontera

- En las guías de la tubería se restringió el desplazamiento vertical.
- En los anclajes de la tubería no se permite ningún movimiento.

#### 2.5. Análisis sísmico

En el análisis sísmico, se realizó inicialmente el análisis modal para determinar las frecuencias naturales y modos de vibración del sistema de tuberías. Se consideraron las frecuencias

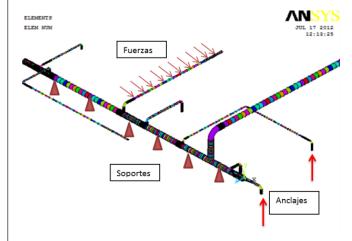


Fig. 5. Modelo del sistema de tuberías.

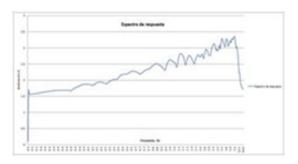


Fig. 6. Espectro de respuesta.

menores de 30Hz, ya que son las que tienen mayor influencia. Posteriormente, utilizando el programa PRODISIS, se obtuvo el diagrama del espectro de respuesta con el que se realizó el análisis espectral (véase Figura 6).

Para realizar el análisis, se tomaron las siguientes consideraciones:

- La localización corresponde a una zona sísmica de categoría
   B. de mediana intensidad sísmica.
- Con referencia al *Manual de diseño de obras civiles diseño por sismo* de la CFE, se realizó el análisis con un coeficiente sísmico de 0.2 g a lo largo de los ejes *X*, *Y* y *Z*.
- Se hizo un análisis independiente para cada uno de los ejes antes mencionados.

#### 2.6. Análisis de viento

Para realizar el diagnóstico, se tomaron las siguientes consideraciones.

- Se consultó el *Manual de obras civiles* de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Dicho documento proporciona el mapa de velocidades regionales, obteniendo un valor de 160 km/h, para Coatzacoalcos, Veracruz.
- Se calculó la fuerza del viento sobre el área proyectada de acuerdo a la velocidad de viento seleccionada.
- Se consideraron las características aerodinámicas de los elementos tubulares.
- Se calcularon los esfuerzos críticos y en anclajes.
- Se compararon con los esfuerzos permisibles de acuerdo al código B31.3.

Tabla 2. Resultados del análisis modal.

Set	Esfuerzo (kPa)	Modo
1	2.3342	1
3	6.1204	3
5	10.324	5
7	15.196	7
9	18.634	9
10	20.775	10

#### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis sísmico

Con el análisis modal, se obtuvieron las frecuencias naturales del sistema de tuberías (véase Tabla 2).

Con lo que sabemos sobre su comportamiento durante un sismo, estas frecuencias pueden ser determinantes, pues si coinciden con la frecuencia natural de la construcción, esta entraría en resonancia y tendría daños considerables, siendo los más afectados los codos y anclajes (véase Figura 7).

En los resultados del espectro de respuesta, se ve claramente que los esfuerzos generados están debajo del valor límite permisible [4], esto de acuerdo al código ASME B31.3 (véase Tabla 3).

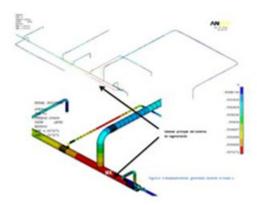


Fig. 7. Análisis modal.

**Tabla 3.** Resultados del análisis espectral.

Eje	Esfuerzo (kPa)	Esfuerzo S <sub>A</sub> (kPa)
X	125,000	183,000
Y	101,000	183,000
Z	85,600	183,000

Los puntos de mayor concentración de esfuerzos fueron el cabezal principal y los codos, esto es debido a que en cada apoyo o soporte, las excitaciones sísmicas son distintas; o bien, porque el sistema de tuberías es muy largo, lo que presentarían movimientos relativos entre sus apoyos por efecto de la propagación de las ondas sísmicas a través del suelo, (véase figura 8). De acuerdo a los resultados, la excitación en la dirección *X* es la más crítica.

#### 3.2. Análisis de viento

En los resultados obtenidos del análisis por viento, se encontró que el esfuerzo más crítico se genera en los codos (véase Tabla 4).

Esta falla es originada por las altas fuerzas del viento durante un huracán, que ocasionan movimiento en las conexiones de los equipos y las tuberías (véase Figura 9).

En el caso del estudio de los esfuerzos en los anclajes, el objetivo es evitar que ocurra un desprendimiento o que se genere alguna falla que pueda afectar posteriormente al fun-

Tabla 4. Resultados del análisis modal.

Elemento	Esfuerzo (kPa)	Esfuerzo S <sub>A</sub> (kPa)
codo	61,900	183,000
anclaje	25,200	183,000
anclaje	52,300	183,000
anclaje	24,300	183,000
anclaje	25,200	183,000
anclaje	25,100	183,000
anclaje	24,200	183,000
anclaje	33,900	183,000

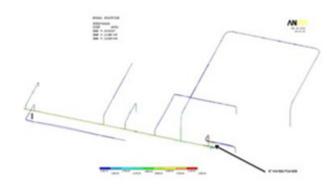


Fig. 8. Análisis espectral.

cionamiento del sistema, cuando este tenga que ser puesto en marcha nuevamente. Se encontró que la mayor concentración de esfuerzos está debajo del valor límite permisible, esto de acuerdo al código ASME B31.3 [5] (véase Figura 10).

A partir de lo anterior, se establece que las ráfagas de viento provenientes de los huracanes no perturbarán al sistema, es decir, será capaz de resistir estas cargas sin que varíe esencialmente su geometría. Estableciendo así un alto índice de seguridad estructural ante estos eventos.

#### 4. Conclusiones

Dada la complejidad del caso de estudio y de la laboriosa construcción del modelo a analizar, ha resultado de gran

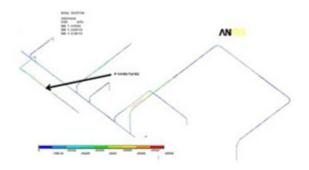


Fig. 9. Análisis de viento.

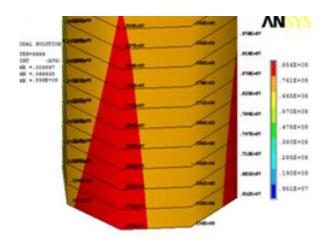


Fig. 10. Análisis de viento (esfuerzos en ramales).

ayuda apoyarse en el método del elemento finito mediante el programa ANSYS.

Se concluye que la planta está en condiciones de soportar un sismo de intensidad media alta. Se considera que no habrá fallas estructurales mayores, ni pérdidas de vida, aunque pueden presentarse daños que no afecten el funcionamiento del sistema de tuberías y de no requerir reparaciones importantes. Asimismo, es capaz de soportar velocidades de viento máximas de 160 km/h.

Se está considerando que, tanto los sismos, como los vientos, no actúan de forma simultánea. Esta es una situación real. Además, cabe resaltar que la metodología planteada para realizar un análisis sísmico y de viento siguió los estándares de regulación aplicable, para un sistema de tuberías de una planta de procesos, con la finalidad de asegurar la integridad estructural y fue además la óptima para el estudio. Asimismo, se determinaron los puntos donde se generan elevados niveles de esfuerzos.

#### Referencias

- [1] Manual de diseño de obras civiles diseño por viento. México: CFE, 1993.
- [2] Manual de diseño de obras civiles diseño por sismo México: CFE, 1993.
- [3] Peng, L., & Peng, T. *Pipe Stress Engineering*. New York, NY: ASME Press, 2009.
- [4] *Process piping: ASME code for pressure piping*, B31: ASME B31.3-1999 ed., New York: American Society of Mechanical Engineers, 1999.
- [5] Woods, G. E., & Baguley, R. B. *ASME B31.3*, *Process Piping*. Edmonton: CASTI Pub, 1996.

### **Latindex**

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

http://www.latindex.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 http://redalyc.uaemex.mx/

## Determinación de esfuerzos en materiales compuestos de matriz metálica mediante el MEF

Alexander **Reyes-Cruz**Juan **Atonal-Sánchez**Rodrigo **Vázquez-Machorro** 

Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Azcapotzalco. Av. De las Granjas, Santa Catarina, Azcapotzalco, CP 02250, Ciudad de México. MÉXICO.

> correos electrónicos (email): alex\_reyes1983@hotmail.com juan\_atonal@yahoo.co.mx rodrigovazmach\_5@hotmail.com

Recibido 02-12-2013, aceptado 11-06-2014.

#### Resumen

La generación de conocimiento y las necesidades presentes hoy en día en la vida del ser humano ha traído consigo la evolución de nuevos materiales para satisfacer dichas necesidades para ayudar con el desarrollo tecnológico y científico. Los materiales compuestos tienen un papel muy importante en la vida del ser humano, es por ello que su correcto estudio, bajo ciertas condiciones de trabajo es de suma importancia para la generación de diseños confiables.

Por ello la aplicación de programas computacionales es necesario para el estudio de estos materiales dentro del proceso de diseño, aunado a ventajas de tiempos de análisis más cortos y ahorro de dinero en la creación de modelos físicos para sus estudios.

**Palabras clave:** materiales compuestos, programas computacionales, análisis.

#### **Abstract**

(Determining Efforts in Metal Matrix Composites by Using a Computer Program Based on the FEM)

Knowledge generation, and these needs today in the life of human beings has led to the development of new materials to meet those needs and help with the technological and scientific development. Composite materials today have a very important role in human life, that is why the proper study of these, under certain conditions is important for generating reliable designs.

Therefore the application of computer programs for the study of these materials is of paramount importance in the design process, coupled with advantages of shorter analysis and saving money in the creation of physical models for their studies.

**Key words:** metal matrix composites, computer program, analysis.

#### 1. Introducción

La evolución del ser humano ha traído consigo el desarrollo de tecnología para satisfacer sus necesidades, este avance tecnológico no podría ser concebido, sin la aplicación de materiales para la fabricación de estructuras, máquinas, comodidad, medicina, generación de conocimiento científico, etcétera.

La aplicación de los materiales ha sufrido una evolución con el paso del tiempo, desde la edad de piedra, del cobre, el bronce, el hierro, hoy en día el uso de aceros, aleaciones, silicios y polímeros, para diversas aplicaciones las cuales han ido exigiendo requerimientos mínimos para poder satisfacer las necesidades actuales del ser humano.

Actualmente, tienen gran uso los materiales compuestos en la industria automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y de la construcción. Por tanto, el análisis del comportamiento mecánico de esto material bajo condiciones específicas de uso es de gran importancia para generar diseños confiables y seguros. Por lo que el presente trabajo presenta una metodología para estudiar su comportamiento, apoyado en un programa computacional (ANSYS) basado en el Método de Elementos Finitos (MEF).

#### **Materiales compuestos**

Se puede definir como un material compuesto a una combinación de dos o más componentes, los cuales se encuentran unidos y como consecuencia se generan nuevas propiedades y características para este material compuesto [1]. Existen diversos tipos de materiales compuestos:

#### A. Materiales compuestos de matriz metálica

Tienen aplicación para componentes aeroespaciales y motores de combustión, poseen una elevada resistencia y densidad baja [2].

Se clasifican en dos tipos [3]: reforzadas con fibras y reforzadas con partículas.

#### 1. Reforzadas con fibras

Estos compuestos mejoran la resistencia, carga de rotura, la rigidez, la relación resistencia/peso, por la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles, en una matriz más blan-

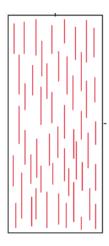
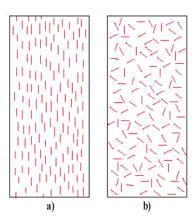


Fig. 1. Fibras continuas.



**Fig. 2.** a) Discontinuo y alineado, b) discontinuo y alineado aleatoriamente.

da y dúctil. El material de la matriz transmite los esfuerzos a las fibras y proporciona tenacidad y ductilidad al compuesto, mientras las fibras soportan la mayor parte de la fuerza o tensión aplicada.

#### 2. Reforzadas con partículas

En estos materiales compuestos las partículas de material duro y frágil, dispersas de forma discreta y uniforme se rodean de una matriz más blanda y dúctil.

#### B. Materiales compuestos de matriz cerámica

Estos compuestos combinan la rigidez, la dureza y la resistencia de los materiales cerámicos, en una matriz recubierta con materiales que compensen la fragilidad de estos, como ejemplo se tiene el hormigón, material de gran uso en la industria de la construcción. [4]

Tabla 1. Propiedades del acero [6].

Propiedades mecánicas del acero estructural				
Módulo de Young, E	Relación de Poisson	Densidad		
(MPa)	(v)	$(kg/m^3)$		
210,000	0.29	7,850		

**Tabla 2.** Propiedades de fibra de carbono compuesta [6].

Propiedades mecánicas de fibra de carbono compuesta (CFC)					
Módulo de Young,	Módulo de rigidez,	Relación de	Densidad		
E (MPa)	G (MPa)	Poisson (v)	$(kg/m^3)$		
164,000	4,500	0.32			
120,000	4,500	0.32	1,750		
120,000	4,500	0.32			

#### C. Materiales compuestos de matriz polimérica

La matriz de estos compuestos está formada de un polímero, el cual puede ser termoestable, termoplástico o elastómero, y el recubrimiento o refuerzo del componente es una fibra, partícula o láminas [5].

#### 2. Desarrollo

Para el análisis en ANSYS es necesario conocer las propiedades mecánicas de los materiales, que se utilizan en el modelado de la geometría a estudiar.

Los materiales propuestos para este estudio, son acero estructural y fibra de carbono, es muy importante resaltar que el

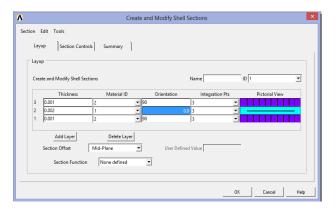


Fig. 3. Lay up.

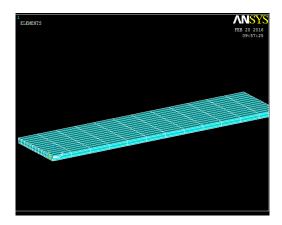


Fig. 4. Modelo mallado.

acero es un material isotrópico; mientras que la fibra de carbono se comporta como material ortotrópico.

Seleccionar el elemento es muy importante para poder tener un análisis adecuado, para este caso se seleccionó un elemento Shell 181 3D, es un elemento tipo placa, el cual nos permite utilizar la herramienta *Shell Lay Up*, para poder dar de alta las placas para nuestro material compuesto, y orientar las fibras de este.

El caso de estudio es una placa de material compuesto de 0.2 metro por 0.005 metros, la placa de acero con un espesor de 0.002 m y las placas de fibra con 0.001 metros.

Una vez generado el modelo y caracterizarlo, se procede a las condiciones de frontera para poder obtener la solución del problema.

#### 3. Resultados

Como se puede observar en las imágenes el comportamiento de las placas es el esperado para este tipo de materiales compuestos, el comportamiento del estado de esfuerzos está en función de las propiedades de cada una de las placas, por lo que será un comportamiento asimétrico.

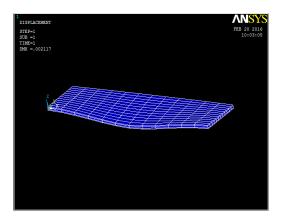


Fig. 5. Desplazamientos.

#### 4. Conclusiones

La aplicación de herramientas computacionales para el diseño y análisis del comportamiento de materiales, es de suma importancia para una evaluación correcta de diseños seguros y satisfactorios, aunado al ahorro de tiempo y dinero en la generación de modelos físicos para su estudio bajo condiciones de trabajo.

La aparición de nuevos materiales para el desarrollo de nuevas tecnologías, hace indispensable para el diseñador e ingeniero, la generación de metodologías basadas en programas computacionales para el estudio de estos, debido a que cada

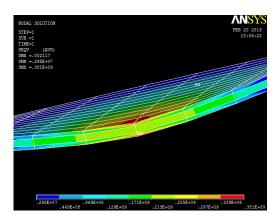


Fig. 6. Esfuerzos de Von Misses.

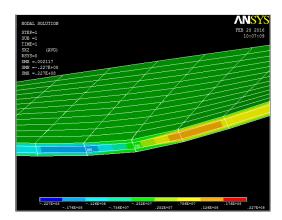


Fig. 7. Esfuerzos cortantes.

vez es más complejo el análisis estructural no solo en función del modelo geométrico, si no por el comportamiento de los materiales, en este caso de un material compuesto.

#### Referencias

- [1] Besednjak, A., *Materiales compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones*, UPC, pp. 16, 2005.
- [2] Edil, C., Velasco, F., Torralba, J. M., Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones, *Revista de metalurgia*, pp 179-184, Madrid, 2000.
- [3] Álvarez, R., Fernández, N., Martin, D., Navarro, R., Quesada, O., Sánchez, D., *Materiales compuestos de matriz metálica*, pp 2-5, [consultado el 14 de enero 2016].
- [4] Salán M. N., Tecnología de proceso y transformación de materiales, UPC, pp. 145, 2005.
- [5] Tino, R., Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio, *CIMBRA*, pp. 43-45, 2010, [consultado el 14 de enero 2016]
- [6] Morello, N., Marino, M., Estudio de tensores y deformaciones de materiales compuestos para su empleo en tanques de almacenamiento de agua, Grupo de investigación de la maquinaria agrícola, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional Villa María, pp. 2-3.

## Diseño y manufactura de túnel de viento subsónico de circuito abierto

Pablo Moreno-Garibaldi
Barbarela Dávila-Carmona
Arnulfo Sánchez-Cortés
José Manuel Cervantes-Vázquez
Miguel Ángel Munive-Rojas
Noemí Corro-Valdez

Universidad Autónoma de Tlaxcala Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Calzada Apizaquito s/n, C.P. 90300, Apizaco, Tlaxcala. MÉXICO.

correo electrónico (email): pmg170588@gmail.com

Recibido 20-12-2013, aceptado 12-05-2014.

#### Resumen

Se presenta el diseño y la manufactura de un túnel de viento de circuito abierto, cuya configuración fue seleccionada debido a su bajo costo de fabricación. El propósito de su elaboración se enfoca en la necesidad de la institución por el ensayo de diversos cuerpos bajo la acción de un fluido en movimiento y de esta forma conocer su comportamiento aerodinámico, en pocas palabras el objetivo es diseñar un túnel de viento que genere una corriente de aire limitada por un conducto variable, con la finalidad de lograr condiciones especiales en el flujo y simular el movimiento de objetos en su interior con el propósito de analizar sus propiedades en función del fluido a su alrededor, como fuerzas de levantamiento y arrastre, así como líneas de corriente, etcétera.

Otro de los puntos importantes del presente trabajo es la selección del motor, que será el encargado de desplazar el fluido por la sección de pruebas a una velocidad especifica de 50 m/s (180 km/h), valor que es considerado como punto

de partida para el diseño y tomando en consideración el estado de Tlaxcala (México) como su lugar de instalación.

Palabras clave: túnel de viento, diseño, manufactura, aerodinámica.

#### Abstract

## (Design and Manufacture of Subsonic Open Circuit Wind Tunnel)

Design and manufacture of an open circuit wind tunnel is presented; the configuration was selected due to its low manufacturing cost. The purpose of its making focuses on the institution need for testing various bodies under the action of a moving fluid and thus know its aerodynamic performance, shortly the objective is the design of a wind tunnel to generate an airstream, restricted by a variable duct, in order to achieve special flow conditions and simulate the movement of objects inside, in order to analyze their properties depending on the fluid around, like drag and lift forces and streamlines, etc.

Another important point of this work is the selection of the engine, which will be responsible for moving the fluid through the test section at a rate specified 50 m/s (180 km/h), a value that is considered as a start point for the design and taking into account the place of its installation Tlaxcala (Mexico) .

**Key words:** wind tunnel, design, manufacture, aerodynamics.

#### 1. Introducción

Un túnel de viento o túnel aerodinámico es una herramienta experimental científica-tecnológica cuyo funcionamiento está enfocado a estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos, es decir, con este dispositivo se simulan condiciones de tipo experimental del objeto que podrían llevarse a cabo en una situación real [1].

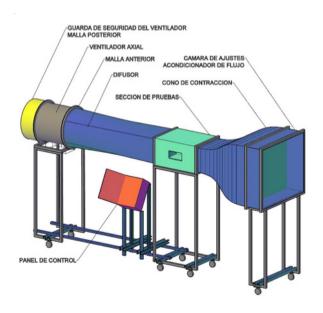
Como es sabido, la validez de los ensayos en el túnel con modelos a escala real requieren de semejanza geométrica, cinemática, y dinámica entre el flujo alrededor del modelo y el flujo alrededor del obstáculo real. Para que estas semejanzas ocurran se necesita principalmente de dos parámetros aerodinámicos relevantes, el número Mach y el número de Reynolds [6].

De manera general, el tipo de túnel de viento que se decida construir depende de los recursos económicos y materiales disponibles, pero sobre todo a la necesidad que se desea satisfacer. Para este caso en particular se elige un túnel de viento de circuito abierto, configuración que se caracteriza porque el flujo que sale del túnel no vuelve a recircular, razón por la cual también puede recibir el nombre de túnel de viento tipo soplador cuyas partes principales se observan en la figura 1 [2].

Las partes o secciones en las que se puede dividir el túnel de viento para su correcto funcionamiento se describen a continuación:

Cono de contracción. El cono de contracción toma un volumen grande de aire de baja velocidad y lo reduce a un volumen pequeño de aire de alta velocidad sin crear turbulencia [4].

*Cámara de pruebas*. Es el lugar donde se colocan el o los modelos a probar junto con los instrumentos de medición. El



**Fig. 1.** Configuración típica de túnel de viento de circuito abierto [3].

flujo en esta sección debe ser lo más uniforme posible y para ello se debe de cuidar su longitud, de manera que tiene que ser lo suficientemente larga para que el modelo pueda ser adaptado lo más alejado posible de la entrada para evitar las irregularidades del flujo al inicio de la sección, pero si se excede su longitud puede provocar el desprendimiento de la capa límite, por tal razón debe mantenerse una dimensión efectiva [5].

Modelo de prueba. Mientras que la circulación de aire se lleva a cabo por la sección de pruebas a la velocidad deseada, los sensores miden sobre el modelo de prueba valores como la velocidad, presión, resistencia y levantamiento. De acuerdo con los datos recabados de estas fuerzas y de la relación que hay entre el ambiente de la prueba y las condiciones reales, las predicciones exactas del funcionamiento del modelo a escala real pueden realizarse.

Cono difusor. El difusor reduce la velocidad de la circulación de aire en el túnel de viento.

Sección del mecanismo impulsor. Proporciona la fuerza necesaria que hace al fluido moverse a través del túnel. Esta fuerza viene normalmente de ventiladores lo suficientemente grandes según el fluido a desplazar [6].

#### 2. Desarrollo

Tomando en consideración el laboratorio en donde se colocara el túnel ya terminado y el presupuesto para su desarrollo, la longitud del mismo no debe ser mayor a 2.5 m. Con base en lo anterior, se parte de las dimensiones del objeto a medir y se establece como parámetro inicial un modelo de área no mayor a 20 cm². Se sabe que el área de la sección de pruebas debe ser por lo menos el cuadrado del área del objeto a ser colocado en dicha zona [7], por tal razón se propone un área de sección transversal de 400 cm² y con una razón de longitud 2.5 veces mayor a la dimensión de cualquiera de sus lados como se muestra en la figura 2, esto con el objetivo de evitar el desprendimiento de la capa límite al sobredimensionar su longitud.

Para el cono de contracción se consideran algunos criterios de diseño en los que se indica que el área de la zona de contracción debe ser de entre 3 y 10 veces el área de la zona de pruebas y el ángulo de inclinación no debe ser mayor a

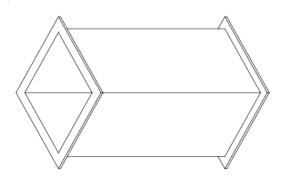


Fig. 2. Sección de pruebas.

30°, esto determina la inclinación que debe tener el cono desde su entrada hasta su salida [6]. El resultado de contracción propuesto es 6.25:1 y el diseño se muestra en la figura 3.

Para parametrizar el difusor es necesario encontrar el punto óptimo para aumentar el área sin permitir que la capa límite se desprenda. Se dimensiona con la relación de áreas de entrada y salida, o con el ángulo equivalente de cono que surge al trazar un cono truncado entre el área de entrada y el de salida. La relación de áreas recomendada debe ser no mayor de seis a uno y el ángulo debe ser de siete grados o menos [9].

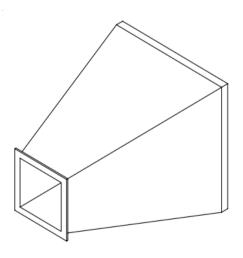


Fig. 3. Cono de contracción.

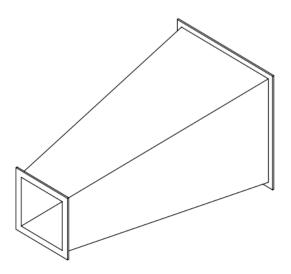


Fig. 4. Cono difusor.

Tomando en consideración lo antes mencionado se proponen los valores de relación de área de 3.15:1 y se muestra en la figura 4.

Contando con la geometría del túnel de viento, se establecen las condiciones del fluido que va a circular con la finalidad de seleccionar el motor:

Fluido: aire

Lugar de instalación: Tlaxcala Altura de instalación: 2270 msnm [8]

 $\rho \text{ aire: } 0.97 \text{ kg/m}^3$ V = 50 m/s

Se calcula el flujo másico:

$$m = \rho \times \mathbf{V} \times A$$

donde

m es el flujo másico,

 ${f V}$  es la velocidad del fluido en la cámara de pruebas A es el área de pruebas

Sustituyendo los valores:

$$m = (0.97 \text{ kg/m}^3)(50 \text{ m/s})(0.04 \text{ m}^2)$$
  
 $m = 1.94 \text{ kg/s}$ 

Cálculo para el caudal

$$Q = m/\rho$$

Si se sustituyen los valores se tiene:

$$Q = \frac{1.94 \text{ kg/s}}{0.97 \text{ kg/m}^3}$$

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Es necesario conocer la velocidad a la salida del túnel de viento, para ello se tiene:

$$V = \frac{1.94 \, kg/s}{(0.97 \, kg/m^3)(0.126m^2)}$$

$$V = 15.87 \text{ m/s}$$

Dato que es importante para llevar a cabo una simulación numérica con la intención de conocer la velocidad máxima del fluido y determinar si la geometría es la correcta para la velocidad planteada. El valor máximo obtenido por la simulación en la zona de pruebas es 56.43 m/s como se muestra en la figura 5, resultado que es considerado aceptable comparado con el parámetro de diseño inicial de 50 m/s.

Con la geometría correcta se da paso a la selección del motor, para este caso en particular se requiere un motor que pueda desplazar un caudal de 2 m³/s, capacidad que solo podía ser cubierta por un motor trifásico como se muestra en la figura 6.

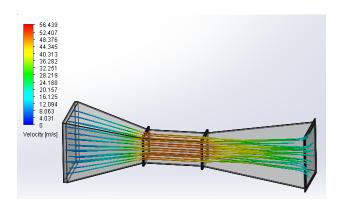


Fig. 5. Simulación de análisis de velocidades.



Fig. 6. Motor seleccionado para el desplazamiento de 2 m<sup>3</sup>/s.

La manufactura del túnel de viento se lleva a cabo usando material acrílico de 5 mm de espesor, con el objetivo de tener visibilidad hacia el interior por todas la paredes del túnel y no solo en la sección de pruebas como es habitual. El ensamble del cono de contracción, la cámara de pruebas y el cono difusor en acrílico se muestran en la figura 7.

Por último, se ensamblan todas las secciones con el elemento impulsor (motor), como se observa en la figura 8. Y si controla



Fig. 7. Ensamble de secciones de acrílico.



Fig. 8. Túnel de viento.

el motor por medio de un variador de frecuencia para contar con diferentes velocidades de prueba.

#### 3. Conclusiones

La fase de diseño del túnel de viento se caracteriza por su simplicidad y objetividad al mismo tiempo, pues cumple con los requerimientos de diseño planteados desde el inicio, los cuales son plasmados hasta la manufactura del mismo. Además es comprobado su desempeño de manera numérica, resultados que sirven para validar y reforzar los datos obtenidos de manera analítica.

El material empleado para su manufactura contempla la visibilidad hacia el interior a través toda la sección transversal del túnel, lo que permite un campo de visibilidad más amplio del modelo de prueba, siendo de gran ayuda pues se trata de un instrumento didáctico.

#### Referencias

- [1] Álvarez, M. A. *Diseño y análisis computacional para túnel de viento de baja velocidad*. Proyecto de fin de carrera. Escuela Politécnica Superior, 2012.
- [2] Barlow, Jewel B. R., William H. P., Alan. *Low-speed wind tunnel testing*. 3a ed. John Wiley & sons, Inc. New York, 1999.
- [3] Chicas, F. E. *Diseño y construcción de túnel de viento*. Tesis de Licenciatura. Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas", 2012.
- [4] Pineda, D. P., Vega, W. H. Diseño y construcción de un túnel de viento subsónico con sistemas de adquisición de datos para el estudio de la aerodinámica de los vehículos. Tesis de licenciatura. Escuela Politécnica del ejército. Ecuador, 2010.
- [5] Silva, C. J. Diseño y construcción de un túnel de viento bidimensional subsónico de circuito abierto por inyección. Tesis de maestría. Universidad de Colima, 2005.
- [6] Álvarez, J. P. *Diseño y construcción de túnel de viento para ensayos aerodinámicos*. Tesis de Licenciatura. Universidad internacional del ecuador, 2011.
- [7] Meseguer, J. Aerodinámica básica. 2a ed., Garceta, 2010.
- [8] INEGI. http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tlax/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=29,
- [9] Gonzales, S., Chiroque, J., Urcuhuaranga, J. Cálculo, diseño y construcción de un túnel de viento para estudios experimentales de aerogeneradores y sus componentes. Guzlop: Lima Perú, 2011.

## **DOAJ**

## Directory of Open Access Journals

http://www.doaj.org

#### Indicaciones para los colaboradores que deseen publicar en la revista Científica

La revista *Científica* es una publicación trimestral 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 en inglés y se reciben en formato electrónico (copia adjunta del archivo digital del trabajo), por medio del correo electrónico revistacientifipn@yahoo.com.mx con atención al Comité Editorial (Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Edificio 5, 1<sup>er</sup> 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, DF, México).

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (éste 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 (pares ciegos), él mismo recibe las observaciones de éstos e informa al Comité sobre los resultados de la revisión. 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.

#### Estructura de los artículos

Los manuscritos se deben ajustar a los lineamientos editoriales expuestos en este apartado.

Dentro del artículo se numeran, solamente, las secciones desde la introducción hasta las conclusiones y debe contener los siguientes elementos: *resumen* (con palabras clave en español), *abstract* (con palabras clave en inglés, «keywords»), *introducción*, *desarrollo* (con sus apartados correspondientes), *conclusiones* y *referencias*.

#### **Título**

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

#### Datos del autor

Éstos muestran el o los nombres completos de los autores (los apellidos unidos por un guión), la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país, el teléfono (con la clave internacional de su país), fax 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 la relevancia de éste.

#### **Abstract**

Se incluye un resumen en inglés.

#### Palabras clave y keywords

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo con, al menos, dos de ellos pertenecientes al tesauro del IEEE, éste se puede obtener enviando un correo electrónico en blanco a keywords@ieee.org y de manera automática se recibe la lista official keyword list from IEEE.

#### Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo, y expresa 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: libros, artículos, manuales, memorias, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes, con las siguientes especificaciones:

Artículo de revista científica:

[1] Autor, "Nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año.

Ejemplo:

[1] S. A. Boggs, y N. Fujimoto, "Techniques and instrumentation for measurement of transients in gas-insulated switchgear", *IEEE Transactions on Electrical Installation*, vol. 19, núm. 2, pp. 87-92, abril, 2004.

Artículo de revista científica en línea:

[2] Autor, "nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año, disponible en: 'dirección en Internet'

Ejemplo:

[2] J. A. Posada-Duque, y C. A. Cardona-Alzate, "Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel", *Ing. Univ. Bogotá*, vol. 14, núm. 1, pp. 9-27, enero-junio, 2010, disponible en: http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/Iy UVol14N1/Biodiesel.pdf

Libro:

[3] Autor, *título*, número de edición, lugar de edición (ciudad): editorial, año.

Ejemplo:

[3] W. M. Kays, y M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 2<sup>a</sup> ed., New York: McGraw-Hill,1993.

Tesis:

[4] Autor, "título de la tesis", grado, disciplina, institución, ciudad de la institución, país, año.

Ejemplo:

[4] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow", tesis de maestría, Ingeniería Electrónica, Universidad de Osaka, Osaka, Japón, 1993.

#### Anexos

Los agradecimientos, simbología, notación y otros anexos, se consideran dentro del cuerpo del artículo y se dejan a consideración del autor. Se debe indicar si el trabajo ha sido previamente presentado en alguna institución científica o realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

#### Consideraciones técnicas sobre el archivo electrónico

Para obtener la mejor calidad al realizar la edición de los manuscritos en el formato de la revista, se recomienda que:

- a) El trabajo se capture en un procesador de textos (word) con páginas en tamaño 'carta';
- b) El tipo de letra del texto sea 'Times New Roman' de 10 puntos, en una página con márgenes superior e inferior de 3 cm, márgenes izquierdo y derecho de 2 cm a dos columnas con espaciamiento de 0.6 cm entre ellas, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno);
- c) Las ecuaciones y fórmulas numeradas para mayor claridad, acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto;
- d) Los pies de las figuras deben estar debajo de éstas 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 éstas. Se requiere el uso, en todo caso, de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas;
- e) Las figuras y tablas en el documento 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). Se debe evitar el uso de colores en las figuras que señalen detalles o diferencias.

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 se reserva el derecho de hacer modificaciones editoriales para el diseño de los manuscritos en el formato vigente. Cualquier duda o comentario se puede enviar a edicion.tecnica.cjp@gmail.com, de antemano gracias.

#### Científica ISSN 1665-0654

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México.

Edificio 5, 1er Piso, Oficina de la revista Científica,

Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, México.

Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518,

www.cientifica.esimez.ipn.mx

revistacientifipn@yahoo.com.mx.

#### **Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal**

Científica is a quartely 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 and sent by email to revistacientifipn@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 *Cientifica*.

#### **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 staring with the given name followed by one or two family names, if two family names applies, they should be joined by a hyfen. 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.

#### Key words (palabras clave)

All papers must contain index terms as provided by the authors. A list of keywords is available by sending a blank email to keywords@ieee.org. They must be incorporated in Spanish too.

#### **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.

#### Reference

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.

Sample correct formats for various types of references are as follows.

#### Journal:

[1] Author, "Paper", *Journal*, volume, number, pages, month(s), year.

#### Example:

[1] S. A. Boggs & N. Fujimoto, "Techniques and instrumentation for measurement of transients in gas-insulated switchgear", *IEEE Transactions on Electrical Installation*, vol. 19, no. 2, pp. 87-92, April, 2004.

#### Journal on line:

[2] Author, "Paper", *Journal*, volume, number, pages, month(s), year, available: 'URL'

#### Example:

[2] J. A. Posada-Duque & C. A. Cardona-Alzate, "Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel". *Ing. Univ. Bogotá*, vol. 14, no. 1, pp. 9-27, January-June, 2010, available: http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/IyUVol14N1/Biodiesel.pdf

#### Books:

[3] Author, *Title*, edition, city: editorial, year, pages (if any).

#### Example:

[3] W. M. Kays & M. E. Crawford, Convection Heat and Mass Transfer, 2<sup>nd</sup> ed., New York: McGraw-Hill, 1993.

#### Thesis:

[4] Author, "Thesis", degree, area, institution, city, country, year.

#### Example:

[4] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow", Master Degree, Electronic Engineering, University of Osaka, Osaka, Japan, 1993.

#### Preparation for publication

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

- a) 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);
- b) Text in 'Times New Roman' at 10, margins of page in 3 cm top and bottom and 2 cm on the sides, two-column text, single spacing without paragraph indent;
- c) Check that your files are complete. Include: abstract, index terms, text, references and figure captions;
- d) Figures comments must be below them and tables comments above. It is necessary to use the International Systems of Units not abbreviations;
- e) 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;

Cientifica 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 Cientifica, 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.

Cientifica 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 reference list. Questions about preparation for publication can be sent to edicion.tecnica.cjp@gmail.com.

#### Científica

ISSN 1665-0654

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.
Edificio 5, 1<sup>er</sup> Piso, Oficina de la revista Científica,
Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos,
CP 07738, México, DF, México.
Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518.

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

#### Instituto Politécnico Nacional, México

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



VOLUMEN 18, NÚMERO 3, JULIO-SEPTIEMBRE 2014

#### 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.

## **Contenido**

95-101

103-106

107-111

#### Análisis del control de humedad en interiores de la industria electrónica de ambientes marinos del noroeste de México

Analysis of control of humidity in indoors of the Electronics industry in marine environments of the northwest of Mexico
Gustavo López-Badilla, Elizabeth Romero-Samaniego,
Sandra Luz Toledo-Perea, Deisy Judith Camacho-Rodríguez,
Janeth Guadalupe Rodríguez-Sánchez, Magnolia Villegas-Soto.

México

89-94

## Análisis mecánico de una línea de transporte de vapor ante cargas sísmicas y de viento

Mechanical Analysis of a Vapor Transport Line under Seismic and Wind Loads Nefi David **Pava-Chipol**, Joel Francisco **Pava-Chipol**, Lorenzo **Morales-Benítez**. **México** 

## Determinación de esfuerzos en materiales compuestos de matriz metálica mediante el MEF

Determining Efforts in Metal Matrix Composites by Using a Computer Program Based on the FEM Alexander Reyes-Cruz, Juan Atonal-Sánchez, Rodrigo Vázquez-Machorro. México

## Diseño y manufactura de túnel de viento subsónico de circuito abierto

Design and Manufacture of Subsonic
Open Circuit Wind Tunnel
Pablo Moreno-Garibaldi, Barbarela Dávila-Carmona,
Arnulfo Sánchez-Cortés, José Manuel Cervantes-Vázquez,
Miguel Ángel Munive-Rojas, Noemí Corro-Valdez.
México

EQUIPO EDITORIAL
Guillermo Urriolagoitia Calderón, Editor en Jefe
Alma Vicenta Miranda Godínez, Coordinadora Editorial
Cuauhtémoc Jiménez Pérez, Editor Técnico
Margarita Sam Rodríguez, Revisora