

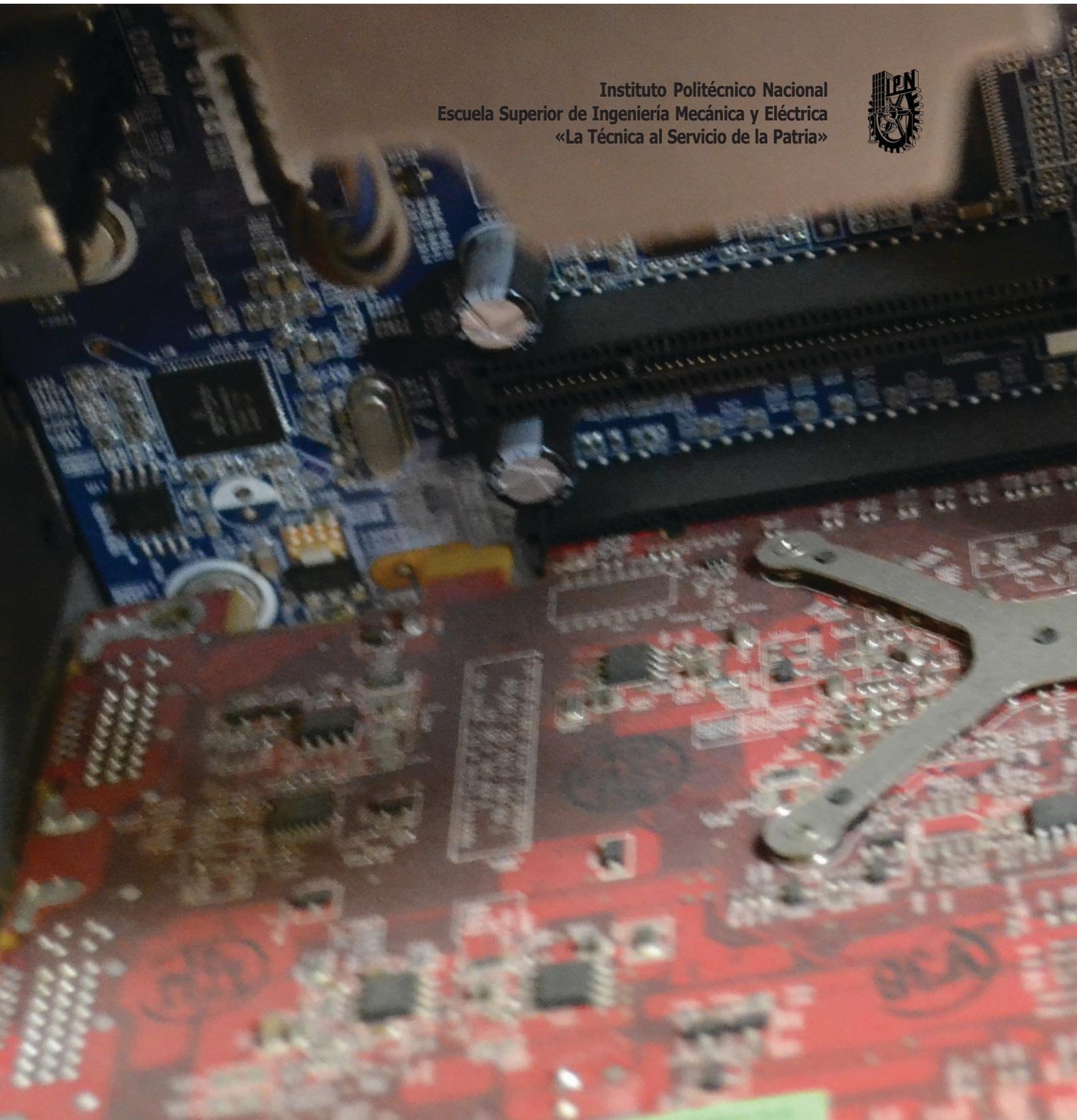
Científica

ISSN 1665-0654 [versión impresa]
e-ISSN en trámite [versión electrónica]



Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • Volumen 21 Número 2 • edición semestral: julio-diciembre 2017 • México • www.cientifica.esimez.ipn.mx

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
«La Técnica al Servicio de la Patria»



DIRECTORIO

Guillermo
Urriolagoitia Calderón
Director

Alma Vicenta
Miranda Godínez
**Coordinadora
Editorial**

Cuauhtémoc
Jiménez Pérez
**Editor
Técnico**

Luis Alberto
Méndez Cruz
**Página
Web**

Indizada en:

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

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

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

Publindex:
Índice Bibliográfico Nacional
Revistas Científicas Homologadas
del Colciencias.
[http://scienti.colciencias.gov.co:8084/
publindex/](http://scienti.colciencias.gov.co:8084/publindex/)

Contenido

Establecimiento del indicador energético de Porlamar (Isla de Margarita, Venezuela)

Establishment of the Energy Indicator of Porlamar, Margarita Island, Venezuela

Luisa **Salazar-Gil**, Víctor **Guzmán-Arguis**

VENEZUELA

71-89

Análisis tomográfico de la superficie acetabular en la displasia del desarrollo de la cadera en niños

Tomographic Analysis of the Acetabular Surface in Developmental
Dysplasia of the Hip in Children

Benjamín **Araujo-Monsalvo**, Luis Manuel **Hernández-Simón**,
Víctor Manuel **Domínguez-Hernández**, Víctor Manuel **Araujo-Monsalvo**,
Ramiro **Cuevas-Olivo**, Alejandro **Trujillo-Satow**,
Elisa **Martínez-Coria**, Martín **Luna-Méndez** | MÉXICO

91-97

El chorro en toberlino y los vórtices de punta de ala

The Swirling Jet and the Wingtip Vortices

Tiburcio **Fernández-Roque**, José Arturo **Correa-Arredondo**
José Félix **Vázquez-Flores**, Jorge **Sandoval-Lezama**
Alejandro **Mejía-Carmona** | MÉXICO

99-106

Análisis de un sistema homogenizador de jugo de naranja

Analysis of a System Homogenizer Orange Juice

Marco Antonio **Doñu-Ruiz**, Noé **López-Perrusquia**
Víctor Jorge **Cortés-Suárez**, Sergio Antonio **Pérez-Moo**
Juan Carlos **Vargas-Caballero** | MÉXICO

107-112

Modelo sistémico axiológico para las escuelas de ingeniería en el Instituto Politécnico Nacional

Axiological Systemic Model for Engineering Schools at Instituto Politécnico Nacional

Gloria **Martínez-Bejarano**, Nashielly **Yarzabal-Coronel**
Julián **Patiño-Ortiz** | MÉXICO

113-125

Tecnologías bluetooth aplicadas al control de vehículos terrestres no tripulados para aspersión de agroquímicos en plantas ornamentales

Bluetooth Technologies Applied for Control of Unmanned Ground Vehicles (UGV)
for Agrochemicals Aspersation on Ornamental Plants

Omar Cristian **Vargas-Gonzalez**, Nicandro **Farias-Mendoza**,
Eduardo **Flores-Gallegos**, Carlos Enrique **Maciel-Garcia**
Ernesto **Cárdenas-Zanabria** | MÉXICO

127-134

El Proyecto Aula, metodología para el desarrollo de competencias profesionales

The Classroom Project, Methodology for the Development of Professional Competences

María Elena **Zepeda-Hurtado**, Laura **Campos-Monroy**,
Maricela **Cuéllar-Orozco** | MÉXICO

135-142

La ecuación discreta de Pocklington aplicada a la transformación de mediciones de campo cercano en campo lejano

Near Field-Far Field Transformation Using the Discrete Pocklington Equation

Luis **Carrión-Rivera**, Jorge **Sosa-Pedroza**,
Fabiola **Martínez-Zúñiga** | MÉXICO

143-147

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
(VENEZUELA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

EDITORES ASOCIADOS

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

Baltasar Mena Inesta
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

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

Francisco Sánchez Sesma
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Garret Sautis
University of Sheffield (REINO UNIDO)

Guillermo Urriolagoitia Sosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Israel Saucedo Meza
Universidad de Baja California (MÉXICO)

Joaquín Fernández Valdivia
Universidad de Sevilla (ESPAÑA)

Jorge Sosa Pedroza
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Manuel de la Rosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Mariko Nakano Miyatake
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel A. Duarte Marmoud
Universidad de Chile (CHILE)

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

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

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

Miguel Cruz Irisson
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Patricia Camarena Gallardo
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Régulo López Callejas
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
(MÉXICO)

Valery Kontorovich
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
(MÉXICO)

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

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

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

Volodymir Ponomaryov
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Científica
ISSN 1665-0654
e-ISSN en trámite

VOLUMEN 21, NÚMERO 2,
JULIO-DICIEMBRE 2017

LA REVISTA MEXICANA
DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF
ELECTROMECHANICAL
ENGINEERING

Científica, Volumen 21, Número 2, julio-diciembre de 2017, es una revista semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México, Tel. +52 55 5729 6000 ext. 54518, www.cientifica.esimez.ipn.mx, revistacientifipn@yahoo.com.mx. Editor responsable: Guillermo Urriolagoitia Calderón. [Versión impresa: Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-112516365800-102, ISSN 1665-0654, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor, Licitud de Título No. 10962, Licitud de Contenido No. 7611, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación] [Versión electrónica: e-ISSN en trámite, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo en trámite]. Este número se terminó de imprimir el 24 de junio de 2017. Tiraje: 200 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Esta es una obra intelectual protegida por la Ley Federal del Derecho de Autor, puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando se cite la fuente completa; su uso para otros fines, requiere autorización previa y por escrito de la Dirección General del Instituto Politécnico Nacional.

EDITORIAL

Científica, en su segundo número del volumen 21, publica artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita a consultar los artículos y números completos en línea en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

En el primer trabajo, se presenta el análisis de las características de la ordenación territorial y condiciones climatológicas de la ciudad de Porlamar, Isla de Margarita, con el fin de evaluar las condiciones requeridas para el establecimiento de edificaciones energéticamente eficientes adecuadas al entorno. La metodología desarrollada se basa en el estudio del comportamiento de las variables climáticas que definen la zonificación bioclimática de Porlamar y la aplicación de los criterios de definición del confort térmico en la evaluación de un modelo de espacio habitacional, para luego proponer la transmitancia térmica adecuada bajo criterios de diseño bioclimático, empleando los materiales de construcción utilizados en la zona bioclimática en estudio, basada en criterios nacionales e internacionales. El indicador energético se establecerá como resultado de la comparación de las transmitancias térmicas, tomando como referencia la establecida en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

En el segundo artículo, se revisa la displasia del desarrollo de la cadera que es una patología de etiología multifactorial, donde debemos comprender la anatomía, las anomalías del acetábulo, así como su reconstrucción y el análisis de las superficies acetabulares por medio de técnicas de imagen. Por lo que se requiere realizar un estudio tomográfico en estos pacientes, con el objetivo de analizar la superficie del acetábulo y la posible recuperación de la cavidad acetabular operada. Se analizaron tomografías de 10 pacientes por medio de un software de diseño. Se obtuvo diferencia significativa (operado vs sano). Con dos años de postquirúrgico, la superficie acetabular media del lado operado fue 14.3 ± 10.7 mm mayor respecto al sano. A los cuatro años de postquirúrgico, el lado operado tuvo 16.0 ± 13.1 mm más respecto al sano. Al aumentar la edad de cirugía, la diferencia de la superficie acetabular fue disminuyendo significativamente.

Los vórtices de punta de ala representan un riesgo para las aeronaves que vuelan detrás de otra por lo que el estudio de los mismos es necesario para prevenir accidentes aéreos al establecer las distancias mínimas que deben separar una aeronave de otra, sobre todo en las operaciones de despegue y aterrizaje de las mismas. Para el desarrollo de esta línea de investigación, en el tercer trabajo, se construyó un equipo para generar el chorro en torbellino y se han utilizado diversos anemómetros; en este trabajo se presentan las mediciones realizadas sobre un chorro en torbellino de baja velocidad empleando un sensor de siete orificios. Se muestran los perfiles de velocidad tangencial y de velocidad axial, encontrándose que el comportamiento de ambas velocidades tiene una gran semejanza con los vórtices de punta de ala sobre todo con respecto al núcleo del vórtice.

En la siguiente publicación se evalúa el desempeño de un homogeneizador que está compuesto por perno, asiento y anillo de impacto. Un homogeneizador se utiliza para tratar el jugo de naranja con presiones en rango de 350 a 400 MPa a una temperatura de 75°C con vida útil de 20 días con 24 horas diarias de operación. El análisis se empleó inspección visual, microscopio electrónico de barrido (MEB), análisis metalográfico y análisis numérico para evaluar las zonas críticas. Los resultados ponen de manifiesto la disminución de 10 días de operación bajo las condiciones de trabajo, también el desgaste por contacto de los componentes del sistema de homogeneización; el anillo de impacto, asiento de válvula y perno, que se observa por análisis MEB revela tipo desgaste adhesivo con presencia inclusiones en la matriz y carburos mixtos, que al contacto causa desprendimiento de material.

Como resultado de la aplicación de la metodología al análisis axiológico se obtuvieron, en este artículo, cuatro variables principales: honestidad, responsabilidad, servicio y justicia. Se generó, además, un instrumento diagnóstico de medición de estas variables en los estudiantes de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en el Instituto Politécnico Nacional de México. Los resultados de dicha encuesta nos indican que, principalmente, la honestidad y el servicio son valores que se necesitan reforzar ya que no se encuentran arraigados. Se propone que las variables identificadas sean reforzadas en un modelo educativo sistémico para llevar a cabo una mejoría de los valores, que derivarán en un cambio de actitudes e incidir en las acciones. Dando como resultado una mayor satisfacción y mejores logros a nivel individual que impacten en un mayor bienestar social.

En el sexto artículo se desarrolló el prototipo de un vehículo terrestre no tripulado operado a distancia para la aplicación de agroquímicos en viveros de plantas ornamentales. Para la construcción de este vehículo se requirió el desarrollo de un sistema de control de conducción que utiliza las consignas enviadas desde un aplicación instalada en un smartphone o una tableta utilizando bluetooth para la comunicación y el control a distancia de los actuadores electromecánicos del vehículo, de tal manera que se realicen recorridos y se ejecute la aplicación segura de agroquímicos por aspersión en plantas de ornato, reduciendo drásticamente la exposición humana a sus elementos químicos nocivos.

El caso de investigación de este penúltimo trabajo publicado consistió en llevar a la práctica las metodologías de modelos educativos actuales: aprendizaje basado en problemas y aprendizaje colaborativo para el desarrollo de competencias genéricas, disciplinares y profesionales de las carreras de físico-matemáticas. Para documentar esta investigación-acción, se emplearon diferentes técnicas e instrumentos: observación, encuesta y entrevista de la población involucrada. El resultado es la generación de conocimientos en el amplio sentido, teóricos, actitudinales y procedimentales, es decir, en el desarrollo de competencias, a través de la elección y delimitación del tema: sustentabilidad.

Los sistemas actuales de comunicaciones móviles, de tecnología MIMO, requieren de antenas inteligentes capaces de utilizar favorablemente la multitrayectoria para mejorar la calidad de la señal deseada. Las antenas de las estaciones base 4G, actualmente en despliegue en el mundo y en particular en nuestro país, son en esencia un doble arreglo ortogonal, de dimensiones típicas de 1.4 m, con frecuencias de operación entre 1.7 y 2.7 GHz; estas dimensiones y su relación con la longitud de onda (el tamaño eléctrico de la antena), implica que la distancia mínima de medición de campo lejano es superior a los 25 m. Presentamos en este trabajo una propuesta de conversión de medición en campo cercano usando la ecuación de Pocklington para obtener el campo lejano mediante la teoría de arreglos, a partir del cálculo de corrientes virtuales cerca de la antena.

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

Establecimiento del indicador energético de Porlamar (Isla de Margarita, Venezuela)

Luisa Salazar Gil¹
Víctor Guzmán Arguis²

Universidad Simón Bolívar

¹Departamento de Conversión y Transporte de Energía

²Departamento de Electrónica y Circuitos

Valle de Sartenejas, Baruta Estado Miranda.

VENEZUELA.

Tel. +58 212 9063721

correos electrónicos (emails): luisalazar@usb.ve
vguzman@usb.ve

Recibido 02-06-2016, aceptado 27-10-2016.

Resumen

Este trabajo presenta el análisis de las características de la ordenación territorial y condiciones climatológicas de la ciudad de Porlamar, Isla de Margarita, con el fin de evaluar las condiciones requeridas para el establecimiento de edificaciones energéticamente eficientes adecuadas al entorno. La Isla de Margarita tiene zonas con alta disponibilidad energética natural, caracterizada por un elevado potencial aprovechable de energía eólica y solar. La zona a evaluar, Porlamar, es la ciudad más poblada de la Isla y la de mayor consumo de energía. Además existen registros climáticos de la zona, lo que hace posible su evaluación para establecer indicadores energéticos de la envolvente de las edificaciones con base en la zonificación bioclimática. La metodología desarrollada se basa en el estudio del comportamiento de las variables climáticas que definen la zonificación bioclimática de Porlamar y la aplicación de los criterios de definición del confort térmico en la evaluación de un modelo de espacio habitacional, para luego proponer la transmitancia térmica adecuada bajo criterios de diseño bioclimático, empleando los materiales de construcción utilizados en la zona bioclimática en estudio, basada en criterios nacionales e internacionales. El indicador energético se establecerá como resultado de la comparación de las transmitancias térmicas, tomando como referencia la establecida en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

Palabras clave: zonificación bioclimática, indicadores energéticos, confort térmico.

Abstract (Establishment of the Energy Indicator of Porlamar, Margarita Island, Venezuela)

This work, presents the analysis of the characteristics of the territorial planning and climatic conditions in Porlamar city, Margarita Island, in order to evaluate the conditions required for the establishment of energy efficient buildings adapted to the environment. Margarita Island has areas with high natural energy availability, characterized by a high potential of wind and solar energy. The area to be evaluated, Porlamar, is the most populated city on the island and the one that consumes more energy. In addition there are climatic records of the area, which makes possible its evaluation to establish energy indicators of the envelope of buildings based on bioclimatic zoning. The methodology to be developed is based on the study of the behavior of the climatic variables that define the bioclimatic zoning of Porlamar and the application of the criteria for thermal comfort definition in the evaluation of a model of housing space and then propose a suitable thermal transmittance under criteria of bioclimatic design, using the building materials used in the bioclimatic zone under study, based on national and international criteria. The energy indicator will be established as a result of the comparison of the thermal transmittance, taking as reference the one established in Maracaibo city, Venezuela.

Index terms: bioclimatic zoning, energy indicators, thermal comfort.

1. Introducción

El sector de la edificación es un sector de estructura compleja, en el que es problemático incorporar medidas de ahorro y eficiencia energética. Sin embargo estas medidas son imprescindibles para no comprometer el desarrollo sostenible de un país, debido a la contribución de este sector en el aumento en la demanda energética. Todo ello supeditado al rigor técnico y la responsabilidad profesional a la hora de implantar las medidas, ya que su aplicación inadecuada, dada la complejidad del edificio como sistema energético, conduciría a un empeoramiento de su comportamiento, con un sobrecosto significativo y el consiguiente descrédito del potencial de actuación, por lo que las medidas disponibles de ahorro y eficiencia energética [1] deberán estar orientadas hacia: el diseño del edificio, el urbanismo bioclimático, la ingeniería

bioclimática, los sistemas energéticos, la integración de energías renovables, la operación del edificio y los materiales de construcción.

Una de las barreras para el desarrollo de medidas de ahorro y eficiencia energética en la edificación es el uso de indicadores poco apropiados. Las causas deben buscarse en la complejidad del edificio como sistema energético.

El indicador del comportamiento energético de un edificio más utilizado determina su consumo de energía primaria total por unidad de superficie útil ($\text{kWh/m}^2\text{-año}$). Este indicador incluye tanto el consumo durante la construcción y el mantenimiento del propio edificio, como el consumo de los sistemas adicionales empleados para alcanzar las condiciones de confort requeridas en su interior. Considera un acoplamiento fuerte entre el comportamiento térmico del edificio y el desempeño de sus sistemas, por lo que desde este punto de vista, no resulta apropiado separar edificio y sistemas a la hora de buscar indicadores de comportamiento energético de edificios. Evidentemente, el comportamiento real de un edificio en cuanto a su consumo energético depende mucho de cómo se utilice, por lo que este indicador debería basarse en un análisis del ciclo de vida del edificio, por lo que podría resultar más adecuado, desde el punto de vista de regulación y certificación energética, el expresar el indicador de comportamiento energético de un edificio en términos específicos en función del número de usuarios (kWh/usuario-año), en lugar de en función de la superficie del edificio, garantizando que se cumplan unos valores mínimos de área útil asignada a cada usuario de habitabilidad por encima del mínimo aceptable.

Hay que resaltar que los indicadores energéticos $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ y kWh/usuario-año , están orientados al objetivo final, lo que permite proporcionar una cuantificación directa de los efectos del sector de la edificación sobre la balanza energética del país. La cuantificación de la energía enterrada se encuentra excluida de estos indicadores, que se limitan a la energía de operación. Lo correcto sería establecer indicadores de la envolvente del edificio, por un lado, y sobre sus sistemas, por el otro, de tal forma que la demanda energética de operación y la energía enterrada, adecuadamente normalizadas, reflejen las implicaciones energéticas totales. Los criterios de eficiencia energética, no deben excluir la condición climática a la que está sometido el edificio.

El indicador energético de la envolvente, empleado en diversos países desde la década de los 70, ha sido definido como un coeficiente global de transferencia, que se establece como transmitancia térmica (U), medida en $\text{W/m}^2\text{°C}$, referida a la cantidad de calor transmitida del aire exterior al aire interior del

edificio por unidad de superficie respecto a una diferencia unitaria de temperatura, en una unidad de tiempo, determinado una vez alcanzado el equilibrio térmico que define el límite térmico. Este indicador recoge el comportamiento energético de la envolvente del edificio, por equilibrio entre el calor proveniente de fuentes externas (sol y temperatura aire exterior principalmente), y el de fuentes internas (calor producido por personas, sistemas activos, etc.), con base en las características del material referidas a la conductividad, calor específico volumétrico, densidad, difusividad y emisividad.

Es necesario un nuevo tipo de actitud en las consideraciones sobre los indicadores energéticos de los edificios, basada en la comprensión de que al construir edificios se están creando sistemas dinámicos. Para definir los nuevos indicadores hay que tomar en cuenta: el patrón de variaciones de las temperaturas externas y el modelo de irradiación solar que son datos ambientales básicos, además del patrón de ocupación o patrón de uso; para obtener un edificio que ofrezca un considerable ahorro de energía, con materiales adecuados, correcta orientación de vanos, disposición de la envolvente arquitectónica y que, por lo tanto, sea compatible con su entorno [2]. Bajo este contexto, el enfoque bioclimático del análisis térmico estará centrado en el diseño habitacional propio de cada lugar en las diferentes zonas bioclimáticas del país. Desde luego existirán siempre principios científicos generales, cuya validez presentará rasgos de universalidad, por lo que en este trabajo, se establece que el indicador energético a definir para la ciudad de Porlamar debe estar expresado en $\text{W/m}^2\text{°C}$, esto es, se desea definir la transmitancia térmica requerida de acuerdo a su zonificación bioclimática, cálido húmedo.

2. Cálculo del indicador energético de la envolvente en Porlamar

La ciudad de Porlamar, capital del Municipio Mariño, donde se centralizan las principales actividades comerciales e industriales de la isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela (véase Fig. 1), es una ciudad con características ambientales muy particulares. Debido a su ubicación geográfica, posee durante todo el año un clima caracterizado por alta temperatura y humedad. En los últimos 50 años el crecimiento de la ciudad de Porlamar se ha caracterizado por una rápida expansión urbana. Este crecimiento ha sido regido por un Plan de Desarrollo Urbano que no contempla variables sobre la calidad térmica de las edificaciones. La aplicación de este instrumento legal y la no consideración de técnicas bioclimáticas en el diseño han originado edificaciones térmicamente inadecuadas, que obligan a sus usuarios a instalar equipos electromecánicos acondicionadores de aire para lograr ambientes más confortables, generando un uso intensivo de los mismos y elevando el consumo de electricidad, por lo que el establecimiento de



Fig. 1. Ubicación Geográfica de Porlamar [2].

un indicador energético de la envolvente ayudará a definir una normativa en el diseño y construcción de ambientes más confortables además de ayudar a reducir el consumo de energía.

Con el objeto de poder determinar el valor del indicador energético de la envolvente (transmitancia térmica (U) en $W/m^2\text{°C}$) referidos a techo y paredes adecuado a la zona bioclimática de Porlamar, tipificada como cálida húmeda, se plantea y analiza el comportamiento térmico de un modelo de espacio habitable con materiales de construcción característicos de la zona. El modelo a evaluar (véase Fig. 2) está representado por un espacio cerrado de cuatro paredes, techo plano, de dimensiones 6,00 m x 8,00 m x 2,80 m, con un área de construcción de 48 m² y un volumen de 134,4 m³; en las paredes de 6 m se tiene respectivamente una ventana de vidrio claro y una puerta de madera, tal como se muestra en la Fig. 2

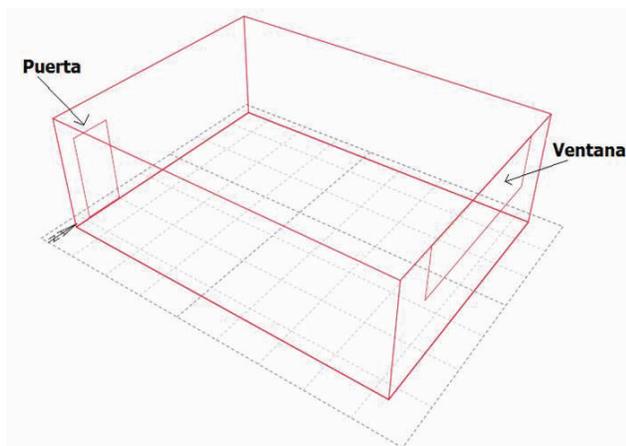


Fig. 2. Modelo propuesto para la evaluación térmica.

3. Rutina de cálculo

Para determinar el valor del indicador energético de la envolvente se utiliza una metodología de cálculo, resumida en la Fig. 3, desarrollada con criterios basados en las normas de climatización de edificios (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE)*), Método de Comportamiento Térmico, el cual está basado en la metodología propuesta por ASHRAE, contenida en la versión 1997 del ASHRAE/IES Standard 90.1-1989. Este método involucra en sus ecuaciones el cálculo de la Diferencia de Temperatura Equivalente (DTE), el cual considera variables térmicas, solares y físicas que pueden ser determinadas y ajustadas de acuerdo a la información disponible para la ciudad de Porlamar. Sus ecuaciones son de uso generalizado en el diseño de sistemas de acondicionamiento

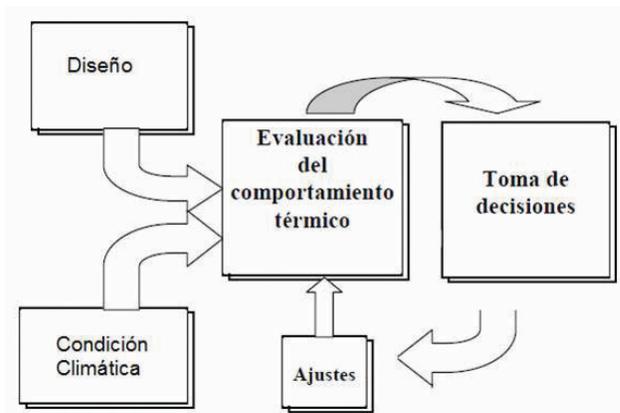


Fig. 3. Diagrama de bloques de la metodología de cálculo del indicador energético.

ambiental para la determinación de la ganancia térmica y solar a través de los diferentes elementos de la superficie exterior de una edificación desarrollada partiendo de un cuidadoso análisis del clima del sitio, así como de los requisitos impuestos por el tipo de uso y el lugar de ubicación.

Con base en la metodología propuesta se desarrolla un algoritmo que considera el material del diseño y variables climáticas para evaluar el comportamiento térmico, implementado en una rutina de cálculo de estructura modular.

Con base en lo anterior se implementó un programa de cálculo, en Matlab, estructurado en los módulos siguientes:

- Entrada de datos
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del muro (U_{muro})
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor de la ventana (U_{vent})
- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del techo (U_{techo})
- Cálculo de la capacitancia térmica de los muros exteriores
- Cálculo de la capacitancia térmica de los muros interiores
- Cálculo de la capacitancia térmica de la ventana
- Cálculo de la capacitancia térmica del techo
- Cálculo de la capacitancia térmica de los materiales de relleno
- Entrada en la curva psicométrica
- Ganancia del calor aportado por los equipos
- Cálculo de la temperatura sol-aire
- Cálculo del flujo de calor por convección y radiación
- Cálculo del flujo de calor por conducción (muro, ventana, techo)
- Cálculo de la ganancia de calor por infiltración latente
- Cálculo de la ganancia de calor por infiltración sensible
- Cálculo de la ganancia de calor generada por los ocupantes
- Cálculo de la ganancia de calor total (Q_{LOAD})
- Presentación gráfica de T_{int} y T_{amb}

4. Datos de las variables climáticas

Para realizar la evaluación térmica del modelo propuesto se requieren los datos sobre la edificación, el clima del lugar y su localización geográfica indicados en la Fig. 4, los cuales se introducen en el módulo de entrada de datos, donde los datos de temperatura ambiente, humedad

relativa, irradiancia global, altura y azimuth solar, se colocan como vectores correspondientes a las 24 horas del día, iniciando a la 1:00 AM y finalizando a la 0:00 AM, según se presenta en las tablas 1 y 2.

Para la simulación térmica del espacio con la rutina desarrollada, es conveniente seleccionar unos días específicos de diseño, representativos del clima que se presenta en el lugar a lo largo del año. De esta manera, la simulación se reduce de 365 días a unos cuantos días "típicos" con cuyo análisis la información de la operación térmica del espacio será completa. Para el estudio se seleccionaron como "días típicos", un día de enero, el mes de menos calor, y uno de septiembre, el mes de más calor, cuyos datos son mostrados en las tablas 1 y 2.

5. Datos de las variables climáticas

Con el fin de establecer los límites en el confort interno del espacio, es importante tomar como criterio las condiciones de la temperatura de confort, por lo que se requiere los datos de la zona de

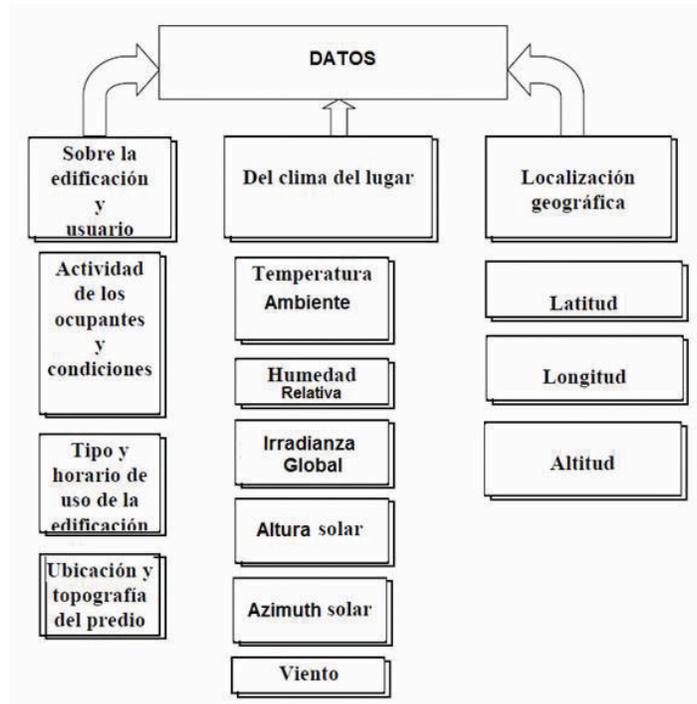


Fig. 4. Diagrama de bloques del conjunto de datos requeridos para el cálculo térmico.

Tabla 1. Variables climáticas mes de enero en Porlamar.

Hora	T_{amb}	Humedad	Irradiancia Global	Azimuth solar	Altura solar
	mes más cálido				
01:00	24,60	90	0,00	0,00	0,00
02:00	24,30	91	0,00	0,00	0,00
03:00	24,10	92	0,00	0,00	0,00
04:00	23,90	93	0,00	0,00	0,00
05:00	23,80	94	0,00	0,00	0,00
06:00	23,70	95	116,41	112,82	10,01
07:00	23,40	96	304,77	117,58	23,35
08:00	24,50	90	501,44	124,81	35,97
09:00	26,10	82	674,22	136,22	47,22
10:00	27,60	74	792,56	154,43	55,71
11:00	28,80	68	834,64	180	59,05
12:00	29,60	64	792,56	-154,43	55,71
13:00	29,90	62	674,22	-136,22	47,22
14:00	29,90	62	501,44	-124,81	35,97
15:00	29,60	64	304,77	-117,58	23,35
16:00	29,20	66	116,41	-112,82	10,01
17:00	28,60	69	0,00	0,00	0,00
18:00	28,00	72	0,00	0,00	0,00
19:00	27,30	76	0,00	0,00	0,00
20:00	26,70	79	0,00	0,00	0,00
21:00	26,20	82	0,00	0,00	0,00
22:00	25,70	84	0,00	0,00	0,00
23:00	25,30	86	0,00	0,00	0,00
24:00	24,90	88	0,00	0,00	0,00

confort de los meses de enero y septiembre, mostrados en la Tabla 3. Con la información de la temperatura de confort es posible determinar los problemas de confort a que estará sujeto el ocupante, puesto que la temperatura interna debe estar dentro de la amplitud de la zona de confort limitada por los valores mínimo y máximo de temperatura de confort. Es importante observar que las oscilaciones de las temperaturas exterior e interior se verifican respecto a un mismo nivel medio, que corresponde a la temperatura media diaria propia del período considerado.

6. Datos de los materiales de construcción

Los fenómenos de transferencia de calor entre el ambiente externo y el interior del espacio se producen a través de los materiales del techo, los muros, las puertas, y las ventanas, entre otros, y dependen, en cantidad y velocidad, de las características y comportamiento térmico de dichos materiales. Las características de los materiales necesarios para el cálculo térmico, referidas al techo, paredes, puerta, vidrio y mate-

Tabla 2. Variables climáticas, mes de septiembre en Porlamar.

Hora	T_{amb} mes más cálido	Humedad	Irradiancia Global	Azimuth solar	Altura solar
01:00	26,9	90	0,00	0,00	0,00
02:00	26,6	91	0,00	0,00	0,00
03:00	26,4	92	0,00	0,00	0,00
04:00	26,2	93	0,00	0,00	0,00
05:00	26,1	94	0,00	0,00	0,00
06:00	26,0	97	1168,64	92,91	14,72
07:00	25,9	94	369,45	96,26	29,40
08:00	27,2	87	575,25	100,76	43,97
09:00	28,8	78	754,07	108,21	58,24
10:00	30,4	70	875,76	125,33	71,50
11:00	31,6	64	918,91	180,00	79,05
12:00	32,3	60	875,76	-125,33	71,50
13:00	32,6	59	754,07	-108,21	58,24
14:00	32,5	60	575,25	-100,76	43,97
15:00	32,2	62	369,45	-96,26	29,40
16:00	31,6	65	168,64	-92,91	14,72
17:00	31,0	68	0,00	-90	0,00
18:00	30,4	71	0,00	0,00	0,00
19:00	29,7	75	0,00	0,00	0,00
20:00	29,1	78	0,00	0,00	0,00
21:00	28,5	81	0,00	0,00	0,00
22:00	28,0	84	0,00	0,00	0,00
23:00	27,6	86	0,00	0,00	0,00
24:00	27,2	88	0,00	0,00	0,00

Tabla 3. Zona de confort de los meses de enero y septiembre en Porlamar.

	enero	septiembre
Temperatura media [°C]	26,6	29,2
T_n [°C]	25,8	26,6
Oscilación	6,8	7,3
Amplitud de la zona de confort	2,5	2,5
Rango mínimo de confort [°C]	23,3	24,1
Rango máximo de confort [°C]	28,3	29,1

rial de relleno se presentan en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8, correspondiente al modelo de espacio evaluado, mostrado en la Fig. 1. Los espesores y composiciones del techo y las pare-

des se toman de la tipología de construcción utilizada en Porlamar, la información de la características de los materiales proviene de la tabla de fuentes diversas, del Dr. Luis Rosales

Tabla 4. Características de los materiales del techo [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³	
Techo tabelones arcilla					
Manto asfáltico	0,003	0,50	1,00	1700	
Mortero	0,050	1,40	0,89	2130	
Tabelón de arcilla	0,100	0,84	0,88	1800	
Techo impermeabilización asfalto	Friso interior	0,025	0,87	1,00	1800
Losa de concreto					
Losa maciza de concreto con revestimiento pliego asfáltico y friso interior	0,200	3,62	1,08	2400	
Techo tabelones arcilla					
Mortero	0,050	1,40	1,00	2130	
Tabelón de arcilla	0,100	0,84	0,88	1800	
Techo sin impermeabilización de asfalto	Friso Interior	0,025	0,87	1,00	1800
Losa de concreto					
Losa de concreto	0,170	1,63	1,00	2400	
Friso interior	0,025	0,87	1,00	1800	

Tabla 5. Características de los materiales de las paredes [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Paredes Bloque Hueco Arcilla				
Friso Exterior	0,025	1,40	0,89	2300
Bloque Hueco de Arcilla	0,150	0,47	0,93	1000
Friso Interior	0,020	0,87	1,00	1800
Paredes Bloque Hueco Concreto				
Friso Exterior	0,025	1,40	0,89	2300
Bloque Hueco de Concreto	0,150	0,50	1,00	1200
Friso Interior	0,020	0,87	1,00	1800

Tabla 6. Características de los materiales de la puerta [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Puerta Madera Liviana	0,025	0,87	1,00	1800

Tabla 7. Características del material de relleno [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Techo Tabeles Arcilla	0,002	1,4	0,89	2300
Paredes	0,005	1,4	0,89	2300

Tabla 8. Características material del vidrio de la ventana [3] [4].

Materiales	Espesor m	Conductividad w/m°C	Calor específico kJ/kg°C	Densidad kg/m ³
Vidrio en general	0,004	0,77	0,738	2950

[3] del Instituto del Desarrollo de la Construcción (IDEC) - Facultad de Arquitectura - Universidad Central de Venezuela (UCV) y del Dr. David Morillón Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [4].

7. Datos y constantes requeridas para los diferentes cálculos

Los datos utilizados para los diferentes cálculos son:

- Ganancias de calor e intercambio de aire del espacio tomadas de la Norma ASHRAE 55/1192 [5].
- Velocidad del viento: 1,5 m/s. Para esto se tiene cuenta que 1,65 m/s es la máxima velocidad agradable sin efectos indeseables en el trabajo de oficina [6].
- Eficiencia de la ventilación o infiltración de aire: 0,25 [6]. Para esto se consideró que para vientos cuyas dirección son diferentes de 90°, el rango posible está entre 0,25 y 0,35 y se seleccionó el menor valor [6].

- Para el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor de ventana, techo y muro, se tienen como valores constantes [7]:

h_0 = Coeficiente de convección de aire exterior
Muros y ventanas: 34,06 W/m²°C
Techo: 17,03 W/m²°C
Ambos a velocidad de aire de 6,7 m/s

h_i = Coeficiente de convección de aire interior
Muros y techos: 9,36 W/m²°C
Ventanas: 9,08 W/m²°C
Ambos en presencia de aire quieto

No se considera h_c , el coeficiente de calor del aire interior por convección para espacios de aire (cámaras de aire), verticales y horizontales por no existir cámara de calor.

- Para determinar las ganancias de calor por ventilación y por infiltración latente, se parametrizó la carta psicométrica para

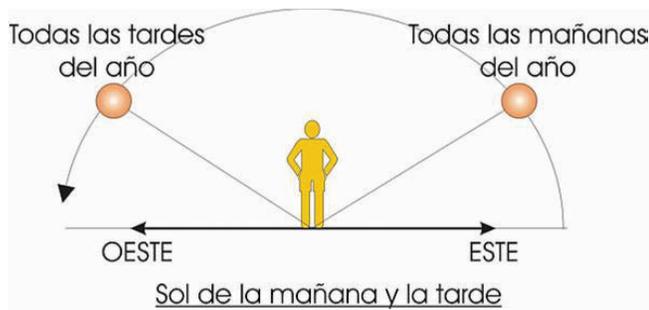


Fig. 5. Trayectoria diaria del sol en la bóveda celeste.

obtener la humedad específica correspondiente a las temperaturas externa e interna. Este diagrama está dado para 50 puntos de temperatura, por lo que cualquier punto mayor de este se considera fuera de rango.

- Los valores de: absorptancia (muros y techos) 0,8, emitancia (muros y techos) 0,9, emisividad del vidrio 0,9 y factor de ganancia de calor solar (F_c) 0,9.
- No se considera un factor de sombreado por la ausencia de dispositivos de protección solar (aleros, partesoles y combinaciones).

8. Premisa de simulación

Las premisas utilizadas para evaluar el modelo propuesto son las siguientes:

- La forma y orientación de la envolvente y sus componentes estará sujeta a la salida y puesta del sol durante todo el año (véase figuras 5 y 6).
- La ventana en la pared oriental (Este) y la puerta en la pared de poniente están orientadas respecto a la trayectoria del sol en la bóveda celeste tal como se muestra en la Fig. 5.
- No se consideran obstáculos externos por edificaciones cercanas.
- No se considera la contribución del piso.
- Se considera la presencia de 4 personas en actividad sedentaria y ropa ligera dentro del espacio.
- Se considera una carga de 2500 w en equipos y sistema de iluminación.
- No se consideran protectores solares ni falso techo.
- La ventilación es natural.

- El techo es plano y el vidrio es claro con características generales por considerarse la tipología más extrema para el tipo de zona bioclimática.
- Los materiales a evaluar son típicos de la zona, de uso extendido en Venezuela.
- Enero y septiembre son los meses para la simulación por ser enero el de menos calor y septiembre el de más calor, cuando se presenta la mayor demanda de energía de la Isla de Margarita.

9. Presentación y análisis de los resultados

Para analizar el comportamiento del material y determinar la transmitancia adecuada a la zona bioclimática en estudio, de acuerdo a las premisas establecidas, se tienen que considerar combinaciones de los materiales de construcción del techo y la pared de la envolvente del modelo, lo cual define ocho casos de estudios presentados en la Tabla 9.

9.1. Análisis resultados casos evaluados

El análisis consiste en evaluar el comportamiento de la temperatura interna del espacio y las temperaturas de las caras de la envolvente y cuerpo traslúcido, con base en las premisas de

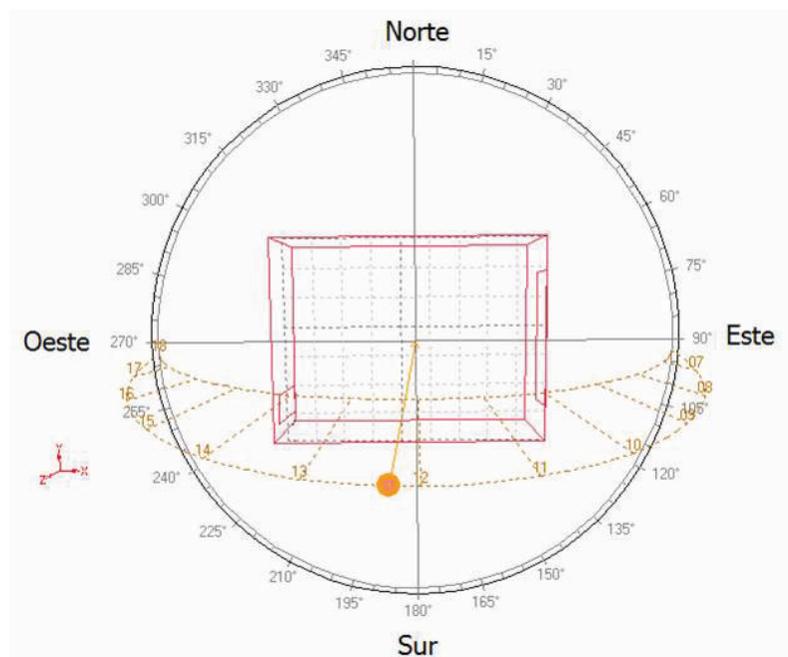


Fig. 6. Orientación del espacio a modelar de acuerdo a la trayectoria del sol.

Tabla 9. Casos a estudiar para evaluación térmica del espacio.

	Techo	Pared
CASO 1	Tabelón de arcilla sin impermeabilizar	Bloque hueco de arcilla
CASO 2	Tabelón de arcilla impermeabilizado	Bloque hueco de arcilla
CASO 3	Tabelón de arcilla sin impermeabilizar	Bloque hueco de concreto
CASO 4	Tabelón de arcilla impermeabilizado	Bloque hueco de concreto
CASO 5	Losa de concreto sin impermeabilizar	Bloque hueco de arcilla
CASO 6	Losa de concreto impermeabilizada	Bloque hueco de arcilla
CASO 7	Losa de concreto sin impermeabilizar	Bloque hueco de concreto
CASO 8	Losa de concreto impermeabilizada	Bloque hueco de concreto

simulación lo que permitirá verificar si las transmitancias térmicas de los cuerpos opacos (techo y pared) son las adecuadas.

Para realizar la evaluación de los casos, de acuerdo a la rutina de cálculo se determinan primero los valores de las transmitancias térmicas de los cuerpos opacos y translucidos con los materiales que los componen, utilizando para ello la ecuación 1.

U ($W/m^2\text{°C}$) se calcula como:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n}} \quad (1)$$

Donde:

h_0 es el coeficiente de convección de aire exterior; para muros y ventanas se asume $34,06 W/m^2\text{°C}$, para techos se asume $17,03 W/m^2\text{°C}$.

h_i es el coeficiente de convección aire interior; para muros y techo se asume $9,36 W/m^2\text{°C}$, para ventanas se asume $9,08 W/m^2\text{°C}$, ambos en presencia de aire quieto.

k_n es la conductividad térmica ($W/m^2\text{°C}$) de la capa n de material del muro, techo o ventana.

e_n es el espesor (m) de la capa n de material del muro, techo o ventana.

h_c es el coeficiente de calor del aire interior por convección ($W/m^2\text{°C}$) para espacios de aire, verticales y horizontales.

En la Tabla 10, se presentan los valores de las transmitancias térmicas obtenidos.

La evaluación de los casos se basa en analizar el comportamiento de las temperaturas cada hora para las 24 horas del día, desde la hora 1:00 hasta la hora 24:00, las temperaturas obtenidas para los Casos 1, 2, 3 y 4 en general son parecidos los valores son como los presentados en la Tabla 11.

Teniendo como referencia los resultados presentados en la Tabla 11, se tiene que:

1. **Casos 1 y 2:** la temperatura interna del caso 1 en promedio en el mes de enero es $0,07\text{°C}$ menor que en el caso 2 y la

Tabla 10. Transmitancias térmicas cuerpos translucidos y opacos.

Cuerpo	Componente	Material	Transmitancia ($W/m^2\text{°C}$)
Traslúcido	Ventana	Vidrio	6,91
Opaco	Techo	Tabelón arcilla sin impermeabilizar	2,86
Opaco	Techo	Tabelón arcilla impermeabilizado	2,82
Opaco	Techo	Losa concreto sin impermeabilizar	3,35
Opaco	Techo	Losa concreto impermeabilizada	4,53
Opaco	Pared o muro	Bloque hueco de arcilla	2,02
Opaco	Pared o muro	Bloque hueco de concreto	2,10

Tabla 11. Resultados del Caso 1.

Hora/ T(°C)	ENERO			SEPTIEMBRE		
	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}
01:00	28,12	0,00	0,00	30,96	0,00	0,00
02:00	27,74	24,46	23,49	30,69	26,76	25,81
03:00	27,47	24,26	23,29	30,42	26,56	25,61
04:00	27,21	24,06	23,09	30,16	26,36	25,41
05:00	26,80	23,96	22,99	29,91	26,26	25,31
06:00	26,52	23,86	22,89	29,75	26,15	25,21
07:00	26,25	25,12	24,16	29,60	28,32	27,37
08:00	26,14	28,76	27,81	29,56	32,31	31,37
09:00	26,35	32,99	32,05	29,65	36,64	35,72
10:00	26,77	36,78	35,86	30,03	40,60	39,70
11:00	27,45	39,55	38,63	30,44	43,40	42,51
12:00	28,13	40,89	39,98	31,02	44,65	43,77
13:00	28,77	40,62	39,72	31,44	44,37	43,49
14:00	29,40	39,04	38,14	31,83	42,66	41,78
15:00	29,61	36,44	35,53	32,19	39,99	39,10
16:00	29,80	33,42	32,51	32,26	36,66	35,77
17:00	29,80	30,30	29,38	32,31	33,40	32,50
18:00	29,80	28,16	27,22	32,24	30,55	29,64
19:00	29,66	27,46	26,52	32,06	29,86	28,94
20:00	29,38	26,86	25,91	31,90	29,26	28,33
21:00	29,13	26,36	25,41	31,72	28,66	27,73
22:00	28,73	25,86	24,90	31,55	28,16	27,22
23:00	28,47	25,46	24,50	31,29	27,76	26,82
24:00	28,21	25,06	24,10	31,03	27,36	26,42

temperatura interna en promedio en el mes de septiembre es 0,01°C mayor, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 1 es 27,08°C lo cual es menor a los 27,15°C del mes de enero para el caso 2. Entre las temperaturas de inicio y fin en los meses de enero en promedio la diferencia es de 0,08°C y en septiembre de 0,07°C en cada caso.

2. **Casos 3 y 4:** señalan que la temperatura interna del caso 3 en el mes de enero en promedio es 0,03°C mayor que en el caso 4 y la temperatura interna en promedio en el mes de septiembre son iguales, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 3 es 27,29°C lo cual es mayor a los 27,27°C del mes de enero para el caso 4, una diferencia de 0,02°C. A parte las

temperaturas de inicio y fin en los meses de enero en promedio la diferencia es de 0,02 °C y en septiembre de 0 °C en cada caso.

De los resultados de los casos 1, 2, 3 y 4, las temperaturas del muro y techo son iguales para todos los casos y de la Tabla 12 se tiene que las temperaturas iniciales y finales de convergencia están en el mismo valor en los diferentes casos, las diferencias por aumento o disminución no son significativas, lo que indica que el cambio del material de construcción de los muros y techos no tiene mucha influencia en los resultados.

Las temperaturas obtenidas para los casos 5, 6, 7 y 8 en general son parecidos; los valores son como los presentados en la Tabla 13.

Tabla 12. Temperatura de inicio y final de la convergencia para los casos 1, 2, 3 y 4.

T(°C)/mes	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
$T_{inicial}$	28,12	30,96	28,19	30,95	28,28	31,15	28,24	31,11
T_{final}	28,21	31,03	28,27	31,02	28,26	31,15	28,23	31,11

Tabla 13. Resultados del Caso 5.

Hora/ T(°C)	ENERO			SEPTIEMBRE		
	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}	$T_{interna}$	T_{muro}	T_{techo}
01:00	28,25	0,00	0,00	31,22	0,00	0,00
02:00	27,96	24,46	23,49	30,95	26,76	26,81
03:00	27,76	24,26	23,29	30,75	26,56	25,61
04:00	27,56	24,06	23,09	30,55	26,36	25,41
05:00	27,25	23,96	22,99	30,36	26,26	25,31
06:00	26,95	23,86	22,89	30,18	26,15	25,21
07:00	26,75	25,12	24,16	30,00	28,32	27,37
08:00	26,66	28,76	27,81	29,90	32,31	31,37
09:00	26,82	32,99	32,05	29,97	36,64	35,72
10:00	27,13	36,78	35,86	30,26	40,60	39,70
11:00	27,47	39,55	38,63	30,57	43,40	42,51
12:00	27,99	40,89	39,98	31,01	44,65	43,77
13:00	28,66	40,62	39,72	31,33	44,37	43,49
14:00	29,13	39,04	38,14	31,63	42,66	41,78
15:00	29,29	36,44	35,53	31,90	39,99	39,10
16:00	29,44	33,42	32,51	32,05	36,66	35,77
17:00	29,44	30,30	29,38	32,09	33,40	32,50
18:00	29,44	28,16	27,22	32,04	30,55	29,64
19:00	29,34	27,46	26,52	31,90	29,86	28,94
20:00	29,13	26,86	25,91	31,85	29,26	28,33
21:00	28,94	26,36	25,41	31,71	28,66	27,73
22:00	28,73	25,86	24,90	31,59	28,16	27,22
23:00	28,53	25,46	24,50	31,38	27,76	26,82
24:00	28,34	25,06	24,10	31,19	27,36	26,42

Teniendo como referencia los resultados presentados en la Tabla 13, se tiene que los:

Casos 5 y 6, la temperaturas interna promedio del caso 5 en el mes de enero es 0,03°C mayor que en el caso 6 y las tempera-

turas internas promedio en el mes de septiembre son iguales, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 5 es 28,21°C lo cual es mayor a los 28,18°C del mes de enero para el caso 6. A parte el promedio de las temperaturas de inicio y fin de convergencia

Tabla 14. Temperatura de inicio y final de la convergencia para los casos 5, 6, 7 y 8.

T(°C)/mes	CASO 5		CASO 6		CASO 7		CASO 8	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
$T_{inicial}$	28,25	31,22	28,29	31,15	28,37	31,28	28,39	31,22
T_{final}	28,34	31,19	28,23	31,22	28,31	31,23	28,33	31,25

en los meses de enero la diferencia es de 0,04°C y en septiembre de 0,02°C en cada caso.

Casos 7 y 8, las temperaturas internas promedio del caso 7 en el mes de enero es 0,02°C menor que en el caso 8 y las temperaturas internas promedio en el mes de septiembre del caso 7 es 0,03°C menor que en el caso 8, el promedio de la temperatura confort en las horas que se presenta en el mes de enero para el caso 7 es 27,54°C lo cual es menor a los 27,56°C del mes de enero para el caso 8. El promedio de las temperaturas de inicio y fin de convergencia en los meses de enero la diferencia es de 0,02°C y en septiembre de 0,02°C en cada caso.

De los resultados de los casos 5, 6, 7 y 8, se observa que las temperaturas del muro y techo son iguales para todos los casos, de la Tabla 14 se tiene que las temperaturas iniciales y finales de convergencia están en el mismo valor en los diferentes casos, las diferencias por aumento o disminución no son significativas, lo que indica que el cambio del material de construcción de los muros y techos no tiene mucha influencia en los resultados.

En general los resultados obtenidos en los diferentes casos señalan que el comportamiento del espacio es parecido con los diferentes materiales evaluados. Por lo que de acuerdo a la diferencia en aumento o disminución con base en el promedio de temperatura interna, confort y temperaturas de inicio y fin en los meses en, el espacio se comporta igual en el mes de menos frío o de más calor con o sin impermeabilización de techo, el aumento de la temperatura de un mes con respecto a otro en ambos casos se debe a que las temperaturas en el mes de enero son más bajas que en el mes de septiembre.

9.2. Cálculo del retardo térmico y amortiguamiento de los casos evaluados

Para determinar si los materiales son apropiados a la zona bioclimática en estudio, una vez evaluado el comportamiento de las temperaturas internas, techo y muro del espacio en cada caso, se debe evaluar la inercia térmica. El retardo térmico (desfase) y amortiguamiento (decremento) se determino mediante la grafica de las temperaturas externas e internas para los diferentes casos; el desfase horario entre los dos máximos o los dos mínimos es el retardo térmico, mientras que la relación entre las dos amplitudes (A_{int}/A_{ext}) es el amortiguamiento (véase Fig. 7). Se dice que un material tiene más o menos inercia térmica cuando mayores o menores son su retardo y amortiguación.

En la gráfica de la Fig. 7 se presenta a manera de ejemplo cómo se obtiene el retardo térmico y amortiguamiento utilizando para ello el mes de enero del caso 4, las demás graficas no se presentan para cada caso ya que los resultados, en general son iguales.

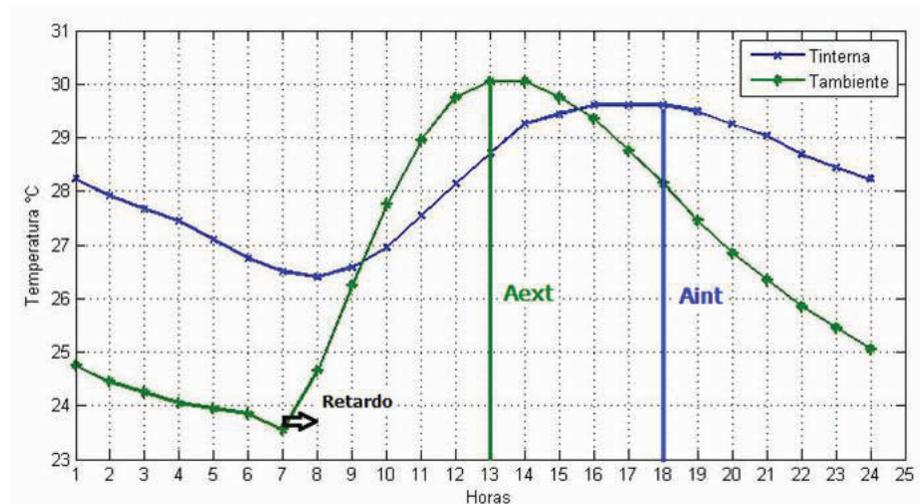


Fig. 7. Retardo térmico y amortiguamiento Caso 4 mes de enero.

Tabla 15. Retardo y amortiguamiento casos 1, 2, 3 y 4.

T(°C)/mes	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
Retardo (horas)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Amortiguamiento	0,996	0,991	0,998	0,990	0,991	0,987	0,990	0,986

Tabla 16. Retardo y amortiguamiento casos 5, 6, 7 y 8.

T(°C)/mes	CASO 5		CASO 6		CASO 7		CASO 8	
	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE	ENERO	SEPTIEMBRE
Retardo (horas)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Amortiguamiento	0,984	0,984	0,981	0,986	0,980	0,983	0,981	0,984

De la gráfica de la Fig.7, se tiene que el retraso térmico es de 1 hora y de la relación de A_{int}/A_{ext} el amortiguamiento es 0,990.

De acuerdo a lo presentado en las tablas 15 y 16, se observa que el retardo térmico es igual en los meses en estudio para los diferentes casos, su valor es 1, lo que indica que es una construcción ligera de rápida respuesta al cambio exterior; los amortiguamientos térmicos, tal como se muestra en la Tabla 15 para los casos 1, 2, 3 y 4, son en general parecidos, con un promedio de 0,991; para los casos 5, 6, 7 y 8, Tabla 16, en general también son parecidos, con un promedio de 0,982; como estos en ambos casos son valores bajos (0,991 y 0,982), esto indica que las temperaturas internas son estables, lo cual es cierto por los resultados obtenidos en cada caso. Aunque la relación entre el amortiguamiento y el desfase en los materiales no es lineal, estos si son directamente proporcionales, cuanto mayor es el desfase mayor es el amortiguamiento, cosa que efectivamente se observa en los resultados calculados.

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos, el comportamiento de las temperaturas (internas, del techo y del muro) y la evaluación de la inercia térmica (retardo y amortiguamiento térmico) indican que si la selección del material queda restrin-

gida a los materiales evaluados, no hay razones bioclimáticas para preferir uno de otro, por lo que sería interesante realizar un trabajo de investigación dedicado a analizar la posible sustitución de estos materiales por otros de mejores características, considerando los aspectos de contribución al confort, costo, disponibilidad, etcétera.

Por otro lado, en los climas cálidos húmedos con muy baja oscilación térmica diaria, como es el caso del clima de Porlamar, se requiere mejorar las condiciones de confort, teniendo como recursos efectivos aquellos que garanticen el movimiento natural o artificial del aire y el control de la radiación directa. Siendo Porlamar una ciudad donde hay irradiancia solar significativa, debe disponerse de dispositivos de protección solar en las ventanas, a parte de la mejor orientación del espacio, lo cual debería tenerse presente en el diseño. La conveniencia del uso de protectores solares fue demostrada por la autora de este trabajo en un artículo presentado Congreso COPIMERA 2013 Santa Cruz - Bolivia [8], en el cual se calcularon los ángulos más eficientes que deben tener los aleros necesarios en las edificaciones de la ciudad de Porlamar, de acuerdo a la orientación de las caras para los dos semestres del año en estudio en base a la mascarilla de sombreado. La Tabla 17 presenta los resultados obtenidos en dicho estudio.

Tabla 17. Ángulo más eficiente del alero [8].

	CARA SUR	CARA NORTE	CARA OESTE	CARA ESTE
Ángulo	40°	40° y 50°	20°	20°

Aunque los resultados señalan que en Porlamar se puede utilizar cualquiera de las combinaciones de los materiales presentes en los diferentes casos evaluados sin que exista mayor diferencia en los resultados obtenidos y sin que se pueda lograr alcanzar la temperatura de confort durante todo el año, para establecer el indicador energético se calculó también el valor de la transmitancia necesario para obtener un valor de referencia que indique el ahorro de energía, planteándose además la reducción del factor de protección solar (factor de sombra del vidrio), lo cual se logra comparando la ganancia de calor total (Q_{total}) con o sin el ajuste de la transmitancia.

Debido a que los resultados obtenidos en la evaluación de los casos son similares, se escoge como ejemplo el caso 4, dado que la similitud de los resultados anteriormente obtenidos indican que si en este caso se alcanza un comportamiento que permita definir una condición adecuada, también ocurrirá esto para los demás casos.

9.3. Ajuste de la transmitancia térmica

Para ajustar la transmitancia térmica se tiene en consideración que todo proyecto deberá justificar el valor U_G (coeficiente de transmisión térmica global del edificio), que es el valor de U teniendo en cuenta todos los elementos de la edificación en los que hay transmisión de calor (ventanas, muros y techos). Esto permitirá establecer una norma de las condiciones térmicas exigibles a los edificios por lo que:

1. Cuanto mayor sea el valor de U_G , peor será el cerramiento desde el punto de vista térmico.
2. Cuanto mayor sea el valor de U , peor es el componente pues es menos aislante.
3. Cuanto mayor sea el valor de la conductividad térmica, peor es el material desde el punto de vista térmico.

De acuerdo a los resultados obtenidos se ajustaron las transmitancias térmicas de muro y techo a los valores presentados en la Tabla 18 y el factor de protección solar se redujo de 0,9 a 0,6, valor considerado como el óptimo teniendo en cuenta que:

- Factores de sombra muy bajos corresponden a vidrios que permiten muy poco paso de luz, lo que provoca un aumento del consumo en iluminación.

Tabla 18. Transmitancias térmicas.

Componente	Transmitancia (W/m ² °C)	Transmitancia ajustada (W/m ² °C)
Techo	2,82	0,60
Pared o muro	2,02	0,60

- Factores de sombra óptimos. El valor del factor de sombra que minimiza el consumo dependerá del porcentaje de vidrio y el coeficiente de transmisión del vidrio empleado en el edificio, pero el rango óptimo parece estar en torno a 0,6.
- Factores de sombra altos. Los vidrios muy transparentes tienen una gran ganancia de radiación solar, lo que provoca un aumento del consumo en equipos de aire para refrigeración.

En las figuras 8 y 9 se presenta el comportamiento de la carga térmica de acuerdo al ajuste de la transmitancia térmica y factor de sombreado.

En la Fig. 8 se observa que la ganancia de calor del espacio está de acuerdo al comportamiento de la temperatura ambiente y a la posición del sol en la bóveda celeste. La ganancia de calor más alta se produce a las 12:00 horas para el mes de enero y a las 13:00 horas para el mes de septiembre; a partir de las 13:00 horas el espacio empieza a perder calor.

En la Fig. 9 se observa que la ganancia de calor del espacio está de acuerdo al comportamiento de la temperatura ambiente y a la posición del sol en la bóveda celeste. La ganancia de calor más alta se produce a las 12:00 horas tanto el mes de enero como para septiembre y a las 13:00 horas para el mes de septiembre; a partir de las 13:00 horas el espacio empieza a perder calor.

De las Fig. 8 y 9 se concluye que para los meses en estudio en ambos casos (con y sin ajuste de la transmitancia térmica), la mayor carga térmica (Q_{total}) ocurre entre las 12:00 y 13:00 horas, presentándose mayor carga cuando no se ha ajustado la transmitancia térmica.

De la Tabla 19, donde se presentan las ganancias de calor máximo para cada mes del caso evaluado, se tiene que con el ajuste de la transmitancia térmica para el mes de enero se reduce la carga térmica aproximadamente en un 10% y para el mes de septiembre en un 10,37%, por lo que en promedio el ajuste permite reducir la carga térmica aproximadamente en un 10% en las horas de mayor incidencia de radiación solar durante todo el año.

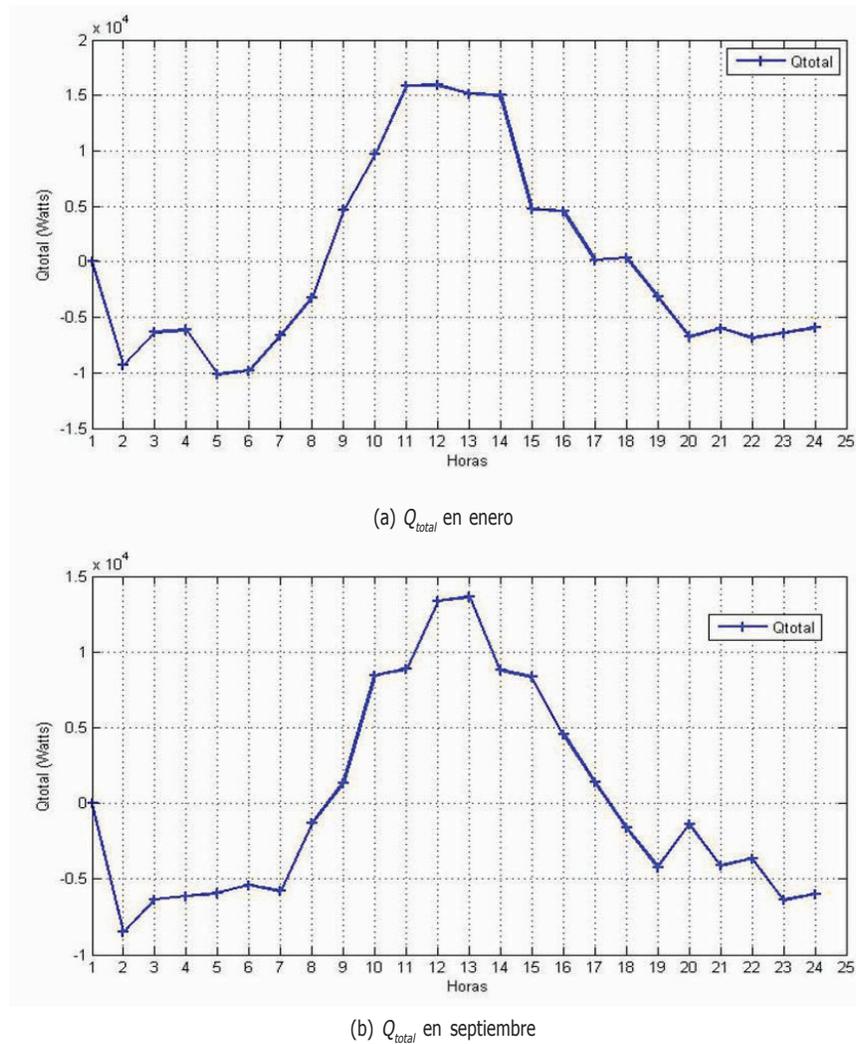


Fig. 8. Comportamiento Q_{total} Caso 4 con ajuste de la transmitancia.

Los resultados obtenidos para el ajuste de las transmitancias térmicas y el factor de sombreado, teniendo presente que el modelo de espacio es un diseño extremo, indican la importancia de definir el material de construcción adecuado a la zonificación bioclimática, lo cual unido a un diseño ajustado a la condición climática del lugar [8], permitirá minimizar la energía que se queda en la edificación, considerada como muerta, lo que contribuiría a disminuir el uso de sistemas activos de climatización bien sea para dar calor o enfriar, por consiguiente ahorrar energía. En Porlamar el establecimiento del indicador energético más las estrategias de diseño bioclimático basadas en orientación adecuada del espacio, ventilación y protección solar y no en enfriamiento, mantendrán el confort a parte de ahorrar energía.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente y teniendo que las transmitancias térmicas de techo y pared o muro son:

$$U_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$$U_{pared \text{ o muro}} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

Considerando una temperatura de diseño para la ciudad de Porlamar de $29,1^{\circ}\text{C}$ (véase Tabla 2), se tiene que el valor aproximado como indicador energético, indica el calor transmitido para una temperatura determinada, para techo y pared queda definido como transmitancia térmica global de techo (TTG_{techo}) y transmitancia térmica global de pared o muro ($TTG_{pared \text{ o muro}}$) determinado de la siguiente manera:

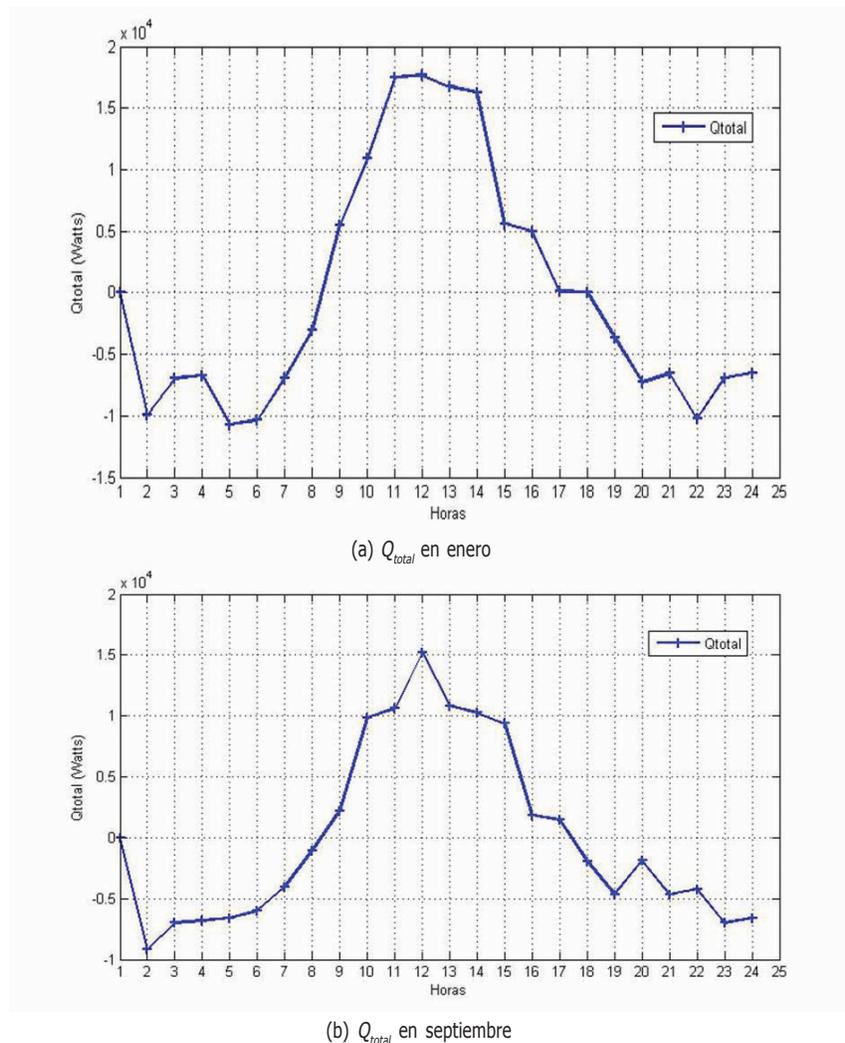


Fig. 9. Comportamiento Q_{total} Caso 4 sinajuste de la transmitancia.

$$TTG_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2\text{°C} \times 29,1\text{°C} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

$$U_{techo} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

Como U_{techo} y $U_{pared \text{ o } muro}$ son iguales se tiene que:

$$TTG_{pared \text{ o } muro} = TTG_{techo} = 17,46 \text{ w/m}^2$$

Los valores determinados de TTG_{techo} y $TTG_{pared \text{ o } muro}$ son aproximaciones del indicador energético para el techo y paredes, asociado de acuerdo al cálculo a la temperatura de diseño. Si se comparan los valores obtenidos para Porlamar con los establecidos para la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia (la ciudad de Venezuela de mayor consumo en sistemas activos de climatización, factor que representa aproximadamente el 76% de la facturación en el sector residencial marabino [9]) presentes en la

"Ordenanza sobre Calidad Térmica de las Edificaciones en el Municipio Maracaibo Edo Zulia Venezuela" de 2005, definidos para el techo como $TTG_{techo} \leq 17,50 \text{ w/m}^2$ y para la pared o muro ($TTG_{pared \text{ o } muro}$) $TTG_{pared \text{ o } muro} \leq 42 \text{ w/m}^2$ para una temperatura de diseño de 34°C y una temperatura de confort de 25°C [9], teniendo en cuenta la condición climática de la ciudad de

Tabla 19. Ganancias máximas de calor Q_{total}^t (w).

MES	sin ajuste	con ajuste
ENERO	17648,00	15924,00
SEPTIEMBRE	15192,00	13618,00

Maracaibo, cuya zonificación bioclimática es caliente húmedo a cálido húmedo [5], de acuerdo a lo establecido por el IDEC, con una temperatura promedio entre 27°C y 28°C [5], los valores obtenidos para la ciudad de Porlamar son aceptables.

10. Conclusiones

En Venezuela no existe instrumento legal a nivel nacional o estatal que regule la calidad térmica de las edificaciones y el confort de sus ocupantes. El único existente es el publicado como "Ordenanza sobre Calidad Térmica en Edificaciones en el Municipio Maracaibo" por la Alcaldía de la Ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, en enero de 2005, el cual sirve de referencia a este trabajo, pero solo tiene alcance a nivel local en dicho municipio. En el año 2015 el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) llevó a cabo el proyecto de Reglamento Técnico para la Certificación en Eficiencia Energética en Edificaciones, se materializó con el borrador de la primera fase del Reglamento quedo en iniciarse la consulta pública en aras de alcanzar: el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en las edificaciones.

Se establece la relación $W/m^2°C$, como indicador energético adecuado a la Zona Bioclimática de Porlamar, tomando en cuenta el patrón de variaciones de las temperaturas externas, el modelo de irradiación solar, los datos ambientales básicos, y el patrón de ocupación, o patrón de uso.

Los resultados del modelo propuesto, evaluado en ocho casos, con las premisas establecidas y los diferentes materiales de construcción usados en Porlamar, señalan que el comportamiento del espacio depende de la irradiancia global y la orientación de este; que este es igual, lo que indica que si la selección del material queda restringida a los materiales evaluados, no hay razones bioclimáticas para preferir uno de otro, por lo que sería un buen tema para continuar la investigación evaluar que pasaría si se usasen otros materiales con mejores características.

Los resultados obtenidos indican que siendo la ciudad de Porlamar una ciudad donde hay niveles de irradiancia solar significativa debe disponerse de dispositivos de protección solar, lo cual debería tenerse presente en el diseño.

La transmitancia térmica ajustada es la adecuada para la zonificación bioclimática de la ciudad de Porlamar, aunque no se obtiene la temperatura de confort en el interior del espacio

se logra tener un comportamiento térmico que indica reducción de la carga térmica en un 10%.

El material de construcción a utilizar es esencial, y si las características de este no son adecuadas, unido a un diseño no ajustado a la condición climática del lugar, la energía que se queda en la edificación, considerada como muerta, contribuye al aumento del uso de sistemas activos para llegar al confort térmico bien sea por calor o frío.

De acuerdo al análisis se tiene que la transmitancia térmica para Porlamar son:

$$U_{techo} = 0,60 \text{ w/m}^2°C$$
$$U_{pared \text{ o muro}} = 0,60 \text{ w/m}^2°C$$

Como estos valores son distintos a los que se usan, desde este punto de vista, los materiales en uso no son adecuados.

Recomendaciones

Independientemente de la definición del indicador energético establecido para Porlamar, se recomienda realizar un estudio de las condiciones climáticas de las diferentes zonas de la isla para establecer su zonificación bioclimática, debido a la diversidad de micro climas presentes en la isla.

Se recomienda realizar el análisis adoptando modelos adecuados de acuerdo a las estrategias de diseño bioclimático utilizando para ello un programa que permita cuantificar el consumo de energía de la edificación.

Se deben realizar estudios del crecimiento urbanístico de las diferentes zonas de la Isla de Margarita de manera de contar con un ordenamiento territorial adecuado que permita establecer urbanismo con espacios habitacionales diseñados tomando en cuenta el concepto de arquitectura bioclimática lo que permitirá aprovechar el potencial solar y eólico que tiene la isla.

Para la construcción de urbanismos bioclimáticos se deberá contar con la normativa correspondiente al ahorro de energía en edificaciones y características de los materiales de construcción, para ello se deberá contar con los datos climáticos necesarios para realizar la evaluación de los bioclimas presentes.

Realizar el estudio de nuevos materiales de construcción que tengan un valor U cercano al de 0,6 lo cual sería deseable.

Referencias

- [1] H. Granados, *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo: eficiencia energética*, vol. 3, España, Consejo Superior de Arquitectos España, 2006. Disponible en: http://www.academia.edu/7283407/PRINCIPIOS_DE_DISEÑO_BIOCLIMÁTICO_UBICACIÓN_ORIENTACIÓN_Y_FORMA_DEL_EDIFICIO
- [2] L. Salazar, "Establecimiento de indicadores en Porlamar isla de Margarita en base al comportamiento térmico del material de construcción en zona bioclimática cálida," tesis de doctorado, Decanato de Estudios de Postgrado, Coordinación de Postgrado en Ingeniería Eléctrica, Caracas, Venezuela, 2014.
- [3] D. Morillón. *Enfoque bioclimático del análisis térmico de edificios*. Diplomado Eficiencia Energética. Instituto de Ingeniería, 2012, UNAM, Ciudad de México.
- [4] L. Rosales, "Zonas climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela," *Tecnología y Construcción*, vol. 23, núm.1, pp. 45-60, enero, 2007. Disponible en: http://190.169.94.12/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2641/2532.
- [5] Norma ASHRAE 55/1992 *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Disponible en: <https://www.ashrae.org/>.
- [6] F. Tudela, *Ecodiseño*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México, 1982.
- [7] D. Samano, D. *Morales Carga Térmica en un Edificio con Almacenamiento Térmico*. Laboratorio de Energía Solar. Universidad Autónoma de México. México, Temixco, Morelos.
- [8] L. Salazar, V. Guzman, & D. Morillón, "Evaluación de la Eficiencia del Control Solar en la Ciudad de Porlamar - Isla de Margarita". COPIMERA 2013. Santa Cruz, Bolivia.
- [9] Ordenanza sobre Calidad Térmica de las Edificaciones en el Municipio Maracaibo, Estado Zulia Venezuela, 15 de marzo 2005.

BIBLIOGRAFÍA LATINOAMERICANA

BIBLAT

Portal especializado en revistas científicas y académicas publicadas en América Latina y el Caribe

<http://biblat.unam.mx/es/>

Científica

indizada en

Latindex

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

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc

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

Publindex

Índice Bibliográfico Nacional
Revistas Científicas Homologadas
del Colciencias.
<http://scienti.colciencias.gov.co:8084/publindex/>

Análisis tomográfico de la superficie acetabular en la displasia del desarrollo de la cadera en niños

Benjamín Araujo-Monsalvo¹
Luis Manuel Hernández-Simón¹
Víctor Manuel Domínguez-Hernández^{2,3}
Víctor Manuel Araujo-Monsalvo²
Ramiro Cuevas-Olivo⁴
Alejandro Trujillo-Satow⁴
Elisa Martínez-Coria⁵
Martín Luna-Méndez⁵

¹Instituto Politécnico Nacional
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
MÉXICO.

Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra

²Laboratorio de Biomecánica

⁴Servicio de Ortopedia Pediátrica

⁵Servicio de Tomografía Computada

Calz. México-Xochimilco No. 289, Col. Arenal de Guadalupe,
Delegación Tlalpan, Ciudad de México, CP 14389.
MÉXICO.

³Tecnológico de Monterrey
Campus Ciudad de México.
MÉXICO.

correos electrónicos (emails): arauomb@yahoo.com.mx
lmhernan10@hotmail.com
vdominguez@inr.gob.mx
vicaraujom@yahoo.com.mx
ramirocuevas@yahoo.com.mx
drtrujillosatow@yahoo.com
emartinez@inr.gob.mx
martyn.luna@hotmail.com

Recibido 13-12-2016, aceptado 28-04-2017.

Resumen

La displasia del desarrollo de la cadera es una patología de etiología multifactorial, donde debemos comprender la anatomía, las anomalías del acetábulo, así como su reconstrucción y el análisis de las superficies acetabulares por medio de

técnicas de imagen. Por lo que se requiere realizar un estudio tomográfico en estos pacientes, con el objetivo de analizar la superficie del acetábulo y la posible recuperación de la cavidad acetabular operada. Se analizaron tomografías de 10 pacientes por medio de un software de diseño. Se obtuvo diferencia significativa (operado vs sano), en pacientes de tres años de edad, 15.1 +/- 8.4 mm más de superficie acetabular. Con dos años de postquirúrgico, la superficie acetabular media del lado operado fue 14.3 +/- 10.7 mm mayor respecto al sano. A los cuatro años de postquirúrgico, el lado operado tuvo 16.0 +/- 13.1 mm más respecto al sano. Al aumentar la edad de cirugía, la diferencia de la superficie acetabular fue disminuyendo significativamente. Es claro que la técnica de medición propuesta es capaz de identificar diferencias entre superficies acetabulares (operado y sano). El seguimiento clínico de estos pacientes podrá validar los resultados obtenidos y servirá para poder estimar la eficacia de la técnica quirúrgica aplicada.

Palabras clave: displasia de la cadera, tomografía, reconstrucción tridimensional, volumen acetabular.

Abstract (Tomographic Analysis of the Acetabular Surface in Developmental Dysplasia of the Hip in Children)

Developmental Dysplasia of the Hip is pathology of multifactorial etiology, where we must understand the anatomy, acetabular abnormalities, as well as its reconstruction and the analysis of the acetabular surfaces by means of imaging techniques. Therefore, a tomographic study is required in these patients, in order to analyze the surface of the acetabulum and the possible recovery of the operated acetabular cavity. CT scans of 10 patients were analyzed using design software. Significant difference (operated vs healthy) was obtained in patients of three years of age, 15.1 +/- 8.4 mm over acetabular surface. At two years postoperative, the mean acetabular surface of the operated side was 14.3 +/- 10.7 mm greater than the healthy one. At four years postoperative, the operated side had 16.0 +/- 13.1 mm more than the healthy one. As the age of surgery increased, the difference in acetabular surface area decreased significantly. It is clear that the proposed measurement technique is able to identify differences between acetabular surfaces (operated and healthy). The clinical follow-up of these patients will be able to validate the results obtained and will serve to estimate the efficacy of the surgical technique applied.

Index terms: hip dysplasia, tomography, three-dimensional reconstruction, acetabular volume.

1. Introducción

El ser humano es una entidad compleja, como tal tiene un conjunto de características que lo hace diferente en comparación con los otros seres humanos. La concepción biopsico-social del ser humano forma parte del pensamiento sistémico: una totalidad organizada por diversas entidades interrelacionadas e interdependientes entre sí [15].

Las enfermedades o padecimientos médicos afectan la salud de las personas, para su solución se han desarrollado técnicas y herramientas que al utilizarlas se disminuye el tiempo de respuesta. Estas han evolucionado hacia una transición, dirigida tanto a prolongar los años de vida, o sobrevida de un paciente, como al bienestar o calidad de vida relacionada con la salud [20].

Dentro de la gama de enfermedades músculo-esqueléticas del tronco (pelvis), se encuentra la *displasia del desarrollo de la cadera* (DDC) [2]. La displasia del desarrollo de la cadera, es una patología de etiología multifactorial, tanto por predisposición genética como por factores mecánicos intrínsecos y extrínsecos. En el cual el acetábulo, la cápsula articular y el fémur proximal, junto con sus músculos y ligamentos, se encuentran alterados [19].

La incidencia de la DDC a nivel mundial es de 1.5 por mil recién nacidos. En México, la incidencia de DDC es de 2 a 6 por mil nacidos vivos y es la primera causa de hospitalización en los departamentos de ortopedia pediátrica a nivel nacional [1].

Para su diagnóstico se tiene la exploración física intencionada mediante la prueba de Ortolani [2] y la maniobra de Barlow, que se realiza en los primeros meses de vida [1], [18].

La ecografía dinámica surge como una técnica de imagen para corroborar o descartar el diagnóstico observado en las maniobras. El ultrasonido ayuda al diagnóstico en los niños menores de cinco meses, pero la radiografía de la pelvis es más útil en lactantes y niños. La Artrografía, la Tomografía Computada y la Resonancia Magnética también pueden ser útiles [4], [15], [16].

El manejo quirúrgico de la displasia del desarrollo de la cadera luxada es técnicamente demandante y existen varias opciones quirúrgicas que han demostrado buenos resultados: la reducción cerrada (fallo del arnés de Pavlik), reducción abierta y osteotomía de ilíaco (osteotomía de Salter) [5], [17], acetabuloplastia de Pemberton o Chiari, osteotomías cotilo (acetabuloplastias); Shelf, Degas, Ganz, Klisic [3], [7], [12], [22].

Además de la DDC temprana, se tiene la DDC Inveterada, que se presenta en pacientes mayores de tres años de edad, quienes no

han recibido ningún tipo de tratamiento previo (conservador o quirúrgico) [6].

En los pacientes que presentan DDC inveterada, las dificultades y objetivos del tratamiento a los que se enfrenta el cirujano no son los mismos que en la DDC temprana, ya que existen cambios morfológicos y biomecánicos específicos [23].

En los niños mayores los músculos, tendones y cápsula articular de la cadera se tensan durante y después del tratamiento, lo cual puede inducir isquemia y necrosis avascular (NA) de la cabeza femoral [13].

Los pacientes con DDC inveterada son pacientes que presentan dolor y una disminución importante de la capacidad para desarrollar sus actividades cotidianas. Destinados a presentar una artrosis temprana de la cadera, lo cual terminará por disminuir su capacidad de llevar a cabo una vida adulta normal [14], [19].

Debido a la edad del paciente y su morfología, la tomografía axial computada surge como una opción para la visualización de manera tridimensional de la cadera [11], [19].

En la cual podemos observar y realizar una reconstrucción de esta. La ecografía o radiografía en este tipo de pacientes, solo permiten una visualización en dos dimensiones, en donde solamente se visualiza y se realizan mediciones referentes a los ángulos de la cavidad acetabular de la cadera [11], [19].

La visualización de la superficie acetabular de la cadera, mediante tomografía axial computada 3D, en pacientes mayores de tres años con displasia inveterada evidencia de manera más exacta la anatomía de esta, permitiendo así la reconstrucción tridimensional, provee información más detallada de la anatomía con displasia, pudiendo así ayudar a comprender mejor las anomalías en los niños [10], [11], [18], [21].

Por lo anterior, surge la necesidad de realizar tomografías axiales computadas (TAC 3D) de la cadera de pacientes con displasia del desarrollo de la cadera que ingresan al Instituto Nacional de Rehabilitación, con el objetivo de medir, analizar la totalidad de la superficie del acetábulo, así como contar con elementos propios del paciente para la mejora en el diagnóstico y tratamiento quirúrgico de este padecimiento.

2. Desarrollo

Se realizó un estudio piloto, el cual se basó en criterios internos del instituto para la selección de los pacientes. Los cuales fueron: pacientes de cualquier sexo mayor de tres años,

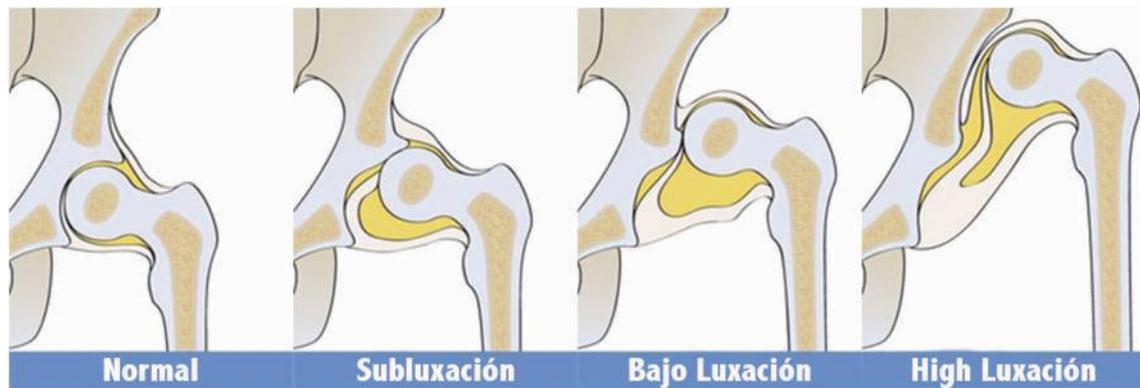


Fig. 1. Displasia del desarrollo de la Cadera [8].

con cadera luxada no traumática y displasia acetabular, sin tratamiento médico ni quirúrgico previo, e ingreso al protocolo de tratamiento con consentimiento informado firmado por sus tutores (véase Fig. 1).

Se seleccionaron diez pacientes mayores de tres años con displasia del desarrollo de la cadera, operados con técnica Dega modificada en el periodo de 2003-2006; en el Servicio de Ortopedia Pediátrica del Instituto Nacional de Rehabilitación.

Se revisaron las historias clínicas y los estudios tomográficos tridimensionales de la totalidad de los pacientes incluidos en el estudio. Este estudio se realizó utilizando imágenes obtenidas del sistema de información médica y telemedicina PACS-INR (*Picture and Communication System* del Instituto Nacional de Rehabilitación, Luis Guillermo Ibarra Ibarra).

El procedimiento quirúrgico consistió en miotomía del primer aductor, tenotomía de psoas por abordaje inguinal tipo Ludloff, diafisectomía varizante y desrotadora, reducción abierta por abordaje anterior de Smith-Petersen y acetabuloplastia tipo Dega, con seguimiento postoperatorio de dos años (véase Fig. 2).

Se realizaron tomografías computarizadas, con un equipo Multicorte GE Light Speed de 64 cortes (*General Electric Company*, Fairfield, CT, EEUU), área azul con estación de trabajo y visualizadores de imagen (véase Fig. 3).

Los criterios del estudio tomográfico consistieron en un estudio transversal, de estratificación interna (operado vs contralateral), descriptivo y de simulación diacrónica; de pacientes con cadera luxada no traumática y displasia acetabular unilateral operados con osteotomía Dega modificada (INR),

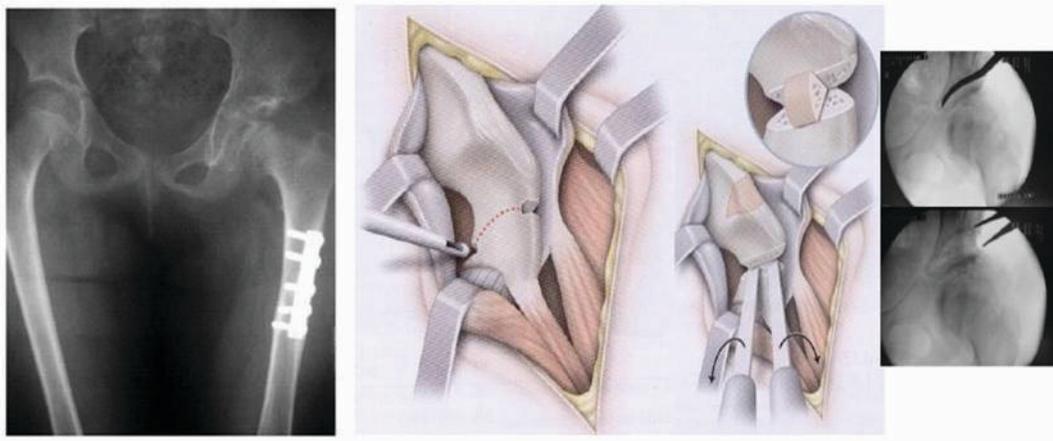


Fig. 2. Procedimiento quirúrgico realizado a los pacientes del Instituto Nacional de Rehabilitación [9].

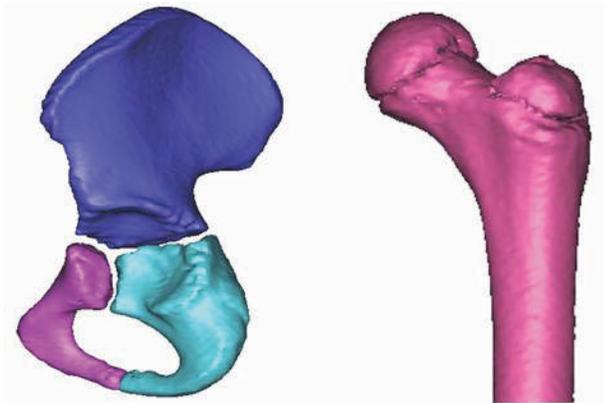


Fig. 3. Tomografía y reconstrucción tridimensional, *Software Mimic's Innovation Suite* (Materialise Inc. Leuven, Bélgica), versión 17.

edad mayor a tres años; con seguimiento postquirúrgico de dos años.

Se obtuvieron imágenes en formato DICOM a partir de un estudio tomográfico y se procesaron en el software *Mimic's Innovation Suite* (Materialise Inc. Leuven, Bélgica), versión 17. Se seleccionó y generó una máscara para el ilion, isquion y pubis; así como la cabeza femoral. Se realizó una reconstrucción tridimensional para seleccionar la zona de trabajo.

Por medio del software, se realizó la selección y edición de cada zona tridimensional (ilion, isquion y pubis; cabeza

femoral), para su limpieza y obtención de la superficie acetabular. Los parámetros de limpieza fueron seleccionados en conjunto con el médico especialista. Los límites y la zona de medición fue dada por el contacto de la cabeza femoral en cada parte de la pelvis.

Posteriormente, se delimitó la zona de contacto, y por medio del software se crearon líneas de medición para cada parte de la pelvis, las cuales se vaciaron en una base de datos (véase Fig. 4).

Las mediciones realizadas al acetábulo fueron recopiladas, y se desarrollaron pruebas estadísticas con el software *Statgraphics Centurion* (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, EEUU) versión 16.1.11, la prueba de Kolmogorov-Smirnov fue aplicada para determinar la distribución de los datos.

Se aplicó el modelo general lineal univariante para contrastar las medias de las diferencias entre lado operado vs sano (véase Tabla 1), a través de una ANOVA de dos factores ya que se tomó en cuenta simultáneamente el grupo de edad al momento de la cirugía y el grupo del tiempo de seguimiento a 2 y 4 años.

3. Resultados

Se obtuvieron las mediciones de superficie acetabular operado vs sano. (véase Tabla 2) Se observó diferencia significativa entre el acetábulo operado y el sano (edad de la cirugía) con valor $p=0.03$, en los pacientes con edad de tres años, se obtuvo una superficie postquirúrgica mayor en el acetábulo operado

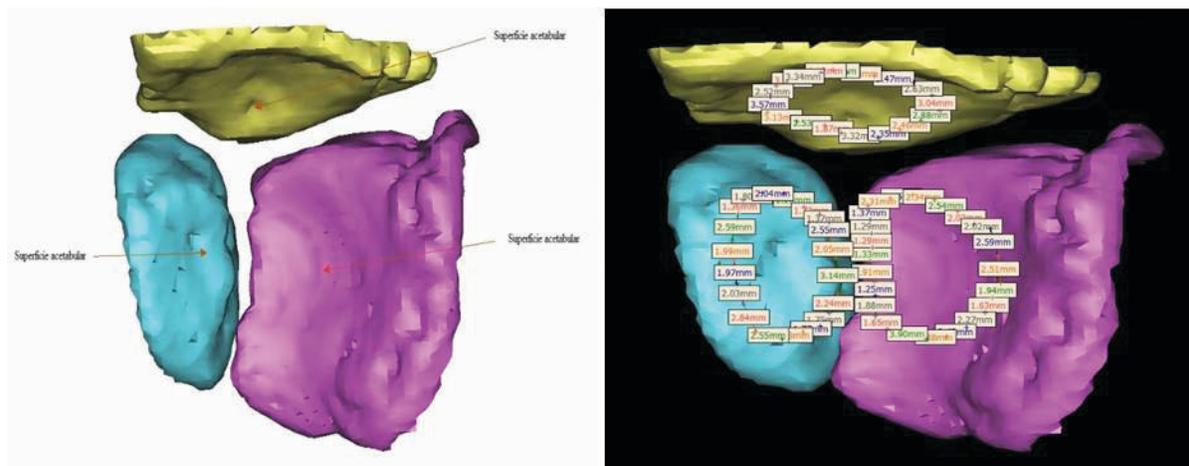


Fig. 4. Limpieza de la tomografía, para la medición de la superficie acetabular por medio del software. Creación de Puntos y Líneas. Medición de la superficie acetabular.

Tabla 1. Variables de estudios.

Variabes	Tipo	Medición	Operación
VI. Edad	Cuantitativa Discreta	años cumplidos	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
VI. Género	Cualitativa Nominal	masculino - femenino	M - F
VI. Lado	Cualitativa Nominal	izquierdo - derecho	I - D
VD. TAC 3D PO	Cuantitativa Discreta	superficie acetabular	mm

VI: Variable Independiente, VD: Variable Dependiente.

Tabla 2. Mediciones de superficie acetabular, operado vs sano (en mm²).

Cirugía	PS			PO			PS			PO		
	2 años			2 años			4 años			4 años		
	S1	S2	S3	O1	O2	O3	S1	S2	S3	O1	O2	O3
3 años	70	72	68	113	70	70	79	60	70	110	73	73
4 años	76	75	74	79	80	79	84	63	57	90	70	65
5 años	112	99	100	82	80	90	119	70	78	85	65	70
6 años	154			103			147			99		

S: Sano, O: Operado, Seguimiento: 2 años y 4 años, PS: Paciente sano, PO: Paciente operado.

respecto al acetábulo sano, con valor de 15.1 +/- 8.4 mm. A mayor edad del paciente, la superficie acetabular (operado vs sano) disminuye (véase Fig. 5).

Al tomar en cuenta el tiempo de seguimiento postquirúrgico y, simultáneamente, la edad de la cirugía (véase Tabla 3); en los niños que han cumplido 2 años de postquirúrgico y que

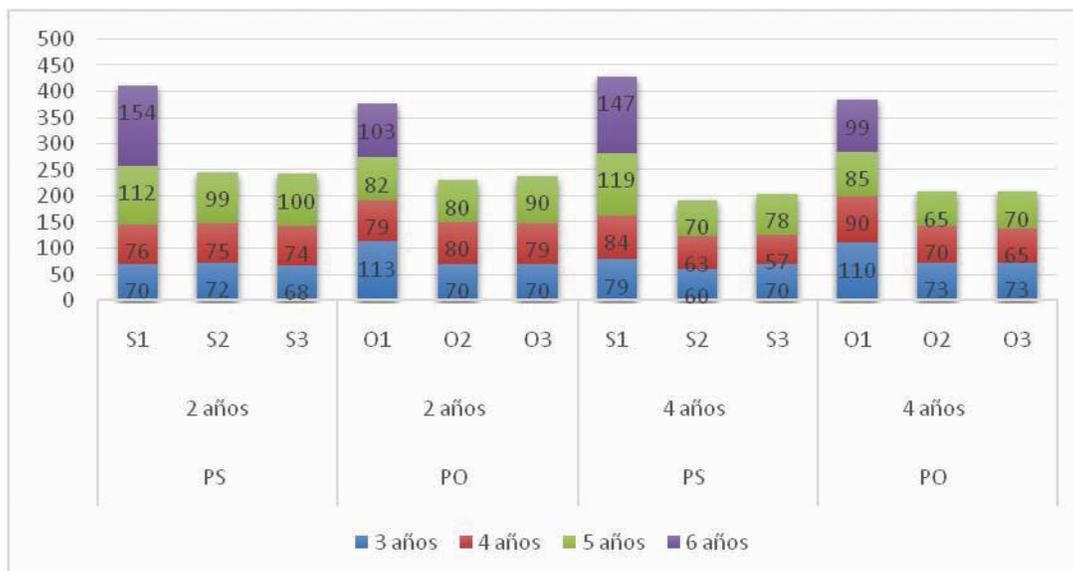


Fig. 5. Comparación de superficie acetabular (sano vs operado) (en mm²).

Tabla 3. Comparación de superficie acetabular (sano vs operado) (en mm²).

Cirugía (años)	Media	Error típico	IC 95% LS - LI	Sig. ^a	Diferencia de medias
3	15.167	8.487	-4.901 - 35.234	(1.000) (.148) (.066)	1. (19.333) (39.000) (70.167 ^b)
2	14.333 ^d	10.735 ^d	-11.051 - 39.717		
4	16.000 ^d	13.148 ^d	-15.089 - 47.089		

a. Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni,

b. Una estimación de la media marginal poblacional modificada (J),

c. Una estimación de la media marginal poblacional modificada (I).

Diferencia de medias: 1. 3 (4) (5) (6), 2. 4 (3) (5) (6), 3. 5 (3) (4) (6), 4. 6 (3) (4) (5).

d. Seguimiento postquirúrgico vs Edad de la cirugía. 2 (3) y 4 (3).

Solo se tomaron en cuenta valores positivos.

fueron operados a los 3 años de edad, la superficie acetabular media del lado operado fue 14.3 +/- 10.7 mm mayor respecto al sano, repitiéndose el patrón anterior: a mayor edad al momento de la cirugía, el volumen acetabular del lado operado va disminuyendo respecto al sano.

Es claro que en los paciente de hasta 4 años de edad, el patrón fue muy similar a lo antes dicho, pero con una tendencia a un mejor resultado en los niños que fueron operados a los 3 años de edad ya que a los 4 años de postquirúrgico, el lado operado tuvo 16.0 +/- 13.1 mm más respecto al sano.

Por otra parte, nótese claramente que en los niños de tres años de edad la mayor diferencia del lado operado respecto al sano no se diferenció significativamente al compararla (2 vs 4 años de postquirúrgico) ($p = 0.92$); lo mismo sucedió en los de 4 años de edad, al comparar los 2 vs 4 años de postquirúrgico ($p = 0.98$); en cambio, en los que fueron operado a los 5 años de edad, los que tuvieron 4 años de seguimiento ya tenían una superficie acetabular menor que aquellos con 2 años postquirúrgicos aunque la diferencia no fue significativa ($p = 0.70$).

4. Conclusiones

Los procedimientos radiológicos han sido utilizados para evaluar la orientación del acetábulo y considerados como el estándar en imagen de la cadera, aunque no proporcionan información suficiente en los planos sagital y transversal. Debido a lo anterior, los modelos tomográficos computarizados 3D,

surgen como opción de diagnóstico para evaluar las partes óseas de la pelvis, incluyendo ángulos de anteversión del acetábulo, así como la evaluación de la geometría acetabular y el análisis biomecánico.

La capacidad de reconstrucción por medio de tomografía computarizada 3D ha permitido la evaluación precisa de la gravedad de la displasia acetabular. Esta puede contribuir a la evaluación radiográfica preoperatoria, mediante la cual es posible diagnosticar el tipo y grado de deficiencia acetabular. En pacientes con DDC, la cirugía es requerida para lograr una congruencia satisfactoria entre la cabeza femoral y el acetábulo, para lo cual se requiere de un total conocimiento de la patología ósea de la DDC, y de su estructura 3D, para la planificación y selección de procedimientos quirúrgicos adecuados.

Los resultados encontrados muestran un cambio significativo al comparar la cadera sana y operada. Incrementándose esta superficie en un 40%, contrario a lo encontrado en pacientes de cinco y seis años de edad con seguimiento postquirúrgico, en donde esta disminuye.

Una de las principales limitaciones de este estudio es el reducido número de pacientes, sería conveniente contar con una muestra mayor de pacientes para tener más sensibilidad y obtener resultados que sean estadísticamente significativos, así como poder identificar los factores determinantes para un diagnóstico y tratamiento más eficaz.

Referencias

- [1] M. Aparicio, "¿A quién se le debe realizar un ultrasonido de cadera y por qué? Detección oportuna y algoritmos de tratamiento," *Rev Mex Ortop Ped*, vol. 15, núm. 1, pp. 9-13, 2013.
- [2] T. Bolaños, S. Cañón, J. Castaño, N. Duque, N. Franco, F. López, M. Pineda, & S. Ortega, "Caracterización de la población pediátrica con displasia del desarrollo de cadera en el Hospital Infantil," *Archivos de Medicina (Col)*, vol. 13, núm. 1, enero-junio 2013, pp. 31-40.
- [3] N. Ezirmik N., & K. Yildiz, "Salter innominate osteotomy or Pemberton pericapsular osteotomy in treatment of developmental dysplasia of hip," *Turk J Med Sci*, vol. 42, núm. 6, pp. 1058-1062, 2012.
- [4] A. Flores, & L. Castañed, "Tratamiento de la displasia del desarrollo de la cadera tipo Graf III y IV con el arnés de Pavlik," *Rev Mex Ortop Ped*, vol. 12, núm. 1, pp. 19-23, 2010.
- [5] E. Forlin, L. Munhoz, & D. Figueredo, "Treatment of developmental dysplasia of hip after walking age with open reduction, femoral shortening and acetabular osteotomy," *Orthop Clin North Am.*, vúm. 37, pp. 149-160, 2006.
- [6] V. Francone, E. García, M. Saffè, & E. Locaso, "Luxación congénita inveterada de cadera Tratamiento quirúrgico," *Rev Asoc Arg Ortop y Traumatol*, vol. 58, núm. 3, pp. 359-365, 2012.
- [7] J. Grudziak, & W. Ward, "Dega osteotomy for the treatment of congenital dysplasia of the hip," *J Bone Joint Surg Am.*; vol. 83, pp. 845-854, 2001.
- [8] Instituto Internacional de Displasia de Cadera, disponible en <http://displasiadecadera.org/>, 2015.
- [9] J. Jia, L. Li, L. Zhang, Q. Zhao, E. Wang, & Q. Li, "Can excessive lateral rotation of the ischium result in increased acetabular anteversion? A 3D-CT quantitative analysis of acetabular anteversion in children with unilateral developmental dysplasia of the hip," *J Pediatr Orthop*. vol. 31, núm. 8, pp. 864-9, 2011.
- [10] J. Jia, L. Li, L. Zhang, Q. Zhao, & X. Liu, "Three dimensional-CT evaluation of femoral neck anteversion, acetabular anteversion and combined anteversion in unilateral DDH in an early walking age group," *Int Orthop*.vol. 36, núm. 1, pp. 119-24, 2012.
- [11] J. Karlen, D. Skaggs, M. Ramachandran, & R. Kay, "The Dega osteotomy: a versatile osteotomy in the treatment of developmental and neuromuscular hip pathology," *J Ped Orthop*. vol. 29, núm. 7, pp. 676-682, 2009.
- [12] S. Kelley, C. Bradley, & J. Wedge, "El manejo quirúrgico de la displasia del desarrollo de la cadera luxada. Técnica quirúrgica, optimizando los resultados y resultados a largo plazo," *Rev Mex Ortop Ped*. vol. 15, núm. 1, pp. 32-39, 2013.
- [13] E. López, H. Carillo, M. Gutiérrez, "Dega versus salter osteotomy for the treatment of developmental dysplasia of the hip," *J Pediatr Orthop B*, vol. 17, pp. 213-221, 2008.
- [14] E. Morin, *Introducción al pensamiento complejo*, Barcelona: Gedisa, 1994.
- [15] F. Ortega, "Displasia del Desarrollo de la Cadera," *Rev. Med. Clin. Condes*, vol. 24, núm. 1, pp. 37-43, 2013.
- [16] R. Salter R., "Role of innominate osteotomy in the treatment of congenital dislocation and subluxation of the hip in the older child," *J BoneJointSurg*, núm. 48-A, pp. 1413-1439, 1966.
- [17] P. Sánchez, & F. Helo, "Procedimiento tipo DEGA por doble abordaje," *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, vol. 18, núm. 3, pp. 77-89, 2004.
- [18] S. Shipman, M. Helfand et al., "Screening for developmental dysplasia of the hip: A systematic literature review for the U.S. Preventive Services Task Force," *Pediatrics*, núm. 117, pp. 557-576, 2006.
- [19] O. Silva, & D. Garzón, "Antecedentes, historia y pronóstico de la displasia del desarrollo de la cadera," *Rev Cubana Invest Bioméd.*, vol.30, núm.1, pp. 141-162 2011.
- [20] K. Tallroth, & J. Lepistö, "Computed tomography measurement of acetabular dimensions," *Acta Orthopaedica*, vol. 77, núm. 4, pp. 598-602, 2006.
- [21] S. Thomas, J. Wedge, & R. Salter, "Outcome at forty-five years after open reduction and innominate osteotomy for late-presenting developmental dislocation of the hip," *J Bone Joint Surg Am.*, vol. 89, núm. 11, pp. 2341-2350, 2007.
- [22] S. Trujillo, *Análisis Tomográfico Volumétrico de las Condiciones Acetabulares en Pacientes con DDC Inveterada Unilateral Operados con Técnica Tipo DEGA*, Estudio Piloto, Facultad de Medicina, Secretaría de Salud, Instituto Nacional de Rehabilitación, 2013.
- [23] J. Wedge, & S. Kelley, "Strategies to improve outcomes for operative childhood management of DDH," *Orthop Clin North Am.*, vol. 43, núm. 3, pp. : 291-299, 2012.

Sistema de Información Científica Redalyc

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

XML JATS en Redalyc

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

xmljatsredalyc.org

REDALYC 3.0

El chorro en toberlino y los vórtices de punta de ala

Tiburcio **Fernández-Roque**
José Arturo **Correa-Arredondo**
José Félix **Vázquez-Flores**
Jorge **Sandoval-Lezama**
Alejandro **Mejía-Carmona**

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Ticomán, Av. Ticomán núm. 600, Col. San José Ticomán,
Delegación Gustavo A. Madero, CP 07340, Ciudad de México.
MÉXICO.

correos electrónicos (emails): tfroque@yahoo.com.mx
josearturocorrea@yahoo.com.mx, bemol5808@gmail.com
jslezama09@yahoo.com.mx, almejia@ipn.mx

Recibido 02-06-2016, aceptado 27-10-2016.

Resumen

Los vórtices de punta de ala representan un riesgo para las aeronaves que vuelan detrás de otra por lo que el estudio de los mismos es necesario para prevenir accidentes aéreos al establecer las distancias mínimas que deben separar una aeronave de otra, sobre todo en las operaciones de despegue y aterrizaje de las mismas. Con el fin de analizar el comportamiento de los vórtices de punta de ala de una manera poco costosa y con la instrumentación disponible, en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticomán del Instituto Politécnico Nacional (México) se ha propuesto una línea de investigación sobre chorros y flujos en torbellinos con la hipótesis de que estos tienen una gran semejanza con los vórtices de punta de ala. Para el desarrollo de esta línea de investigación se construyó un equipo para generar el chorro en torbellino y se han utilizado diversos anemómetros; en este trabajo se presentan las mediciones realizadas sobre un chorro en torbellino de baja velocidad empleando un sensor de siete orificios. Se muestran los perfiles de velocidad tangencial y de velocidad axial, encontrándose que el comportamiento de ambas velocidades tiene una gran semejanza con los vórtices de punta de ala sobre todo con respecto al núcleo del vórtice.

Palabras clave: chorro en torbellino, vórtices de punta de ala, sensor de presión de siete orificios.

Abstract

(The Swirling Jet and the Wingtip Vortices)

The wingtip vortices are dangerous to an aircraft flying behind another. This is the reason why the study of them is necessary to prevent airplane accidents by establishing minimum distances that must separate an aircraft from another, especially in takeoff and landing operations. In order to analyze the behavior of wingtip vortices of an inexpensive way and with the available instrumentation, The Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticomán (Instituto Politécnico Nacional, México) has proposed a research on swirling jets and flows with the assumption that they have a great resemblance to the wingtip vortices. For the development of this research an equipment to generate the jet vortex was built and several anemometers have been employed. In this paper, the measurements made on a low speed swirling jet using a sensor with seven holes are presented. The tangential velocity and axial velocity profiles are shown, finding that the behavior of both speeds has a great resemblance to the wingtip vortices especially with respect to the core of the vortex.

Index terms: swirling jet, wingtip vortices, seven holes' pressure sensor.

1. Introducción

La estela de vórtices producida por una aeronave en vuelo se debe a diversos factores que pueden ser agrupados en tres categorías:

- (i) Los chorros generados por las hélices o los motores a reacción.
- (ii) La turbulencia asociada con el arrastre debido al fuselaje y los demás componentes de una aeronave.
- (iii) Los vórtices de borde de salida y de punta de ala generados por el ala de una aeronave.

Cuando se consideran los efectos de la estela de una aeronave sobre otra aeronave, ha sido demostrado que las categorías (i) y (iii) son despreciables comparados con los efectos que generan los vórtices del tipo (iii) [1]. Por lo anterior, este trabajo se enfoca a comparar la información reportada en diversas referencias con respecto a los vórtices de borde de salida del ala y de punta de ala de una aeronave con la información experimental propia y encontrada en referencias consultadas sobre chorros en torbellino.

Los vórtices de borde de salida y de punta de ala son un producto inevitable de la sustentación que producen las alas de envergadura finita. La estela de vórtices que genera una aeronave se desarrolla como consecuencia de la fuerza de sustentación que la aeronave debe producir para poder volar. Para un ala que genera sustentación, la presión sobre la superficie inferior del ala es más alta que la presión sobre la superficie superior del ala. Por lo tanto, el aire que fluye alrededor de la punta del ala, de la superficie inferior hacia la superficie superior, produce un intenso vórtice, el llamado "vórtice de punta de ala". Adicionalmente, el flujo que pasa por las superficies superior e inferior tiene direcciones diferentes a lo largo del borde de salida del ala, en la parte superior existe una componente del flujo hacia la raíz del ala, mientras que en la parte inferior del ala existe una componente del flujo hacia la punta del ala; esto origina, con ayuda de la viscosidad del fluido, que en cada punto del borde de salida del ala se origine un vórtice. Por lo tanto, una capa de esfuerzos cortantes libre o una lámina de vórtices se desarrolla, la cual está conectada con el vórtice de punta de ala correspondiente, en la dirección de la envergadura. Esta capa de esfuerzos cortantes libre se enrolla hacia arriba debido a la velocidad auto-inducida que se produce y junto con el vórtice de punta de ala se fusionan en un solo vórtice para cada una de las semi-alas [2], [3], [4]. Consecuentemente, existen dos vórtices de borde de salida contra rotativos, como se muestra en la Fig. 1. El sistema de vórtices en la estela se vuelve más complejo en la región cercana a la aeronave para configuraciones de alta sustentación, es decir, ángulos de ataque altos y uso de aletas hipersustentadoras (tanto de borde de ataque (slats) como de borde de salida (flaps)), las cuales se emplean comúnmente en operaciones de despegue y aterrizaje de la aeronave. Bajo tales condiciones, vórtices dominantes adicionales se originan. En particular, vórtices muy intensos se pueden desarrollar en los extremos de las aletas hipersustentadoras, los cuales podrían exceder la intensidad de los vórtices de punta de ala. En la mayoría de los casos, los vórtices se propagan hacia abajo con respecto a la trayectoria de vuelo o son acarreados por los vientos cruzados. En la práctica, las difusiones viscosas y turbulentas, así como la turbulencia atmosférica e inestabilidades relacionadas con los vórtices generan un decaimiento de la intensidad de los vórtices de punta de ala. A pesar de esto se ha observado que dichos vórtices persisten por decenas de kilómetro corriente abajo de las aeronaves grandes [5].

La importancia del estudio de los vórtices de punta de ala se debe a que existe un grave riesgo para las aeronaves que vuelan atrás de otra debido al gran tamaño de estos vórtices y a las altas velocidades tangenciales contenidas en ellos. Por ejemplo, velocidades tangenciales del orden de 18.3 m/s

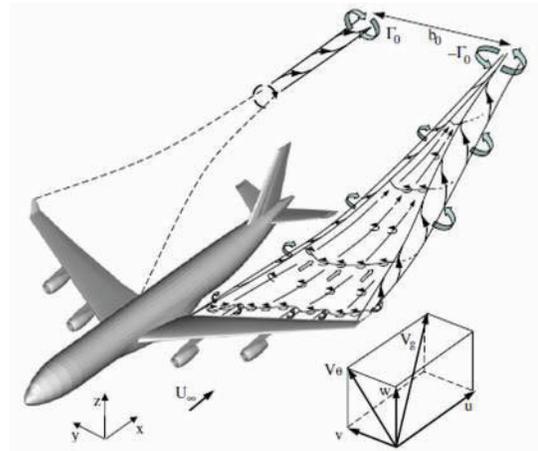


Fig. 1. Sistema de vórtices en la estela de una aeronave, tomada de [4].

pueden encontrarse en los vórtices desprendidos por una aeronave Galaxy C5-A, a 2.4 km atrás de la aeronave o 30 segundos después de que la aeronave haya pasado [6].

Para evitar el encuentro de los vórtices de punta de ala, distancias mínimas de separación son obligatorias para aeronaves que se aproximan a un mismo aeropuerto bajo reglas de vuelo por instrumentos. Esta separación también aplica en todas las fases de vuelo [7]. Estas distancias proporcionan el tiempo requerido para que los vórtices se muevan fuera de la trayectoria de vuelo, pero a la vez son elementos claves que afectan la capacidad de los aeropuertos. De aquí, también se determina que los vórtices de punta de ala, además de afectar la seguridad de las aeronaves que los encuentran, tienen una gran importancia en la operación de un aeropuerto ya que, si se consigue disminuir la intensidad de dichos vórtices, la capacidad de operación de un aeropuerto se puede incrementar. Adicionalmente, el peligro es particularmente severo durante los despegues y los aterrizajes de las aeronaves por dos razones. La primera razón se relaciona con la extensión de los flaps de la aeronave que aterriza, los cuales pueden crear vórtices de borde de salida aún más fuertes que los vórtices de punta de ala. La segunda razón se relaciona con la cercanía al terreno que tiene la aeronave que viene atrás de la que está aterrizando en primera instancia, lo cual significa que una pequeña perturbación en su trayectoria de aproximación puede ser desastrosa [8].

Las aeronaves comerciales con flaps extendidos producen vórtices de borde de salida múltiples que permanecen diferentes por alguna distancia atrás de la aeronave. En el caso más simple, el ala produce vórtices de punta de ala y los vórtices del flap se producen en el extremo exterior del flap interior. Estos dos pares

de vórtices que giran en el mismo sentido y un par de vórtices contrarrotativos del empenaje horizontal forman el sistema de vórtices básicos cuando los flaps se deflectan hacia abajo. Los detalles de la configuración de la aeronave determinan que tan atrás de la aeronave permanecen los pares de vórtices múltiples como vórtices diferentes [4].

Por otra parte, un chorro en torbellino se caracteriza por presentar una componente de velocidad tangencial o azimutal superpuesta a la componente de velocidad axial y se produce cuando un flujo en torbellino se eyecta desde un orificio circular en un ambiente externo fluido, el cual puede estar en reposo o confluyendo. Los chorros en torbellino son de importancia en muchas aplicaciones técnicas e industriales. Por ejemplo, son utilizados en sistemas de combustión para mejorar el enfriamiento por convección forzada, para promover e incrementar el mezclado turbulento del chorro de combustible atomizado con el aire adyacente y para estabilizar la zona de combustión debido a la presencia de la región de recirculación central auto-inducida por el torbellino [9], [10], [11], [12].

En la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticomán (ESIME Ticomán) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, a través de las investigaciones realizadas en flujos y chorros en torbellino, se ha establecido que el chorro en torbellino presenta semejanzas con los vórtices de borde de salida de un ala principalmente cuando estos han llegado a la condición de un par de vórtices de punta de ala. En esta condición, las velocidades tangencial y axial del vórtice de punta de ala tienen un comportamiento muy parecido a las velocidades tangencial y axial que genera el chorro en torbellino. Por lo anterior y dada la dificultad y alto costo de realizar mediciones en los vórtices que desprende un ala, se ha visto conveniente, por su economía y facilidad, que el realizar mediciones en un chorro en torbellino puede generar información útil para el conocimiento más detallado de la generación, desarrollo y evolución de los vórtices de punta de ala, así como para el control y disminución de la intensidad de los mismos. Esta información sería útil para desarrollar tecnología con el fin de disminuir la intensidad de los vórtices de punta de ala lo cual llevaría a hacer más eficiente la operación de los aeropuertos dado que se podría disminuir la distancia de separación entre aeronaves en las operaciones de despegue y aterrizaje y podría disminuirse el grave efecto sobre aeronaves pequeñas cuando estas encuentran las estelas de aeronaves grandes [4].

2. Características físicas de los vórtices de borde de salida y de punta de ala

Típicamente, un vórtice de punta de ala desarrolla un movimiento circular alrededor de un núcleo. El tamaño del núcleo, r_c , puede variar en tamaño desde solamente unos cuantos

centímetros de diámetro hasta un metro o más, dependiendo del tipo de aeronave. Para aeronaves grandes, la velocidad del aire dentro de este núcleo puede ser hasta de 100 m/s. El núcleo es rodeado por una región exterior del vórtice, r_v , tan grande como 30 m de diámetro, con aire moviéndose a velocidades que disminuyen mientras la distancia desde el núcleo se incrementa, como se indica en la Fig. 2. La estela de vórtices puede persistir por tres minutos o más en ciertas condiciones [7].

Con respecto a la Fig. 2, el campo de velocidad inducida por el vórtice de punta de ala puede ser dividido en tres regiones: (i) El núcleo del vórtice, el cual es dominado fuertemente por la viscosidad del fluido y que se define por el radio del núcleo viscoso, r_c . (ii) El anillo rotacional, en donde existe un cambio gradual entre la predominancia de las fuerzas viscosas y las fuerzas convectivas (debidas a la diferencia de densidad del aire y al intercambio de la cantidad de movimiento), y que es determinado por el radio de vorticidad, r_v , y (iii) una región exterior en donde las velocidades inducidas pueden ser representadas en forma aproximada por el modelo de flujo no viscoso de un vórtice potencial [4].

En la referencia [13] se reportan mediciones experimentales en túnel de viento de la velocidad tangencial y de la velocidad axial de los vórtices de punta de ala, adimensionalizadas o normalizadas con la velocidad del flujo sin perturbar, u_∞ . El modelo de ala empleado tiene flechado, aunque también se reportan mediciones para un ala rectangular para fines de comparación. Las mediciones reportadas fueron hechas en estaciones normalizadas atrás de la aeronave que corresponden a valores de $x/c_r = 0.625$ a 3.5, a partir del borde de salida en la raíz del ala del modelo (c_r es la cuerda en la raíz

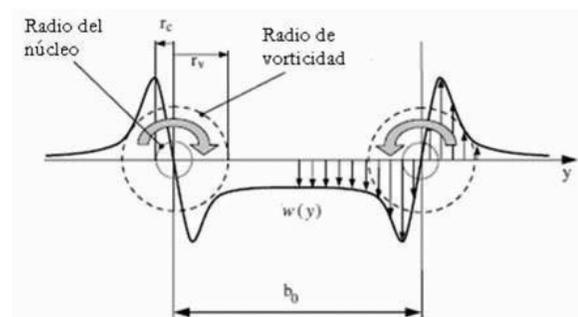


Fig. 2. Definición del radio del núcleo y del radio de vorticidad, tomada de [4].

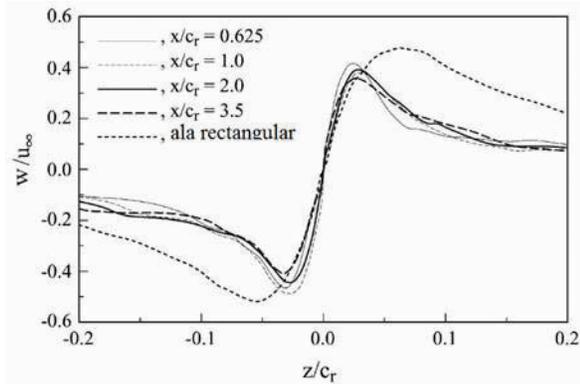


Fig. 3. Perfiles de velocidad tangencial, tomada de [13].

del ala). Las mediciones realizadas corresponden a un ángulo de ataque del ala de 8 grados. En la Fig. 3 se muestra el perfil de velocidad tangencial normalizada, w/u_∞ en función de la distancia transversal adimensional, z/c_r . Aquí se observa la región del núcleo del vórtice en el cual w varía casi linealmente con el radio desde cero hasta $w_{máx}$. Se observa que para $1 \leq x/c_r \leq 3.5$, la región del núcleo es antisimétrica en cuanto a que $w_{máx} = -w_{mín}$. Se observa también que el comportamiento es muy semejante tanto para el ala con flechado como para el ala rectangular.

En la Fig. 4 se muestra la velocidad axial normalizada, u/u_∞ , del vórtice de punta de ala para las mismas estaciones y ángulo de ataque a las cuales se realizaron las mediciones reportadas en la Fig. 3. Aquí se observa que para el ala con flechado existe una zona de menor velocidad, la cual coincide con la zona de máxima vorticidad, la cual se encuentra en la región del núcleo del vórtice. Este perfil de velocidades corresponde a un perfil típico de una estela. Sin embargo para el

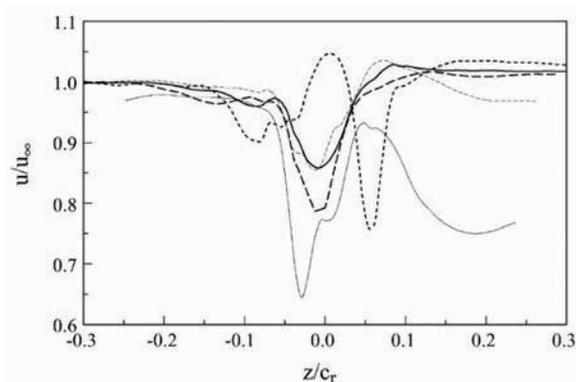


Fig. 4. Perfiles de velocidad axial, tomada de [13].

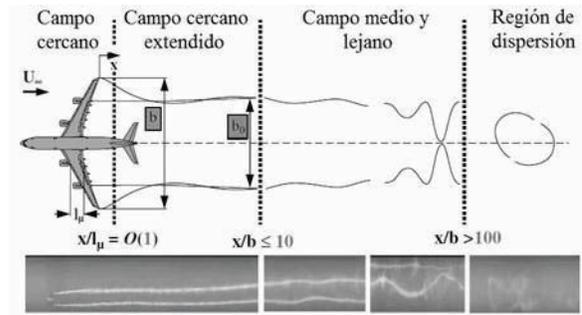


Fig. 5. Regiones de la estela de vórtices de una aeronave, tomada de [4].

ala rectangular, la cual genera el mismo coeficiente de sustentación y opera al mismo número de Reynolds que el ala con flechado, el perfil de velocidad axial exhibe una mezcla de una región grande de un perfil tipo estela con un pequeño núcleo de velocidad tipo chorro, en el que la velocidad es 5% mayor que la velocidad del flujo libre, u_∞ .

Considerando el desarrollo corriente abajo, la estela de vórtices puede ser dividida en cuatro regiones en función de la envergadura del ala, b , como se muestra en la Fig. 5: (i) El campo cercano, $x/b \leq 5$, el cual es caracterizado por la formación de vórtices altamente concentrados en todas las discontinuidades de superficie. (ii) El campo cercano extendido, $0.5 < x/b \leq 10$, donde el proceso de enrollamiento de la estela toma lugar y ocurre la mezcla de los vórtices dominantes, es decir, los que se desprenden en el extremo del flap, de la punta del ala, etc., lo cual lleva gradualmente a la aparición de dos vórtices contrarrotativos. (iii) El campo medio y lejano, $10 < x/b \leq 100$, donde la estela descende en la atmósfera y aparecen inestabilidades lineales y (iv) La región de dispersión, $x/b > \sim 100$, en donde inestabilidades completamente desarrolladas causan una fuerte interacción entre los dos vórtices de punta de ala hasta que se colapsan [4].

La intensidad de los vórtices es función del peso, velocidad y forma del ala de la aeronave. Las características de los vórtices de una determinada aeronave pueden ser cambiadas debido a la extensión de los flaps o de algún otro dispositivo que forme parte de la configuración del ala. Sin embargo, como el factor básico es el peso, la intensidad de los vórtices se incrementan proporcionalmente con el incremento del peso de operación de la aeronave. Velocidades tangenciales máximas de los vórtices hasta de casi 100 m/s han sido registradas. Los vórtices más intensos son producidos por las aeronaves pesadas que vuelan lentamente en una configuración limpia a altos ángulos de ataque. Los vuelos de prueba han mostrado que los vórtices que generan los aviones más

grandes, los cuales corresponden a la categoría de aviones de transporte, descienden a una razón de varias decenas de m/s, y, con el tiempo y el aumento de la distancia atrás de la aeronave, disminuyen su velocidad de descenso y su intensidad [4].

5. Características físicas de un chorro en torbellino

En las referencias consultadas se encontró información experimental de los siguientes métodos de generación del chorro en torbellino:

1. Rotación de un cilindro con un panel de abeja en su interior

Los perfiles de velocidad axial y tangencial se muestran en las Figs. 6 y 7. La velocidad axial está adimensionalizada o normalizada con respecto a la velocidad media general, u_b , mientras que la velocidad tangencial está normalizada con la velocidad tangencial en la pared, w_w . Las mediciones fueron realizadas con anemometría de hilo caliente y con anemometría Láser-Doppler para dos intensidades de torbellino, S , diferentes y tres distancias axiales diferentes corriente abajo del plano de salida del chorro, x/D [10].

2. Rotación de un cilindro con un panel de abeja en su interior y una tobera en la salida

Los perfiles de velocidad axial y tangencial normalizados con la velocidad medida en el centro del plano de salida y sin rotación, u_1 , se muestran en la Fig. 8. Las mediciones fueron realizadas con anemometría de hilo caliente en el plano de salida del chorro empleando una boquilla con una relación de áreas de 4 [14].

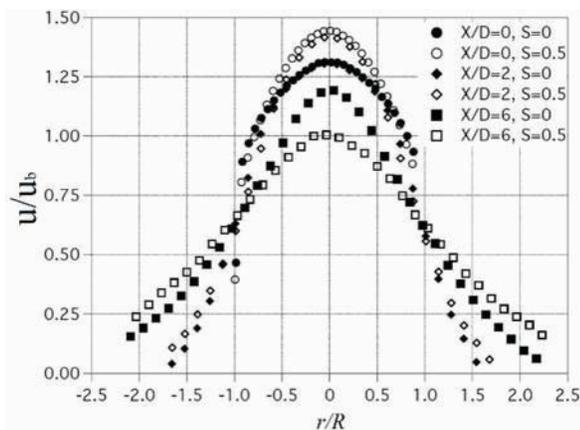


Fig. 6. Perfiles de velocidad axial, tomada de [10].

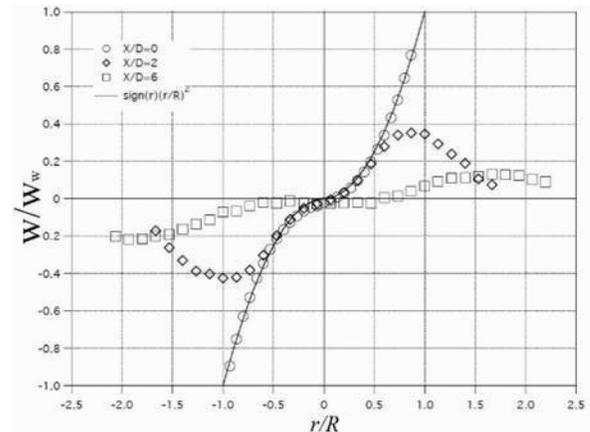


Fig. 7. Perfiles de velocidad tangencial, tomada de [10].

3. Álabes guías a la entrada del tubo

Las mediciones experimentales de la velocidad axial y de la velocidad tangencial normalizadas se muestran en la Fig. 9. En la referencia de la cual se obtuvo esta figura no se indica la instrumentación utilizada, ni la velocidad que se utilizó de referencia para normalizar las velocidades y tampoco la intensidad del torbellino, únicamente se indica que las mediciones fueron realizadas en un plano ubicado a 25 mm corriente abajo del plano de salida del chorro [15].

Comparando la información experimental anterior, se observa que los casos 1 y 2 son bastante semejantes en cuanto a la forma y comportamiento tanto de los perfiles de velocidad axial como de los perfiles de velocidad tangencial (Figs. 6, 7 y 8), sin

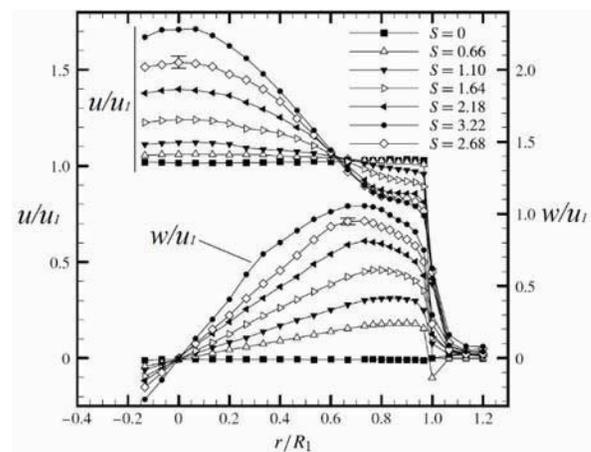


Fig. 8. Perfiles de velocidad axial y tangencial, tomada de [14].

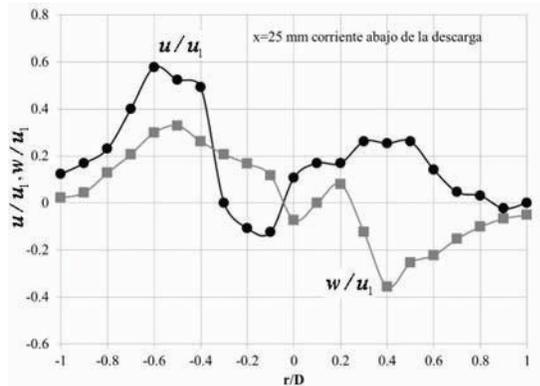


Fig. 9. Perfil de velocidad axial y tangencial, adaptada de [15].

embargo con respecto al caso 3, los perfiles de velocidad difieren notablemente principalmente con respecto a la velocidad axial, ya que la Fig. 9 muestra una región de velocidad axial negativa en el centro del chorro, la cual no se observa en los casos 1 y 2 (Figs. 6 y 8). Con respecto a la velocidad tangencial, los perfiles de velocidad son bastante semejantes en los tres casos, sin embargo, en el caso 3, los datos presentan una mayor dispersión en la región central y no muestra una simetría entre las regiones de velocidad positiva y negativa, como si sucede en los casos 1 y 2.

6. Mediciones realizadas en la ESIME Ticomán

6.1. Descripción del equipo experimental

Dispositivo para generar el chorro en torbellino. El equipo empleado para generar el flujo en torbellino se muestra en la Fig. 10 y se ubica en el Laboratorio de Hidroneumática de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticomán del IPN. Consta de un ventilador axial de seis aspas de 0.300 m de diámetro accionado por un motor monofásico de 0.125 H.P. y un reóstato que permite regular las rpm del motor en el rango de 400 a 4800 rpm y está acoplado con una tobera metálica a un tubo de sección transversal circular que tiene un diámetro interno de 0.184 m y 1.300 m de longitud. El conducto está formado por tres tramos de tubos, los dos tramos de los extremos son fijos y miden 0.300 m y 0.250 m y el tramo central mide 0.750 m y puede girar, aunque esta facilidad no fue empleada. Con el fin de generar el flujo en torbellino, al ventilador se le quitaron los enderezadores de flujo. Se utilizó la velocidad mínima de giro del ventilador (400 rpm) ya que con esta velocidad se logra una intensidad de torbellino grande estimada en 0.645 y una velocidad media general de flujo baja de 0.42 m/s. Con esta velocidad media general se obtuvo un número de Reynolds de 4415, en función del diámetro del tubo.

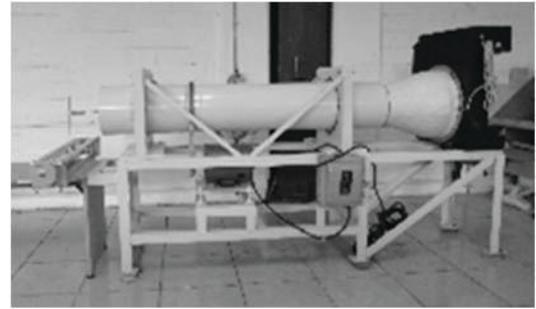


Fig. 10. Equipo generador del chorro en torbellino.

Equipo de medición ESP/Probe Acquisition System (AP3000 System). El equipo de medición se muestra en la Fig. 11 y consta de los siguientes elementos:

- Sensor de 7 orificios marca Aeroprobe.- Está construido de latón maquinado en forma de cono con un semiángulo de 30° , cuenta con 7 tubos soldados que sirven para conectar los orificios que tiene en la punta de latón a los sensores de presión del escáner. Cuenta además con una flecha que sirve para sujetar el sensor.
- Escáner de presión electrónico miniatura modelo ESP-16HD marca Pressure Systems, el cual es una unidad que consiste de 16 sensores de presión piezo-resistivos y se utiliza para medir la diferencia de presión en cada orificio del sensor de siete orificios. Las salidas del escáner son llevadas a un amplificador en donde se convierte la señal analógica a digital.
- Software Aeroacquire el cual calcula la velocidad y dirección del flujo a partir de las presiones leídas en cada orificio del sensor de siete orificios.

6.2. Mediciones

La experimentación se realizó midiendo la velocidad axial y tangencial del chorro en torbellino en diferentes posiciones

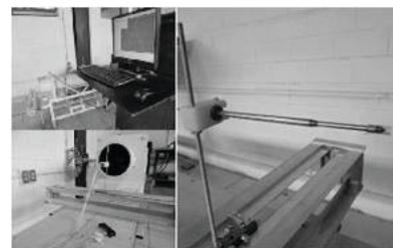


Fig. 11. Sistema Aeroprobe AP3000.

transversales desde cero hasta 24 cm con incrementos de un centímetro. Estas mediciones se realizaron únicamente en la posición axial cero (inmediatamente después de la descarga). Las mediciones se repitieron 5 veces con el fin de encontrar un perfil de velocidad promedio para cada velocidad. La velocidad axial y tangencial promedio obtenidas fueron graficadas en Excel. A los puntos graficados se les encontró una línea de tendencia polinómica de grado 6, las cuales se muestran en la Fig. 12 para el perfil de velocidad axial y en la Fig. 13 para el perfil de velocidad tangencial, ambas para la estación $x/D = 0$.

7. Análisis de resultados

Las mediciones realizadas muestran perfiles de velocidad axial y tangencial con una mayor semejanza con los datos experimentales obtenidos de la referencia [15] (caso 3 de generación del chorro en torbellino), lo cual comprueba que el método de generación del chorro en torbellino empleado es semejante al método que emplea álabes guías en la entrada del tubo que genera el chorro en torbellino. Las principales semejanzas y diferencias son las siguientes:

1. Empleando el sistema Aeroprobe no fue posible encontrar velocidades axiales negativas en el centro del chorro, como las reportadas en la referencia [15], aunque si se detecta la disminución de velocidad en dicha región, presentándose en el centro del chorro la velocidad axial mínima.
2. El perfil de velocidad axial obtenido muestra la misma asimetría que el reportado en la referencia [15]. En ambos casos se presentan dos máximos de velocidad axial, pero con valores diferentes y en ambos casos la menor velocidad máxima axial se presenta en la mitad del chorro en donde la velocidad tangencial es negativa.

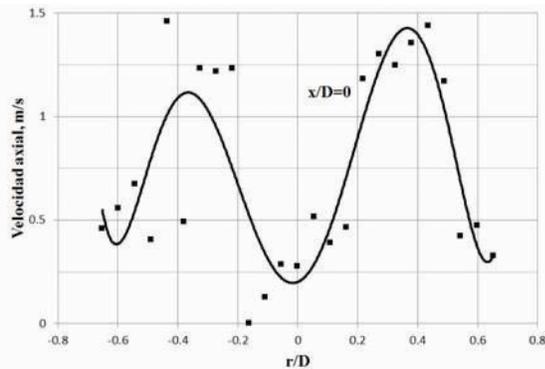


Fig. 12. Perfil de velocidad axial.

3. Comparando el perfil de velocidad tangencial con el reportado en la referencia [15], se observa una semejanza en la dispersión que existe en el centro del chorro, aunque los datos aquí reportados muestran una mayor simetría. También no se concuerda con la referencia [15] en el hecho de que las velocidades tangenciales máximas positiva y negativa que reportan difieren en aproximadamente un 20%, siendo mayor la velocidad tangencial positiva, mientras que las velocidades tangenciales máximas aquí reportadas prácticamente son iguales.

4. Con respecto a la ubicación de las velocidades máximas axial y tangencial, se observa que en la referencia [15] estos valores se presentan en posiciones radiales que concuerdan con la pared del tubo por donde sale el chorro ($r/D = \pm 0.5$), mientras que en nuestras mediciones se observa que esto sucede en $r/D = \pm 0.3$ para las velocidades tangenciales máximas y $r/D = \pm 0.37$ para las velocidades axiales máximas.

Con respecto a las mediciones experimentales realizadas en la estela de un modelo de ala con flechado y un ala rectangular [13], se observan las siguientes semejanzas y diferencias:

5. El comportamiento de la velocidad tangencial es semejante tanto para el ala con flechado como para el ala rectangular, es decir, es lineal en la zona del núcleo del torbellino (desde el centro hasta las velocidades máximas). En el caso de nuestras mediciones, el núcleo ocupa 60% del diámetro del tubo, mientras que, en el caso de las alas, ocupa 10% de la cuerda en la raíz. También se observa que en el caso del chorro en torbellino la velocidad tangencial cae rápidamente a cero (aproximadamente a un radio equivalente al radio del tubo) para la estación $x/D = 0$, mientras que en las alas no alcanza el valor cero, para las mediciones reportadas en la referencia [15].

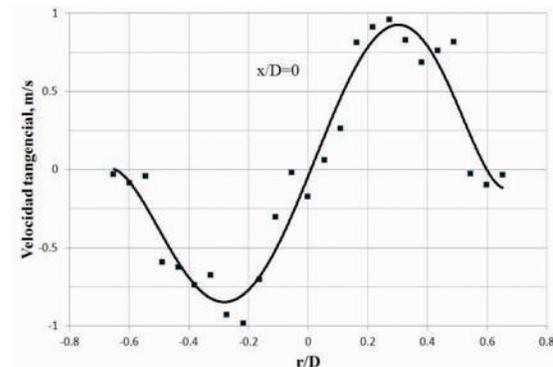


Fig. 13. Perfil de velocidad tangencial.

6. Con respecto a las velocidades axiales, nuestras mediciones son bastante parecidas a las mediciones realizadas en la estela del ala con flechado, es decir, en el núcleo existe una disminución de velocidad, aunque es mucho mayor en el chorro en torbellino que en el ala con flechado. En nuestras mediciones se determinó una disminución del 50% de la velocidad media general, mientras que en el ala con flechado la disminución fue del 35% de la velocidad del flujo sin perturbar. Sin embargo, para el ala rectangular, aunque no totalmente, el perfil de velocidad axial es más parecido al caso del chorro en torbellino cuando este se genera con un tubo giratorio con panal de abeja en su interior (caso 1 y 2 de generación del chorro en torbellino) ya que la velocidad en el núcleo del torbellino tiene un incremento de velocidad.

8. Conclusiones

Con base en las referencias consultadas y a las mediciones realizadas, se concluye que existen semejanzas estrechas entre los vórtices de punta de ala y un chorro en torbellino principalmente en el perfil de velocidad tangencial y que para el perfil de velocidad axial la semejanza depende de la forma en planta del ala, rectangular o trapezoidal con flechado, y del método para generar el chorro en torbellino. Aunque experimentalmente no se realizó, existen evidencias de que el chorro en torbellino sigue un patrón de decaimiento muy semejante al que siguen los vórtices de punta de ala (véase Fig. 5), es decir, la intensidad de las velocidades debe disminuir mientras que los radios del vórtice (tanto el del núcleo como el de vorticidad) se incrementan. Trabajos futuros que se pretenden realizar en la ESIME Ticomán están encaminados a determinar cuantitativamente este comportamiento al mismo tiempo de buscar mecanismos alternativos a los ya existentes para que el decaimiento del chorro en torbellino sea más rápido con la idea de proponer modificaciones tecnológicas en las aeronaves que permitan incrementar la velocidad con la que decaen los vórtices de punta de ala y así disminuir la distancia de separación reglamentaria entre aeronaves, lo cual aumentaría la capacidad de los aeropuertos y haría más segura la navegación aérea, sobre todo de las aeronaves pequeñas que ocasionalmente y de forma inadvertida pudieran encontrar la estela de una aeronave grande.

Referencias

[1] T. H. Kerr, & F. Dee, *A flight investigation into the persistence of trailing vortices behind large aircraft.*

- A.R.C. Technical Report No. 489. Ministry Of Aviation Aeronautical Research Council, London, 1960.
- [2] F. H. Proctor, & G. F. Switzer, "Numerical simulation of aircraft trailing vortices," 9th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology 11-15 September, Orlando Florida American Meteorology Society, 2000.
- [3] G.-H. Cottet, I. Sbalzarini, S. Muller, & P. Koumoutsakos, "Optimization of trailing vortex destruction by evolution strategies," *Proceedings of the Summer Program*, Center for Turbulence Research, 2000.
- [4] C. Breitsamter C., Wake vortex characteristics of transport aircraft. *Progress in Aerospace Sciences* 47, 2011.
- [5] J. M. Faddy, "Flow structure in a model of aircraft trailing vortices," Doctor of Philosophy Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California, 2005.
- [6] R. K. Bera, "Wing tip vortices of cyclonic proportions," *Current Science*, vol. 64, núm. 3. Indian Current Science Association, 1993.
- [7] Civil Aviation Authority (CAA), *Wake turbulence*, New Zealand Government, 2008.
- [8] P. Orlandi, G. F. Carnevale, S. K. Lele, & K. Shariff, "DNS study of stability of trailing vortices," *Proceedings of the Summer Program*, Center for Turbulence Research, 1998.
- [9] C. A. Lin, "Modeling a confined swirling coaxial jet," *Annual Research Briefs*, Center for Turbulence Research, 1998.
- [10] L. Facciolo, *Experimental study of rotating pipe and jet flows*, Technical reports, Royal Institute of Technology, Department of Mechanics, Stockholm, Sweden, 2003.
- [11] F. Chang, & V. K. Dhir, "Turbulent flow field in tangentially injected swirl flows in tubes," *Int. J. Heat and Fluid Flow*, vol. 15, núm. 5, 1994.
- [12] O. Kitoh, "Experimental study of turbulent swirling flow in a straight pipe," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 225, UK, 1991.
- [13] P. Gerontakos, & T. Lee, "Near-field tip vortex behind a swept wing model," *Experiments in Fluids*, núm. 40, pp. 141-155, 2006.
- [14] B. Leclaire, & L. Jacquin, "On the generation of swirling jets: high-Reynolds-number rotating flow in a pipe with a final contraction," *J. Fluid Mech.*, vol. 692, UK, 2012.
- [15] M. Meyyappan, M. P. Schwarz, & J. H. Perry, "Modelling of Swirl Jet Flows," *Inter. Conf. on CFD in Mineral and Metal Processing and Power Generation*, CSIRO, Melbourne, Australia, 1997.

Análisis de un sistema homogenizador de jugo de naranja

Marco Antonio Doñu-Ruiz¹
Noé López-Perrusquia¹
Víctor Jorge Cortés-Suárez²
Sergio Antonio Pérez-Moo¹
Juan Carlos Vargas-Caballero¹

¹Universidad Politécnica del Valle de México
Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales
Av. Mexiquense s/n esquina Av. Universidad Politécnica,
Col. Villa Esmeralda, CP 54910, Tultitlán, Estado de México.
MÉXICO.

²Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Departamento de Materiales
Avenida San Pablo Xalpa 180, Azcapotzalco,
Col. Reynosa Tamaulipas, CP 02200, Ciudad de México.
MÉXICO.

correos electrónicos (emails): dr.marck@outlook.com
noeperrusquia@hotmail.com
vjcs@correo.azc.uam.mx
sergio_moo@yahoo.com.mx
litio256@hotmail.com

Recibido 28-04-2016, aceptado 24-02-2017.

Resumen

El presente trabajo evalúa el desempeño de un homogeneizador que está compuesto por perno, asiento y anillo de impacto. Un homogeneizador se utiliza para tratar el jugo de naranja con presiones en rango de 350 a 400 MPa a una temperatura de 75 °C con vida útil de 20 días con 24 horas diarias de operación. El análisis se empleó inspección visual, microscopio electrónico de barrido (MEB), análisis metalográfico y análisis numérico para evaluar las zonas críticas. Los resultados ponen de manifiesto la disminución de 10 días de operación bajo las condiciones de trabajo, también el desgaste por contacto de los componentes del sistema de homogeneización; el anillo de impacto, asiento de válvula y perno, que se observa por análisis MEB revela tipo desgaste adhesivo con presencia inclusiones en la matriz y carburos mixtos, que al contacto causa desprendimiento de material. Finalmente, los resultados de evaluación numéricos muestran las zonas de falla.

Palabras clave: homogenizador, microestructura, esfuerzo, elemento finito, falla.

Abstract (Analysis of a System Homogenizer Orange Juice)

This paper evaluates the performance of homogenizer consists of valve piston, valve seat and impact ring. A homogenizer is used to treat orange juice at pressures up 350-400 MPa with initial temperature at 75 °C with lifetime of 20 days with 24 h operation. To analyze visual inspection, scanning electronic microscopy (SEM), metallographic analysis and numerical analysis was used to assess critical areas. The results reveal the decrease 10 days of operation under working conditions, also wear on system components homogenization the valve piston, valve seat and impact ring, is observed by SEM analysis reveals adhesive wear type with presence of inclusions in the matrix and mixed carbides that contact causes the detachment of material. Finally, the numerical results show the failure zones.

Index terms: homogenizer, microstructure, stress, finite element, failure.

1. Introducción

El beneficio de la homogeneización es aplicado en el sector industria de la leche, concentrado de refrescos, néctares, productos de tomate y jugos [1], [2]. La tecnología de ultra alta presión de homogeneización permite alcanzar presiones en el rango de 300 a 400 MPa [3].

El sistema de homogeneización es una bomba de desplazamiento positivo, con un pistón con válvula especial para la ruptura de partículas localizadas a la descarga de la cámara de bombeo, que es accionada por un motor y una transmisión.

El subsistema a analizar se llama bloque de bomba y consta de pistones independientes impulsados por un accionamiento mecánico. Las válvulas sirven para hacer la acción de abrir y cerrar cavidades por donde entra y sale el producto, además de un órgano de homogeneización.

El proceso se realiza mediante un equipo *Stork Sterjuice* de tipo tubular para su pasteurización, con una capacidad de 8000 litros/hora. Las condiciones de servicio son tres turnos cada uno de 8 horas de lunes a domingo, excepto días festivos del año. La temperatura en la que se mantiene el producto es a 75°C. En producción y en esterilización alcanza los 135°C.

Los componentes del homogenizador se muestran en el figura 1a; compuesta por una base y un anillo de impacto, los componentes de fabricación son de acero AISI D2, tiene un alto contenido de cromo, y carbono, con valores de 58 a 66 HRC.

El principio de homogenización se muestra en la figura 1b, el producto (jugo de naranja) fluye del componente de asiento y la válvula a una presión de 0.3 MPa y baja velocidad, al pasar el fluido entre la válvula y asiento la presión incrementa hasta alcanzar valores de 11 a 12 MPa, el aumento de velocidad causa una caída de presión que produce turbulencia, el cual provoca esfuerzos de corte rompiendo los glóbulos grasos o fibras dispersándolas uniformemente. El tamaño promedio de 10 μm y después de homogenización, se obtiene un tamaño promedio 1 μm .

El presente estudio se enfoca al análisis de falla del sistema de homogenización de jugo de naranja e identificar las cuestiones críticas en el proceso de producción. Así mismo, se

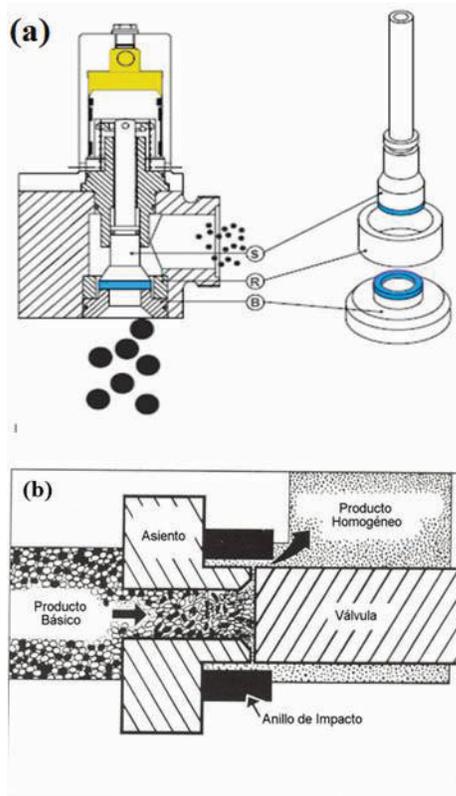


Fig. 1. Sistema de homogenización, a) componentes principales; un perno de homogenización (S), un asiento (B) y un anillo de impacto (R) y b) Se muestra el principio de homogenización de jugo de naranja.

emplea métodos numéricos para indicar las zonas de falla de los componentes principales del homogenizador.

2. Desarrollo

2.1. Procedimiento experimental

El análisis de falla de los componentes del sistema de homogenización se realizó por fases: inspección visual a través de fotos en las zonas de falla. Posteriormente se secciona el sistema de homogenización en las zonas de falla empleando un cortador marca Dewalt 1000 watts sujeto a un tornillo de banco en las zona transversal de la falla y se limpian las zonas mediante ácido clorhídrico, se analizan las zonas de falla por microscopio de electrónico de barrido MEB (JEOL 6380). Por consiguiente, se realiza la preparación metalográfica de acuerdo con ASTM E3 [4], para la observación de la microestructura empleando microscopía óptica con un equipo ZE100. Finalmente, la simulación con un programa de elementos finitos en condiciones experimentales de operación, para analizar los esfuerzos y valores límites en el desempeño del sistema.

3. Resultados y discusiones

En la figura 2 se muestra la inspección macro de los componentes del sistema de homogenizador previos a la operación, después de 10 días operación en la máquina, el sistema de homogenización se procedió a su extracción para una inspec-



Fig. 2. Sistema de homogenización componente previo a operación, a) un asiento, b) un anillo de impacto y c) perno de homogenización.



Fig. 3. Sistema de homogenización después de operación con falla en la perifería.

En la imagen visual en la figura 3 se observa el asiento y perno, en una de las partes con presencia de fallas del sistema de homogenización.

Debido al proceso y a las altas presiones de servicio se genera un desgaste el perno de homogenización, asiento y el anillo del sistema de homogenización, además de la desincrustación de material en la periferia de cada componente.

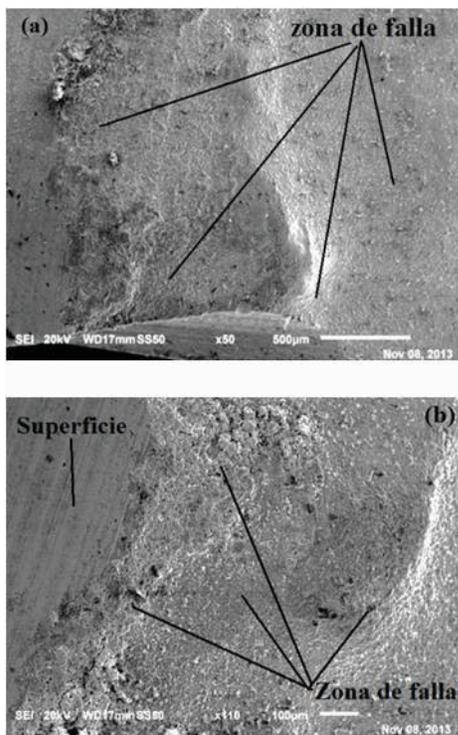


Fig. 4. Imagen por MEB en zona de falla del asiento a) exterior y b) central.

En la figura 4 se muestra una magnificación por MEB en la zona de falla del asiento observando desgaste.

En la Figura 4 podemos observar el desgaste provocado por los esfuerzos dinámicos al que está sometido este componente [5], [6], se evidencia el desgaste por contacto y desprendimiento del material en la superficie, además de un análisis puntual de EDS en la zona de desgaste se muestra en la figura 5.

En análisis realizado en las zonas de la superficie figura 5a y en la superficie con desgaste figura 5b, muestra los elementos principales del acero AISI D2. Se muestra los elementos químicos en el lugar donde están sometidas las cargas de trabajo y en la zona de desgaste de material.

La caracterización del acero AISI D2 sin falla se observa en la figura 6 la microfotografías obtenidas por MO.

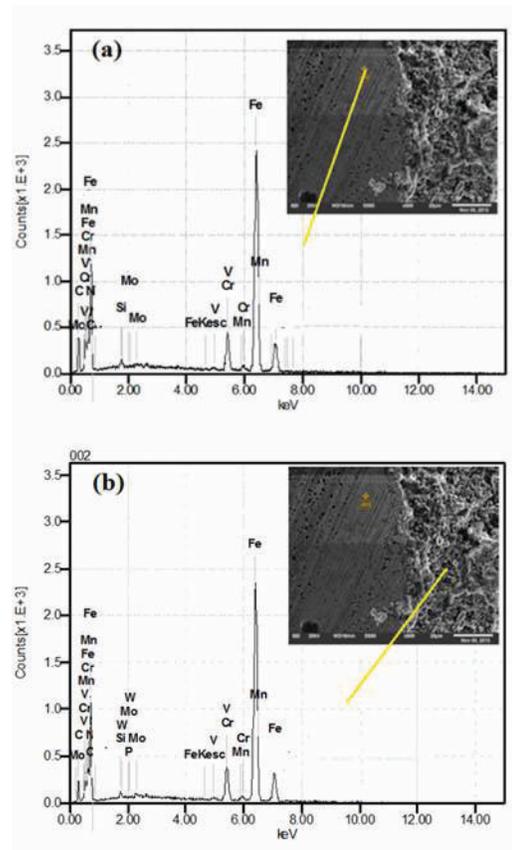


Fig. 5. MEB imagen y EDS puntual en la zona de a) superficie y b) superficie de desgaste.

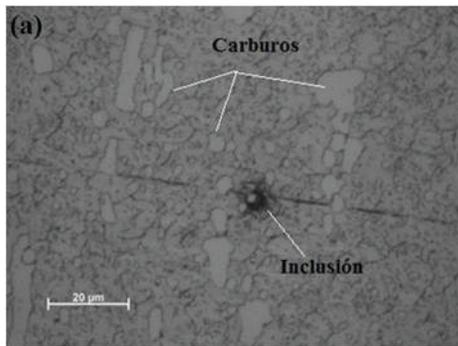


Fig. 6. Micrografía del acero AISI D2.

En la figura 6 revelar la microestructura del material con presencia de ferrita y de carburos, estos de tipo M7C3 o pequeños carburos tipo M2C o M23C6 [7], [8]. Además de evidencia de inclusiones presentes en la matriz.

Posteriormente, en zonas de falla en la sección transversal de la periferia del asiento se realiza el análisis microestructural en la zona de desgaste y se observa en la figura 7.

La figura 7 muestra un desprendimiento de material de los componentes de falla, principalmente los carburos y con ello la matriz ferrita, debido a la interacción por contacto y la presión ejercida, la interacción de los carburos como se observa

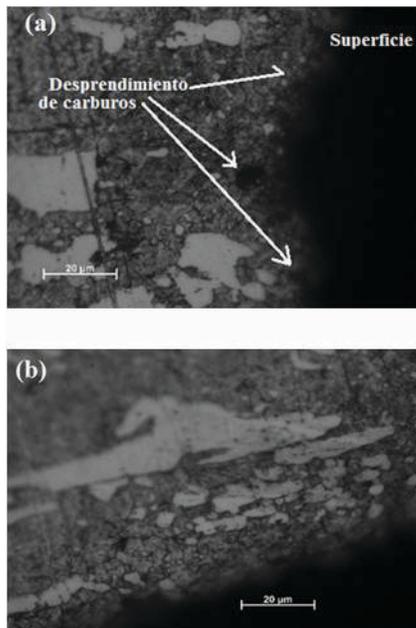


Fig. 7. Microestructura y desprendimiento de carburos en el acero AISI D2. a) asiento y b) perno.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero AISI D2.

Modulo elástico (GPa)	Esfuerzo último (MPa)	Esfuerzo último (MPa)	Dureza HRC
198.24	1385	1489	53.3

en las figuras 6 y 7 generan concentración de esfuerzo y esto permite el desprendimiento de los carburos al contacto de los componentes entre sí.

3.1. Evaluación numérica

El modelo del sistema de homogenización se realizó en un programa de CAD, que posteriormente se importó el archivo en extensión .iges a programa de elementos finitos para la solución del problema [9], para poder realizar la simulación de acción de cargas en el proceso de homogenización. En condiciones experimentales un homogeneizador se utiliza para tratar el jugo de naranja a presiones de 350 a 400 MPa con temperatura iniciales de 45°C. Las propiedades mecánicas del acero AISI D2 se muestran en la Tabla 1.

El modelo de elementos finitos está compuesto por elementos sólidos (C3D4), elementos de contacto que permiten la interacción del anillo de impacto entre el perno y el asiento. Las consideraciones para el análisis numérico son los siguientes:

- i. Los componentes del sistema se considera el mismo material para todos los elementos sólidos que se observan en la figura 8.
- ii. Los elementos de contacto, el anillo de impacto entre el perno homogeneizador y el asiento

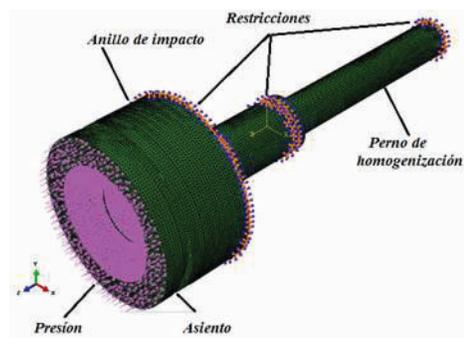


Fig. 8. Modelo de elementos finitos y condiciones de frontera.

- iii. El asiento en condiciones iniciales se aplica una presión en dirección inversa de z de 350 a 400 MPa, de acuerdo a condiciones experimentales para la disolución de partículas del jugo de naranja.
- iv. En la parte superior del perno, en el barreno, se aplican restricciones en todos los grados de libertad, para evitar movimiento de cuerpo rígido y para el asiento y anillo impacto no se restringe en dirección z .
- v. Se observa el comportamiento de esfuerzos de Von Mises, para ubicar las zonas de falla.

En la figura 9 se observa los esfuerzos generados por contacto en el proceso del sistema de homogenización, entre el asiento y el perno.

En la figura 9a la zona del componente del asiento muestra en la periferia valores de esfuerzo de contacto mayores a 4592 MPa y en la figura 9b para el perno en la periferia la zona de contacto con valores máximos de 4628MPa. Por lo que en estas zonas genera desgastes y falla de material en el proceso de homogenización.

De la misma manera en la figura 10 se observa los esfuerzos de Von Mises obtenidos en el análisis numéricos del asiento y peno del sistema de homogenización.

La distribución de esfuerzo de Von Mises se observan en la figura 10a para el asiento estos tiene un valor de 2798MPa y para el perno en la figura 10b con valor de 1448 MPa, considerando la periferia de ambos componentes inicio de falla, ambos valores están por debajo de la zona del límite de fluencia del material, por lo que indica zona de falla.

4. Conclusiones

Se observa desgaste en la periferia de los componentes de asiento y perno homogenizador, el desgaste es ocasionado por un contacto entre sí por las altas presiones ejercidas y temperatura durante el proceso de homogenización. El análisis metalográfico se observa la presencia de carburos que propiciaron con la temperatura de proceso, la fricción entre ambos componentes que ocasiona el desprendimiento del material. El material en contacto se observó inclusiones dentro de la base del material, la cual puede provenir del material más blando, consideramos que una mala formación y tratamiento superficial en ambas piezas se generó desprendimientos de carburos que se encontraban en forma paralela. Los esfuerzos por contacto se presenta en la periferia del perno de homogenización y el asiento, estos presentan una deformación plástica hasta la desfragmentación de material en la periferia, al mismo tiempo

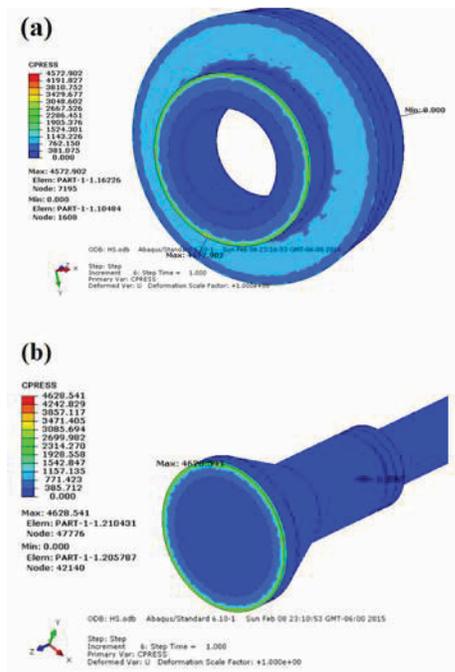


Fig. 9. Zonas de contacto generado en el proceso de homogenización. a) asiento y b) perno.

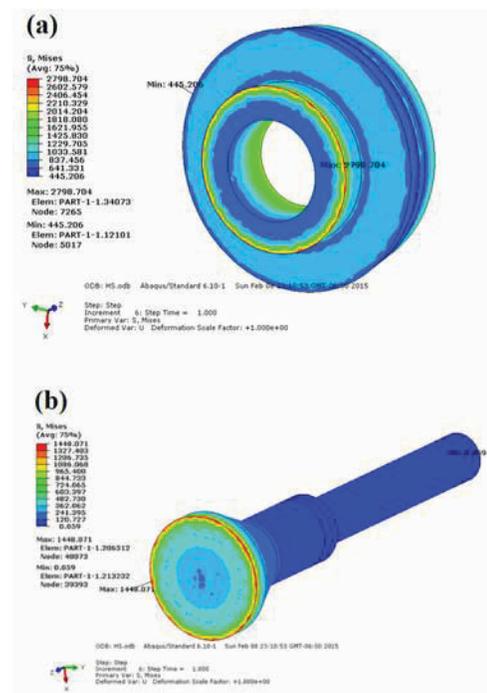


Fig. 10. Esfuerzos V. Mises generados en el proceso de homogenización, a) asiento y b) perno.

indicando la zona de falla, lo cual se deberá considerar en el diseño para el contacto de este sistema.

El presente trabajo presenta una relación de análisis metalúrgica y evaluación numérica, para el análisis de falla de componentes en contacto. Este tipo de análisis se puede emplear para componentes sometidos por fuerzas externas y estos estén relacionados por contacto.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del PRODEP, del proyecto DSA/103.5/16/10908 por UPVMEX-PTC-095 y UPVMEX-PTC-097.

Referencias

- [1] W. J. Briñez, A. X. Roig-Sagues, M. M. Hernández-Herrero, & B. Guamis-López, "Inactivation of two strains of *Escherichia coli* inoculated into whole and skim milk by ultrahigh-pressure homogenization," *Lait*, vol. 86, no (3), pp. 241-249, enero 2006.
- [2] J. Welte-Chanes, C.E. Ochoa-Velasco, J.A. Guerrero-Beltrán, "High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase," *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 10, pp. 457-462, mayo 2009.
- [3] E. Dumay, D. Chevalier-Lucia, L. Picart-Palmade, A. Benzaria, & A. Gràcia-Julà, C. Blayo, "Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 31, núm. 1, pp. 13-26, mayo 2013.
- [4] Standard, ASTM, "E3, Standard guide for preparation of metallographic specimens," West Conshohocken, PA: ASTM International, 2001.
- [5] ASM, *Fractography. ASM Metals Handbook*, vol. 12, p. 102, 1987.
- [6] C. R. Walker, & K. K. Starr, *Failure Analysis Handbook*, Pratt and Whitney, 1989.
- [7] ASM, *Metallography and Microstructure. Metals Handbook*, vol. 9., pp. 187-93, 1986.
- [8] H. Ghasemi-Nanasa, & M. Jahazi, "Simultaneous enhancement of strength and ductility in cryogenically treated AISI D2 tool steel," *Materials Science and Engineering*, núm. A 598, pp. 413-419, 2014.
- [9] Documentation, ABAQUS, *ABAQUS Analysis User's Manual*, 2010.

BIBLIOGRAFÍA LATINOAMERICANA

BIBLAT

Portal especializado en revistas científicas y académicas publicadas en América Latina y el Caribe

<http://biblat.unam.mx/es/>

Modelo sistémico axiológico para las escuelas de ingeniería en el Instituto Politécnico Nacional

Gloria **Martínez-Bejarano**¹
Nashielly **Yarzabal-Coronel**²
Julián **Patiño-Ortiz**³

¹Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Filosofía y Letras
Ciudad de México.
MEXICO.

²Universidad Anáhuac del Norte
Facultad de Educación
Ciudad de México.
MEXICO.

³Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
UPALM, Av. IPN, S/N, CP 07738,
Ciudad de México.
MEXICO.

correos electrónicos (emails): yoya23@yahoo.com
nasyara@hotmail.com
jpatinoo@ipn.mx

Recibido 23-11-2016, aceptado 03-04-2017.

Resumen

Proporcionar una educación de calidad es prioridad en el sistema educativo, principalmente en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, donde a pesar de la intención de llevar a cabo cambios fundamentales, aun no existen estrategias de implementación en el área actitudinal-valoral.

Se señala a la calidad como una prioridad que se traduzca en un mayor bienestar para la mayoría y un mayor alcance de la educación. Diversa es la problemática que enfrenta en general nuestro país y es labor de las instituciones educativas a nivel superior generar egresados capaces de repararla. Hemos diagnosticado como origen de la problemática la falta de ética en los principales sistemas que conforman a nuestro país; por ello, se realiza un análisis y síntesis de la problemática para identificar arquetipos morales utilizando la metodología de sistemas de Checkland.

Como resultado de la aplicación de la metodología al análisis axiológico se obtuvieron cuatro variables principales: honestidad, responsabilidad, servicio y justicia. Un segundo paso fue generar un instrumento diagnóstico de medición de estas variables en los estudiantes de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) en el IPN.

Los resultados de dicha encuesta nos indican que, principalmente, la honestidad y el servicio son valores que se necesitan reforzar ya que no se encuentran arraigados.

Se propone que las variables identificadas sean reforzadas en un modelo educativo sistémico para llevar a cabo una mejoría de los valores, que derivarán en un cambio de actitudes e incidir en las acciones. Dando como resultado una mayor satisfacción y mejores logros a nivel individual que impacten en un mayor bienestar social.

Palabras clave: valores, virtudes, ética, sustentabilidad, calidad educativa, visión sistémica, actitudinal-valoral.

Abstract (Axiological Systemic Model for Engineering Schools at Instituto Politécnico Nacional)

A quality education is a priority in the educative system, and mostly at Instituto Politécnico Nacional of Mexico, where, even if we detect the intention to make fundamental changes, there aren't strategies to implement in the attitudes-values field yet.

We demand quality that assure well-being for the most and more availability to education. Various is the problem faced by our country and it is a commitment for the high education to generate graduates capable to correct it. It has been diagnosed as the source of the problem the lack of ethics in the main systems that conform our country; that's why, throughout the analysis of the problem, there were identified moral archetype using the systemic methodology of Checkland.

As a result of the application of such a methodology to the axiological analysis, 4 values were considered: honesty, responsibility, service and justice. A second stage was to generate a diagnosis survey to measure values in Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, at the Instituto Politecnico Nacional.

The results of the survey show that mainly honesty and service are values no installed and need to be reinforced.

It is proposed that this values be reinforced by the application of an educative systemic model to enhance and improvement of such values that can change attitudes and actions can be done differently, such change may originate more satisfaction and better goals at a personal level that could have a beneficial impact in society.

Index terms: values, virtues, ethics, sustainability, educational quality, system vision, educative model, attitudes-values.

1. Introducción

En la actualidad se perciben a nivel mundial, y más en América Latina, corrupción, inseguridad y contaminación; observamos desigualdad, injusticia social, distribución inadecuada de los recursos y beneficios sólo para unos cuantos, generalmente, los que están en el poder. Se ha considerado que esto es debido a una crisis de valores [1] ya que los valores, generalmente, son el fundamento y causa de una adecuada toma de decisiones.

Investigaciones realizadas muestran la necesidad de un cambio en "el contexto de valor" de nuestras normas, un cambio de propósito, por el cual no nos dirigimos solamente a cambiar el medio, sino el sistema mismo de valores para así encontrar "soluciones que satisfacen la utilidad social". Ackoff [2] menciona que la verdad, la bondad y la belleza, ya constituían la tríada antigua, a la cual se le agregó el ideal de la abundancia. Sin embargo, la "abundancia" ha traído consigo la pérdida de una ética social de integración, así como también de una estética inspiradora.

En su "Modelo sistémico de planeación para la educación superior en el IPN", Patiño [3] menciona la necesidad de búsqueda de valores en cuanto a funciones político-económicas, científicas, ético-morales y estéticas. Así mismo, desarrolló un modelo conceptual donde toma en cuenta los principios de evolución consciente y el sistema de valores como bastión dirigente de todas las actividades educativas. Es necesario, señala, implementar un sistema de valores en las autoridades, académicos, los alumnos y los trabajadores. Cabe evidenciar la eficiencia del MSV (Modelo de Sistema Viable) utilizado en esta investigación.

Con base en estos principios, en el presente trabajo se investigó cuáles son los arquetipos éticos fundamentales para generar profesionistas de calidad y más comprometidos con su entorno. La investigación se centró en los alumnos del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, de acuerdo a la fórmula (1) de muestreo aleatorio que arrojó el tamaño de la muestra, equivalente a 54 participantes.

Con la conciencia de que la principal formación de valores proviene del hogar, se considera fundamental identificar los valores necesarios para reinsertarlos como parte de una educación superior de calidad.

En este sentido, se entiende por calidad la excelencia y superioridad integral [4], y es papel de los docentes e investigadores, de acuerdo al objetivo del perfil del egresado, "formar profesionistas con alto sentido ético y compromiso con su comunidad en el campo de conocimiento correspondiente",

proporcionando las herramientas necesarias para lograrlo, sin perder de vista que se requieren alumnos comprometidos y responsables en todos los ámbitos. Por tal motivo, el primer paso es identificar los valores que deben promoverse.

La investigación tiene como objetivo analizar los valores éticos que intervienen en la formación de profesionales, con el fin de identificar elementos base para generar y aplicar un modelo educativo sistémico basado en la formación de los valores identificados, que logre generar un cambio positivo en las acciones y decisiones de los estudiantes.

2. Marco teórico

En esta investigación el marco teórico comprende las áreas de exploración: 2.1. El cerebro y su relación con la Ética, 2.2. Formación educativa y sustentabilidad.

2.1. El cerebro y su relación con la ética

Paul MacLean [5] habla del cerebro triúnic, donde en realidad el cerebro humano son tres cerebros en uno (véase Fig. 1): el reptiliano (supervivencia); el sistema límbico (respuestas afectivas) que se subdivide en el paleolímbico y neolímbico, y la neocorteza (actividad superior). Estos sistemas cerebrales no funcionan de manera aislada o independiente unos de otros, sino que están en constante interacción.

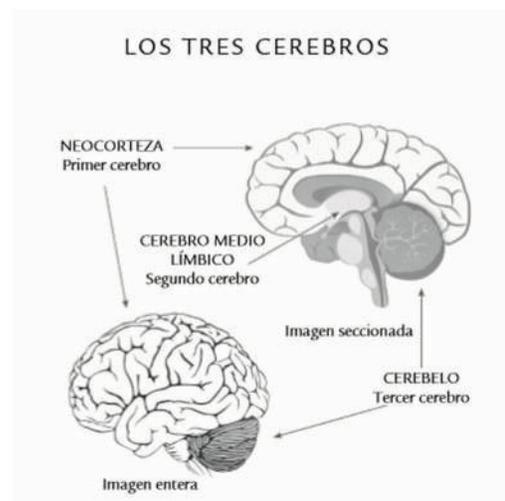


Fig. 1. El Modelo triúnic cerebral

Fuente: [5], p. 156.

Se busca pasar de las actividades del cerebro reptiliano o de supervivencia, a actividades del cerebro superior donde se desarrollan los valores y conciencia moral, que determinan la respuesta axiológica del individuo en el entorno. Mediante el modelo triúnico y la plasticidad cerebral; Dispenza [6] observa que es posible establecer nuevas conexiones cerebrales, desarrollando así el potencial de la *naturaleza humana*. Al tomar ventaja del principio de logro como uno de los principales motivantes del ser humano, se muestra al estudiante la meta a la que aspira llegar, que es actividad propia del cerebro límbico y neocortical de consciencia superior y desarrollo de virtudes para la excelencia. Esto se logra debido a que, al comprender cómo funciona el cerebro, tomamos conciencia, llegando a comprensiones más complejas mientras vamos llevando a cabo actividades superiores de consciencia (córtex). Aquí está el desarrollo de virtudes con motivaciones intrínsecas para actividades de calidad.

Con lo anterior es posible reprogramar al cerebro para cambiar y corregir los razonamientos, motivaciones y actitudes que necesariamente conducirán hacia un comportamiento más ético.

2.2. Formación educativa y sustentabilidad

La sustentabilidad es un elemento considerado en el modelo educativo propuesto, que integra los ámbitos ecológico, social y económico; sin embargo, al centro de estos tres ámbitos es importante considerar a la honestidad como uno de los valores fundamentales para un cambio tan necesario en México, como se muestra en la figura 2.

La sustentabilidad es un tema fundamental en sociedades y tecnologías emergentes [7], por lo que debe estar incorporada en las actividades académicas.

Observamos en la propuesta (véase Fig. 2), en la parte de intercepción de las áreas, tres elementos:

- a) Responsabilidad: ecológico-económica
- b) Justicia: social-económica
- c) Servicio: social-ecológico
- d) Al centro se considera la honestidad como valor primordial.

Es por lo anterior que debemos enfocarnos en el desarrollo de la Ética en las aulas, tratando de dirigir una conducta sustentable y de concientización en los alumnos.

Adicionalmente, debido a la globalización, México ha tenido la necesidad de llevar a cabo cambios en sus diferentes estructuras; con la reforma educativa que se ha venido discutiendo desde hace tiempo, se intenta actualizar algunos modelos que ya son "obsoletos". Muchos maestros fueron formados en un contexto donde las demandas sociales, demográficas y tecnológicas eran diferentes. A partir de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, México ingresa a la globalización de la economía y se adapta a nuevos modelos educativos para seguir funcionando en concordancia con el resto del mundo. Los resultados obtenidos en el Programa de Evaluación Internacional de Alumnos (PISA) 2012 [8] indican que a México le tomará más de 25 años alcanzar el nivel promedio de los 34 países de la OCDE; por lo que

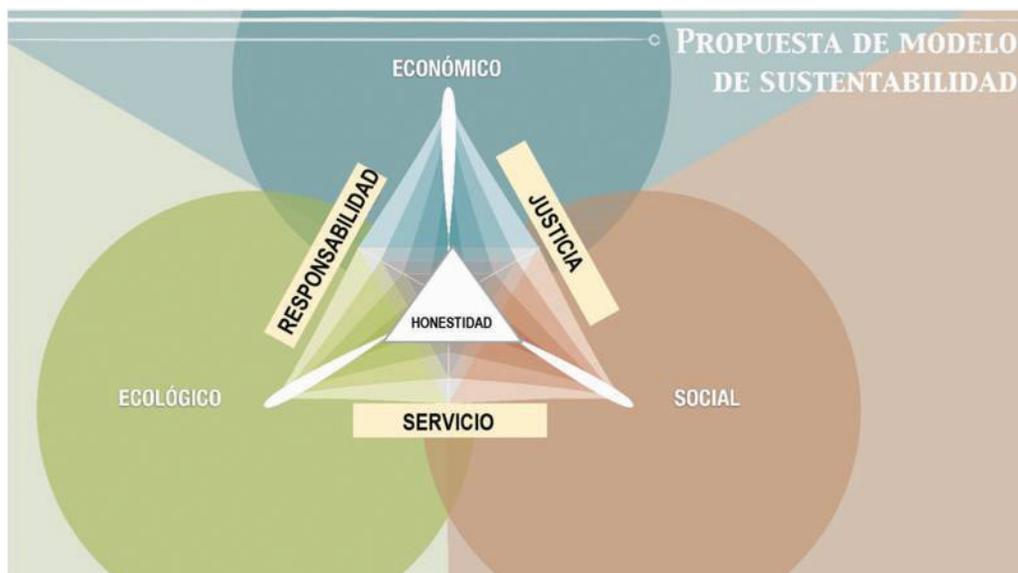


Fig. 2. Propuesta de modelo de sustentabilidad.

es necesario llevar a cabo cambios en los modelos educativos que incluyan "formar personas no sólo con competencias técnicas y epistemológicas, sino también con conciencia crítica, con autonomía, con juicio, valores, principios y ética. Además, es necesario inculcar nuevos valores a los futuros ciudadanos para que desde la infancia puedan identificar y asimilar la dignidad"[8], los valores éticos y, a su vez, transmitirlos a nuevas generaciones.

En cuanto a los programas educativos que ofrece el IPN, son intensos y extensos, con casi nula integración horizontal y vertical, es decir, entre niveles y modalidades formativas [9]. Adicionalmente se observa un problema respecto de la eficiencia terminal, la reprobación y la deserción (24%).

3. Desarrollo

3.1. Problemática

A nivel internacional, diferentes países en desarrollo se enfrentan con los siguientes problemas: falta de seguridad, corrupción, impunidad, injusticia, desigualdad, problemas ambientales y explotación desmedida de recursos; lo que refleja la pérdida gradual de valores morales y la falta de enfoques integrales en la educación para contribuir en la toma de decisiones que mitiguen la problemática.

El enfoque primordial es "saber hacer" para funcionar en el mundo actual (siglo XXI) bajo la primacía de la estructura económica capitalista, con la cultura del consumismo, considerando como fundamental la inserción del individuo en la cadena productiva. Sin embargo, no se debe olvidar que el fin último que busca el ser humano es el mayor bienestar. El "saber hacer" no deja de ser funcional y debe convertirse en un factor de desarrollo individual y social fundamentado en "saber ser". Es apremiante que las instituciones educativas integren sistémicamente este saber en contenidos actitudinales-valorales.

Con el sistema actual de egoísmo e individualismo, se han olvidado las verdaderas vocaciones; que en cualquier área siempre buscan resolver problemas para vivir mejor indivi-

dualmente y como sociedad y comprender el mundo interior y el que nos rodea; es un conocer para servir. Servir debería ser proyecto de cualquier vocación, debido a que el servicio es un valor de esferas superiores, a las que debemos tener acceso todos los adultos.

La vocación del ingeniero, al igual que la mayoría de las vocaciones, debe ser servir; por lo que se presenta la necesidad de un enfoque diferente en cada una de las profesiones, el cual debiera estar presente para reforzarlo en el aula. Los estudiantes que están cursando la carrera son los próximos aspirantes a participar en el mercado laboral, son los que en un futuro próximo tomarán decisiones y trazarán el camino de nuestro país; por lo que deben ser reformuladas sus motivaciones y los valores que fundamentan su forma de actuar; este conjunto conductual guiará su forma de vida y, por ende, su comportamiento dentro de la sociedad.

El IPN, a través de su historia, ha formado profesionistas en diversas áreas o ramas del conocimiento; dentro de estas, el área de mayor demanda ha sido la de Ingeniería y Ciencias Físico Matemáticas, pero también, desafortunadamente, ha sido una de las que presentan mayores problemas en cuanto a los indicadores de calidad (como la deserción y la eficiencia terminal) y en cuanto a los procesos académico-administrativos, que no son del todo claros.

En este sentido, se observa que el objetivo en la carrera de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica es: "Formar profesionistas con alto sentido ético y de compromiso con su comunidad en el campo tecnológico de la electrónica y las comunicaciones, capaces de: abordar y tomar decisiones con creatividad, orden y método, en relación a problemas tecnológicos; capaces de diseñar, construir y evaluar, desde diferentes puntos de vista y con fundamentos científico-tecnológicos, dispositivos o sistemas que resuelvan problemas del área. Asimismo, con formación pertinente para comunicar sus ideas mediante el lenguaje e integrar proyectos que incluyan impacto y viabilidad. Que valoren la importancia del trabajo en equipo, promoviendo la cooperación, la tolerancia, la solidaridad y la responsabilidad, o que analicen y valo-

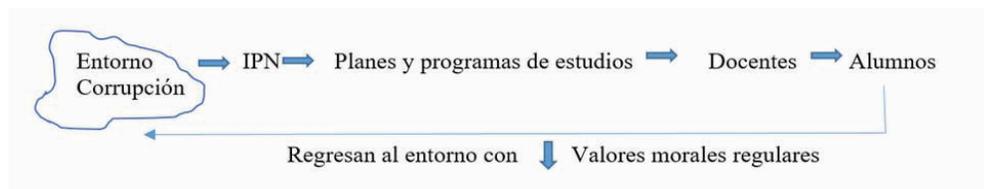


Fig. 3. Situación percibida del problema.

ren los efectos que el desarrollo tecnológico provoca en el mundo del trabajo, el medio socioeconómico y el medio ambiente". Cabe señalar que en dicho objetivo se encuentran valores y se considera a los estudiantes como agentes de cambio e impacto, además su labor en el desarrollo y aplicación de la tecnología en la actualidad es fundamental para lograrlo; por lo que es importante definir y evaluar los valores a considerar en la impartición de la educación de calidad.

Adicionalmente se observa la necesidad de generar actitudes participativas en los alumnos que privilegien el bienestar común sobre el propio beneficio. Menciona Patiño [2] que parece que el IPN está aislado del medio ambiente (véase Fig. 3) donde es palpable la crisis de valores a la que se enfrenta la educación.

Se establecen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles valores éticos son los que necesitamos reforzar e incluir en el modelo educativo para una educación integral?
2. ¿Cómo impactará la aplicación del modelo desarrollado en los indicadores de ética en el IPN?

3.2. Metodología de enfoque de sistemas

Para el desarrollo del modelo se utilizó el enfoque de sistemas: es necesario observar al sistema educativo como un sistema integral. Sistema se define de acuerdo a Bertalanffy [10] como "un conjunto de elementos en interacción" que nos permite tener una visión amplia del problema a resolver. El empleo de la filosofía de la ciencia de sistemas, como una forma diferente de proponer soluciones eficaces a problemas por su naturaleza nos da la posibilidad de comprender de manera integral el funcionamiento de un sistema determinado [11] y así poder, en primera instancia, diferenciar sus partes y comprender sus relaciones, para posteriormente proponer una solución integral a una situación problema.

En el caso de sistemas de actividad humana, el sistema puede definirse como un conjunto de individuos con historia, mitos y reglas, que persiguen un fin común. Si realmente observa-

mos a la educación como un sistema, debemos entender que diversos son los componentes que intervienen para lograr dar soluciones oportunas, efectivas e integrales. Damos soluciones con variedad, ya que la variedad sólo puede absorber y resolverse con variedad Beer [12], considerando el entorno y a través de una reflexión se llega a la aplicación de la educación con variedad como se muestra en la Fig. 4

En el presente trabajo se plantea el empleo del enfoque de sistemas, ante la necesidad de proponer una solución a un problema de carácter social y de implicaciones globales, con múltiples variables endógenas, exógenas y sus interrelaciones, lo que le caracteriza como un problema complejo.

El sistema que se estudia está clasificado como pluralista-sistémico, donde los intereses de alumnos, docentes y directivos, son diferentes entre sí, al tener diversas prioridades en cuanto a su preparación de aquellos y en general al término educación.

Así mismo se le considera como un sistema abierto debido a que posee un entorno, con quien intercambia materia-energía pero sobre todo información. Es abstracto o conceptual, ya que sus elementos son intangibles y, por otro lado, tiene elementos concretos que desarrollan la acción. Es un sistema viviente y social organizado. Por lo anterior, nos enfrentamos a un sistema complejo y de propiedades emergentes, lo que justifica el empleo de la Metodología de Sistemas Suaves (MSS) de Peter Checkland por el tema de la complejidad social.

3.3. Metodología de Sistemas Suaves de Peter Checkland

La Metodología de los Sistemas Suaves (MSS) es un modo organizado de tratar las situaciones problema de carácter social; su orientación es hacia la acción. Las fases de la metodología se muestran en la figura 5.

Como se mencionó en el párrafo anterior, la Metodología de los Sistemas Suaves (MSS) es un modo organizado de tratar

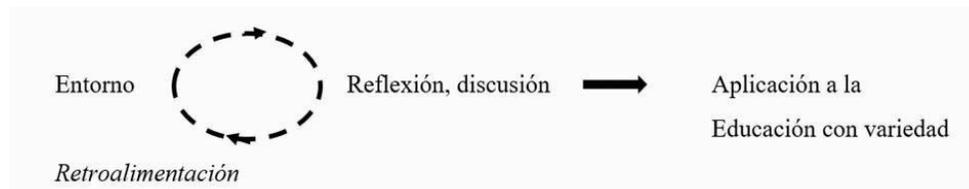


Fig. 4. Adaptación continua de la educación con variedad.

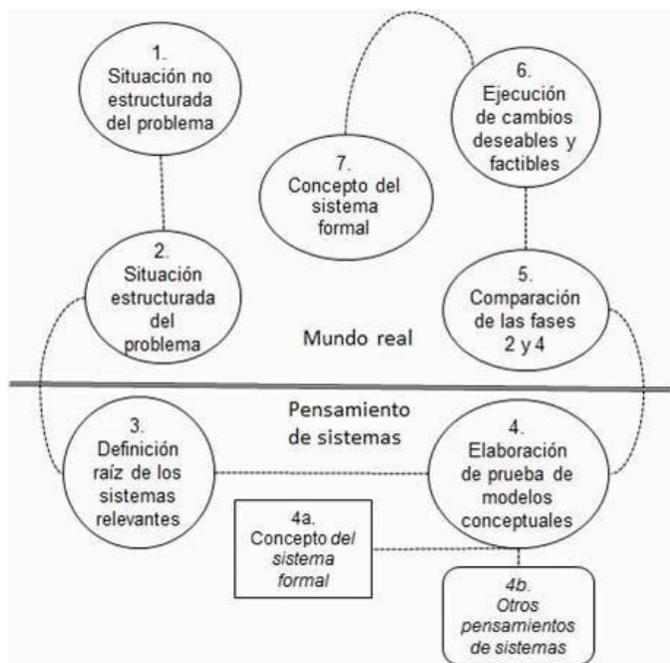


Fig. 7. Retardo térmico y amortiguamiento, Caso 4 mes de enero.

las situaciones problema de carácter social; su orientación es hacia la acción. La naturaleza de una situación-problema compleja, se debe a que se encuentra en constante cambio y su percepción difiere de un observador a otro [13].

La MSS es un proceso abierto que consta de siete principios o pasos básicos, sin principio ni fin, lo que permite emplear toda la metodología o algunas de sus fases. Una de sus grandes ventajas es que permite la retroalimentación o interacción entre sus componentes.

Definida la problemática (Paso 1), en la Tabla 1 se observa como parte del paso 5, la situación estructurada del problema (Paso 2) y los cambios que se esperarían al aplicar un modelo educativo que modifique las variables identificadas.

Sistema educativo

Sistema que forma parte de un sistema global responsable de responder a las necesidades de la sociedad y del país

Dentro del Sistema País (Sistema de Interés) tenemos diferentes sistemas que se encuentran en crisis. El sis-

Tabla 1. Comparación de problemas y aplicación del modelo.

Situación actual problemática	Aplicación de modelos
Crisis en todos los sistemas debido a crisis de valores = contravalores	Replanteamiento de valores como fundamentos de todo actuar y fundamento de la sustentabilidad
Falta de integración horizontal, vertical y transversal en la educación [8]	Integración transversal
Enfoque monodisciplinario	Enfoque multidisciplinario y sistémico
Pobre enfoque humanístico [8]	Enfoque sistémico rico en humanidades y otras disciplinas
Falta de métodos de implementación en la parte actitudinal-valoral [13]	Modelos educativos actitudinales-valorales
Falta de renovación de contenidos, métodos, prácticas y medios de transmisión del saber [14]	Contenidos actualizados, mayor capacidad de alcance
Ausencia de enfoque sistémico para la sustentabilidad	Enfoque sistémico actualizándose y retroalimentándose
Profesores poco capacitados en Ética y sustentabilidad	Profesores capacitados y altamente competentes en Ética y Sustentabilidad
Falta de comprensión de los sistemas involucrados	Nombramiento y comprensión de sistemas relevantes
Falta de transdisciplinaria y participación conjunta	Transdisciplinaria y acción participativa
Ausencia de enfoque en sustentabilidad	Enfoque en sustentabilidad
Transmisión de información deficiente y dañina	Aplicación del modelo usando TIC
Alcance pobre de la educación	Mayor alcance con aplicación de nuevas tecnologías

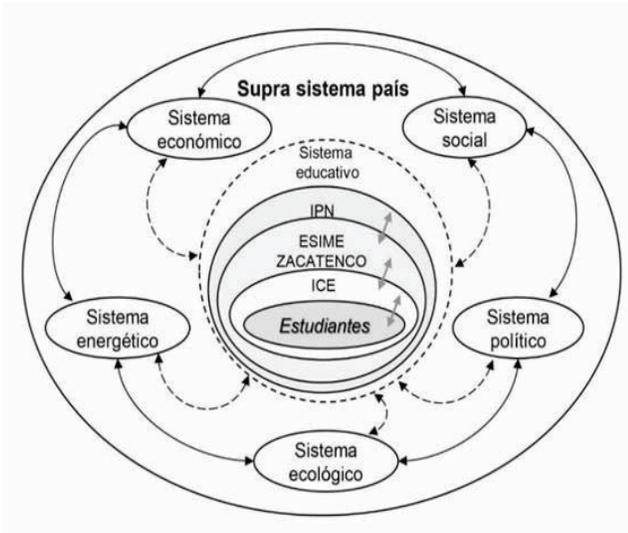


Fig. 6. Modelo de Sistema educativo involucrado.

tema fundamental en esta investigación es el educativo, específicamente en la carrera de Ingenierías en Comunicaciones y Electrónica (ICE), que se imparte en la ESIME Zacatenco, del IPN. Se observa en la figura 6 que los diferentes sistemas influyen en el sistema que nos atañe.

Sistema individuo alumno

Conjunto sistémico de influencias en el individuo sobre la formación de su propio sistema de valores

Cuando el estudiante ingresa a la institución, viene con un determinado grado de motivación, con ciertos valores éticos; los cuales están determinados por diversos factores-variables a nivel individual y que dependen del contexto geográfico, social y cultural donde se ha desarrollado; a estos factores se les considera como variables de influencia a nivel individual, siendo principalmente los que se muestran en la figura 7.

Como influencias del entorno en el desarrollo del individuo, también se pueden añadir: normas sociales y legales, ciencia,



Fig. 7. Influencias individuales en formación de valores.

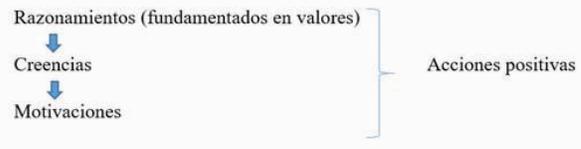


Fig. 8. Generación de acciones positivas.

perspectivas ideológicas, filosóficas y valores heredados, tecnología, cultura; además de la influencia de los sistemas citados anteriormente: económico, ecológico, político, social, energético.

Sistema razonamientos, creencias, acciones

Sistema que nos ayuda a comprender la fuente de las acciones

Uno de los fundamentos del modelo propuesto es incidir en el sistema de razonamientos y creencias del individuo para lograr un cambio de actitudes y, por ende, de acciones, como se muestra en la figura 8.

4. Resultados

4.1. Definición de arquetipos morales

Aplicando la metodología de Checkland se contempla de una forma más integral el problema y su solución. Se encontraron diferentes variables (véase Tabla 2), derivados del análisis y síntesis de los sistemas en crisis cuyo origen es una crisis de valores [1], reflejados en contravalores; se añaden en una columna los valores que contrarrestan la problemática y conforman las variables.

Dichos valores son la base de la sustentabilidad y educación de calidad, así como el encuentro de las condiciones necesarias para que los individuos cuiden de sí y ayuden a otros e incluso se preocupen por el medio ambiente y la humanidad en general, de lo cual se deducen cuatro sistemas (S) relevantes o variables.

(S1) Honestidad. Es el valor de decir la verdad, va de la mano de la honradez, relacionada con la rectitud de ánimo y la integridad en el actuar cotidiano, así como en la práctica de la justicia. Es la contraparte de la corrupción, ya que en este sentido, una persona corrupta es alguien que de forma secreta ha conseguido ventaja gracias al uso de su poder y por lo tanto ha pervertido o dañado a la comunidad.

(S2) Servicio. Es el sentido de colaboración desinteresada, donde las personas manifiestan preocupación por el bienestar de los demás y por el medio ambiente, desprendiéndose en

Tabla 2. Síntesis de problemática y sus contravalores.

Área	Problema síntesis	Contravalor o vicio	Valor
Sistema ecológico	Desequilibrio y gran daño ecológico [15]. Consumimos más de lo que la Tierra puede generar [16].	Comportamiento irresponsable, depredador y egoísta	Responsabilidad: Austeridad
Sistema energético	Sobreexplotación del petróleo [17], recurso no renovable que además genera altos índices de contaminación CO ₂ y otros.	Falta de planeación, deficiencia, Falta de responsabilidad.	Responsabilidad: Planeación, eficiencia Responsabilidad: Optimización de recursos Consumo responsable
Sistema económico	Inestabilidad, el poder adquisitivo decrece, desigualdad en la distribución del recurso económico [18], incremento del número absoluto de pobres [19] y algunos señalan que estamos en fase recesiva y de desaceleración [18].	Faltas administrativas, malos manejos Falta de honestidad y honradez Desigualdad	Responsabilidad y educación Honestidad y honradez Igualdad-Justicia
Sistema político	No hay confianza en los partidos políticos, hay corrupción (ocupamos el sitio 106 de 177 países evaluados en prácticas anticorrupción) [20] y falta de ética.	Falta de confianza Corrupción	Verdad-honestidad
Sistema social	Altos índices de inseguridad, distribución de los recursos no equitativa, corrupción, además de analfabetismo, exclusión social, inseguridad económica y negación de libertad política [21].	Inseguridad Violencia Inequidad Corrupción Falta de cooperación Egoísmo, consumismo	Responsabilidad: Buena administración de la justicia Equidad - justicia Honradez-honestidad Servicio
Sistema educativo	Modelos obsoletos. "Rémoras político-sindicales, caciquismo gremial, complicidades, falta de planes de estudios estructurados, maestros mal capacitados y peor pagados renuentes a ser evaluados, infraestructura precaria, son los factores que mantienen postrado al país en materia educativa." [22], bajo presupuesto y alta deserción escolar [23].	Obsolescencia Mala planeación y administración Ineficacia-falta de alcance	Responsabilidad: Actualización Responsabilidad: Administración y planeación sistémica =adaptable Educación de calidad
Sistema tecnológico	Miles de alumnos se quedan sin ingreso a alguna universidad. Necesidad de tecnología en el aula y adaptación docente [24]. La inversión en conectividad en México no ha generado los resultados esperados [25].	Infraestructura deficiente Conexión limitada, deficiente, insuficiente, lenta, insegura, peligrosa para la salud.	Responsabilidad: Alcance- Educación a distancia sistémica

ocasiones de bienes materiales, sacrificando tiempo y esfuerzo personal para ayudar a otros sin esperar, necesariamente retribución alguna. Esto con el fin de contrarrestar el egoísmo, que es una de las fuentes principales de los problemas de corrupción, desigualdad y daño ecológico [15].

(S3) Responsabilidad. Permite al individuo reflexionar, administrar, orientar y valorar las consecuencias de sus actos. Es considerada como un valor moral. Una persona responsable es consciente de las consecuencias de sus acciones y premedita cualquier decisión, reconoce su papel y trata de cumplirlo en función del bien común.

Dentro de este concepto se incluye la austeridad. Las consecuencias del consumismo desmedido, como acto irresponsable, han generado la sobreexplotación de los recursos naturales. De acuerdo con Bandura [27], dar sustento a la población nos exige limitar el consumo y llevar una vida de mayor austeridad, moderación y contacto directo con el ecosistema.

(S4) Justicia. Se busca el bien propio y el de la sociedad. Dentro del concepto justicia se encuentran la equidad, el respeto, la igualdad y la libertad, como deberes y derechos inherentes a todo ser

humano. Hasta hace poco se aceptaba que las dos grandes causas de la degradación ambiental eran la sobrepoblación y el consumismo. Oskamp [28] y Ehrlich [29] ofrecen evidencias de que existe una tercera, que compite con las anteriores: la inequidad. De acuerdo con estos autores, una minoría de la población mundial es responsable de la mayor parte de la contaminación, del cambio climático, del desempleo, del agotamiento de los recursos y de la pérdida de la biodiversidad, que experimenta el planeta.

Como dice Corral: "la justicia que corresponde a los derechos o leyes naturales, como el hecho de liberarse de los sesgos del favoritismo". Equitatividad se define como "tratar justa e igualmente a todos", mientras que igualdad se define como "la cualidad o el estado de ser similar a los otros" [16]. Alguien justo distribuye equitativamente los recursos.

En la figura 9 se muestra la definición de las variables y su funcionamiento sistémico dentro de la problemática.

4.2. Modelo propuesto

Integrando el marco teórico, la síntesis de la problemática, los sistemas involucrados, los valores y contravalores, y emplean-

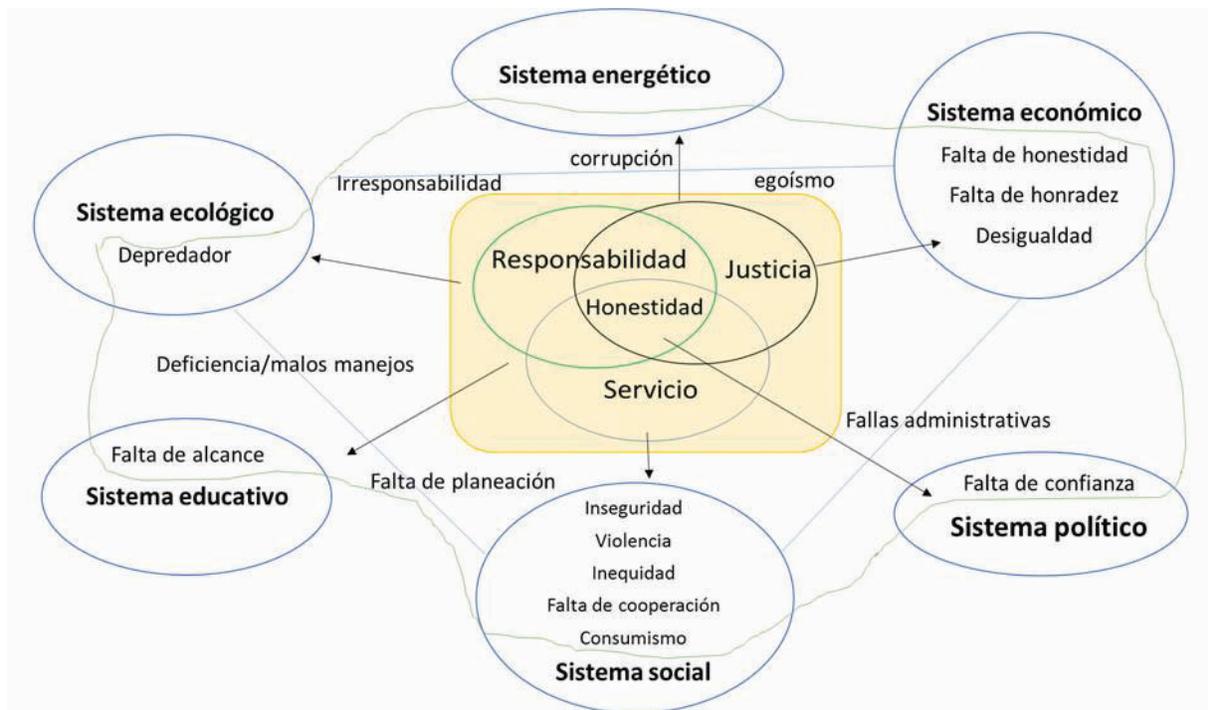


Fig. 9. Variables y problemática.

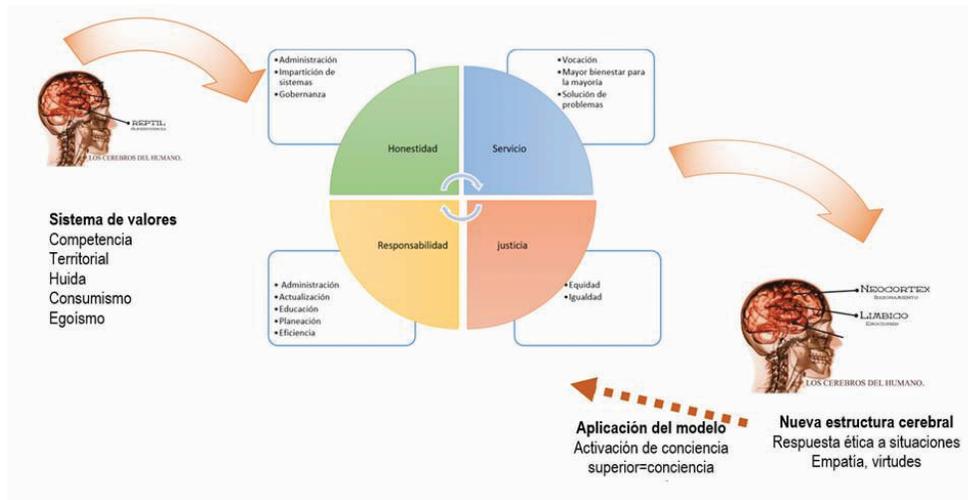


Fig. 10. Modelo propuesto.

do la metodología de Checkland, paso 4, se diseñó el siguiente modelo (véase Fig. 10).

La siguiente etapa consiste en desarrollar un instrumento de medición de estas variables para aplicarlo a los estudiantes y jerarquizar el grado de cumplimiento de estos valores.

4.3. Investigación diagnóstica de campo (empírica)

Con base en el modelo diseñado que integra los valores identificados, se diseñó una encuesta diagnóstica para conocer la situación real. Se implementó un estudio de campo no experimental, mediante la aplicación de un instrumento de investigación para obtener la información de las variables. El estudio es descriptivo debido a que se examinan las variables.

El instrumento se diseñó para medir actitudes, predisposiciones individuales a actuar de cierta manera en contextos sociales específicos, es decir, actuar en favor o en contra de personas, organizaciones, objetos, etc., para medir actitudes o acciones éticas y sustentables.

El instrumento de medición es una encuesta de 20 reactivos

que miden las 4 variables: Honestidad, Responsabilidad, Servicio y Justicia, con una escala Likert, con valores de 1 a 5, donde 5 es una respuesta favorable: Totalmente de acuerdo; 4 De acuerdo; 3 Ni de acuerdo ni desacuerdo; 2 En desacuerdo; y 1 Totalmente en desacuerdo.

Con un universo de 462 alumnos, de 11 grupos, que cursan el mismo semestre de humanidades, con un nivel de confianza de 90%, un error máximo de estimación de 10%

y una p (proporción de individuos que poseen la característica de estudio) de 0.5, aplicando la fórmula, se obtuvo la muestra de 59. Para ajustar se eligieron 3 grupos diferentes dando un total de 54 alumnos.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \text{ donde } n_0 = p(1-p) \left[\frac{z \left[1 - \frac{\alpha}{2} \right]}{d} \right]^2 \quad (1)$$

Así mismo, se realizó una encuesta piloto de manera aleatoria con el fin de verificar que las preguntas fueran entendidas por los alumnos.

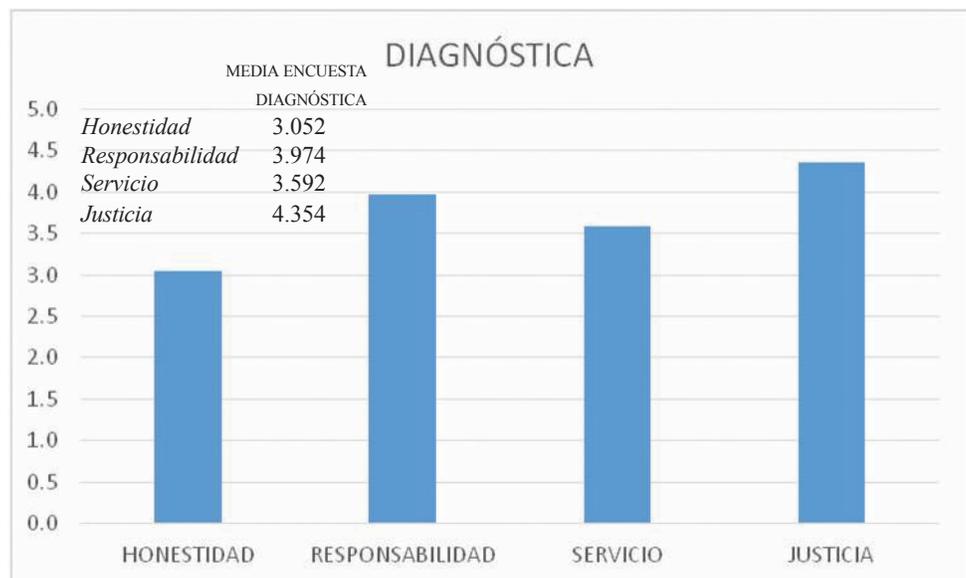


Fig. 11. Gráfica de resultados, medias de encuesta diagnóstica.

Tabla 3. Variables, reactivos y medias.

	Variables	Media	Desviación estándar	Media variable principal
HONESTIDAD	1. Nunca he copiado en los exámenes.	2.32	1.123	
	2. Nunca daría una mordida a algún policía o funcionario público.	2.77	1.171	
	3. Nunca miento a los profesores.	3.13	.981	
	4. Si me encuentro dinero en la calle o un objeto, nunca me lo quedo sin preguntar.	2.72	1.321	
	5. Nunca acepto dinero o regalos para hacer favores ilegales.	4.32	1.105	3.1
RESPONSABILIDAD	6. Apago computadora, aparatos y luz cuando no los ocupo.	4.21	.906	
	7. Siempre me hago responsable de las consecuencias de mis actos.	4.04	1.240	
	8. Tiro la basura en su lugar y la separo por orgánica e inorgánica.	3.30	1.202	
	9. Hago lo que me corresponde con los trabajos en equipo.	4.30	.668	
	10. Aviso con tiempo cuando no puedo participar en algo que ya había quedado.	4.02	.820	4.0
SERVICIO	11. Trato de ayudar a quien lo necesita sin importar si lo conozco o no.	3.17	1.051	
	12. Cedo mi lugar en el transporte a ancianos, discapacitados, mujeres embarazadas o con niños.	4.26	.763	
	13. En mi casa regalamos las cosas que ya no utilizamos y están en buen estado.	3.70	.992	
	14. Ayudo a compañeros y compañeras cuando lo necesitan.	3.79	.906	
	15. Dono cuando está en mis posibilidades.	3.04	1.372	3.6
JUSTICIA	16. Mi pareja tiene el mismo derecho que yo de decidir sobre nuestras actividades.	4.68	.728	
	17. En el aula, todos tenemos los mismos derechos y somos tratados como iguales entre compañeros.	4.64	.736	
	18. En mi casa, los niños tienen el mismo derecho que los adultos en tomar decisiones importantes para la familia.	3.64	1.128	
	19. En mi casa, hombres y mujeres tienen las mismas obligaciones de aseo en a casa.	4.34	.876	
	20. Mi trato hacia los compañeros de clase es el mismo independientemente de su forma de vestir, clase social, aseo o genero.	4.47	.890	4.4

Para la validación del instrumento se utilizó el software SPSS, con la prueba de fiabilidad de alfa de Cronbach, obteniendo un resultado de $0.695 = 0.7$, el cual garantiza la validez del instrumento de investigación.

La encuesta diagnóstica aleatoria se aplicó de forma impresa a 54 alumnos de ESIME Zacatenco, del IPN, a inicios del 2º semestre del 2015. Para analizar la información se utilizó el programa SPSS, de IBM, para el procesamiento de datos y con el fin de obtener la estadística descriptiva, como se muestra en la Tabla 3. En dicha tabla, se exponen además los ítems del instrumento de investigación y las variables que representan. Se expone también una estadística descriptiva que muestra la media del ítem, la desviación estándar del ítem y a la extrema derecha, la media de los ítems que integran la variable. Obteniendo así el resumen de medias:

	MEDIA ENCUESTA DIAGNÓSTICA
<i>Honestidad</i>	3.052
<i>Responsabilidad</i>	3.974
<i>Servicio</i>	3.592
<i>Justicia</i>	4.354

4.4. Interpretación de resultados

Observamos que dentro de las cuatro variables: Honestidad, Responsabilidad, Servicio y Justicia, la variable Honestidad tiene la ponderación menor con una media de 3.1, lo que refleja una respuesta neutra, y muestra un aspecto negativo para considerarlo arraigado en esta investigación, ya que un valor se tiene o no se tiene, no se pueden obtener valores medios. La variable Servicio tiene una media de 3.6, lo que tampoco es favorable. La variable Responsabilidad presenta una media de 4.0 y la variable Justicia 4.4, lo cual representan un aspecto más favorable en relación con las variables anteriores, lo cual significa que estos valores tienen mayor presencia en la vida de los alumnos.

Por lo tanto es en las variables de Honestidad y Servicio en las que se debe incidir implementando el modelo diseñado en este trabajo, con el fin de mejorar la formación moral de los estudiantes y la calidad educativa.

Finalmente, se propone que las 4 variables sean consideradas en el modelo educativo, ya que, como se mencionó, estas se tienen o no se tienen y, debido a que son sistémicas, se involucran unas con otras.

5. Conclusiones

El modelo propone la adquisición de valores, mediante la aplicación de un enfoque sistémico, ético y sustentable, con lo cual es posible llevar a cabo modificaciones en el sistema de valores.

Se observa que las variables a considerar como arquetipos éticos son: honestidad, servicio, responsabilidad y justicia, como resultado de la aplicación del enfoque de sistemas.

La Honestidad es la variable con ponderación más baja, seguida del servicio, por lo que se debe poner mayor atención en el papel que juegan en el modelo, dado que esto debe contribuir a la solución de la problemática.

Se desarrolló un modelo que incluye estas cuatro variables a modificar para que sean integradas en las actividades del cerebro prefrontal como resultado de una reprogramación de valores éticos en los estudiantes.

Se debe privilegiar una enseñanza transversal con contenido más humanístico apoyada en contenidos actitudinales-valorales, así como una mejor comprensión de los sistemas involucrados, con el fin de lograr una franca mejoría en las variables consideradas, en el sentido de que los estudiantes reconsideren la ética y la responsabilidad mediante acciones morales positivas. Se observa que hay gran oportunidad de trabajo de investigación en esa área.

Se observa, además, la necesidad de permear a toda la institución y al sistema educativo la importancia y formación de valores para que realmente exista un cambio sustancial.

Recomendaciones

Se propone que para obtener resultados más significativos se aplique el Modelo de Sistema Viable de Stafford Beer como una alternativa más completa de implementación sistémica a nivel institucional.

Este es un estudio que busca motivar a futuras investigaciones sobre formación de valores y ética en el aula, y sobre el cambio de estructura en las conexiones de la corteza cerebral mediante la aplicación de modelos sistémicos que incorporen las tendencias e investigaciones innovadoras en las cuatro áreas de conocimiento del IPN.

Se recomienda el desarrollo de un Modelo más integral que permita, en una segunda etapa, su aplicación en las aulas mediante estrategias didácticas en caminadas a mejorar la práctica de los valores en la vida cotidiana de los alumnos. De tal forma que en una segunda a aplicación del instrumento de investigación al grupo de control, se denote el cambio positivo de actitudes en los alumnos.

Referencias

- [1] J. González, *El poder del eros*. México: Paidós, 2000.
- [2] R. Ackoff, *Planeación de la empresa del futuro*, México: Ed. Limusa, 1995.

- [3] J. Patiño, "Modelo sistémico de planeación para la educación superior en el IPN," Disertación Doctoral, Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional, 2006.
- [4] G. Gómez, *Breve diccionario etimológico de la lengua española*, 2ª ed., México: Fondo de Cultura Económica, 2001.
- [5] P. MacLean, *The triune brain in evolution: role in paleocerebral functions*, Nueva York: Planum Press, 1990.
- [6] J. Dispenza, *Deja de ser tú, la mente crea la realidad*, Barcelona: Urano, 2012.
- [7] A. Espinosa, & J. Walker, "Complexity Management in practice: A Viable System Model intervention in an Irish eco-community," *European Journal of Operational Research*, 225, 2012.
- [8] J. R. de la Fuente, México vive su peor crisis educativa, *Revista Variopinto*, disponible en <http://revistavariopinto.com/nota.php?id=252#U3zIcNJ5OSo>, 2013.
- [9] Instituto Politécnico Nacional, *Un nuevo modelo educativo para el IPN*, México: IPN, Dirección de publicaciones, 2004.
- [10] L.V. Bertalanffy, *Teoría General de Sistemas*, México: FCE, 1986.
- [11] J. Wadsworth, *Análisis de sistemas de producción animal, Tomo 1: Las Bases conceptuales*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Roma, FAO, 1997.
- [12] S. Beer, *The Intelligent Organization, Part 1* [video], Monterrey: Tec de Monterrey, proporcionado por Livias Cantú, J. 1990.
- [13] P. Checkland, & J. Scholes, *Soft systems methodology in action*. Chichester: Wiley, 1990.
- [14] F. Díaz Barriga, & G. Rojas, *El aprendizaje de diversos contenidos curriculares, Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*, México: McGraw-Hill, 1999.
- [15] UNESCO, *Enfoques estratégicos sobre las TICs en la educación en América Latina y el Caribe*, Oficina Regional de Educación para América Latina y Caribe OREALC/UNESCO, Santiago, Chile, 2013.
- [16] V. Corral, *Psicología de la sustentabilidad*, México: Trillas, 2012.
- [17] CNN en español, En 2013 necesitaremos 2 planetas para sobrevivir, (en línea), disponible en <http://cnnespanol.cnn.com/2012/05/16/en-2030-necesita-remos-dos-planetes-para-vivir/#0>
- [18] G. Gil, *Dinero en imagen*, consultado el 23 de octubre de 2012, disponible en <http://www.dineroenimagen.com/2012-10-23/9367>
- [19] CNNExpansión, Economía, (en línea), disponible en <http://www.cnnexpansion.com/economia/2014/05/07/economia-mexicana-en-fase-de-recesion>. Consultado: marzo 2014.
- [20] M. A. Pallares-Gómez, "Cae poder adquisitivo 77.79% en México, según estudio de la UNAM, Investigación y Desarrollo ID," *El Universal*, consultado el 30 de abril 2014, (en línea) disponible en <http://www.invdes.com.mx/ciencia-mobil/4452-cae-poder-adquisitivo-77-79-en-mexico-segun-estudio-de-la-unam>
- [21] E. Moctezuma, "¿Hasta cuándo México?," *El Universal*, p. A 21. 07-03-2014.
- [22] E. Di Castro, "La justicia en un mundo globalizado," [ponencia], *Quinto congreso internacional sobre ética, Gobernanza y Desarrollo*, 2011.
- [23] T. Montalvo, *México, el peor de la OCDE en educación*, (en línea), disponible en <http://www.animalpolitico.com/2013/12/mexico-el-peor-de-la-ocde-en-matematicas-lectura-y-ciencias/#axzz32Mk9WV7n>
- [24] E. Calderón, F. Flores, L. Gallegos, G. De la Cruz, J. Ramírez, & R. Casteñeda, "Laboratorios de ciencias en el bachillerato: tecnologías digitales y adaptación docente," *Apertura*, vol. 8, núm. 1, pp. 1-11, 2016.
- [25] Reforma, *Conectividad en México*, viernes 4 de nov 2016, (en línea) disponible en kiosco.jet/Mx/2016_11_04/np/mx_reforma.html. Consultado en febrero 2017
- [26] A. Bandura, "Environmental sustainability by socio-cognitive deceleration of population growth," en P. Schuck & P.W. Shultz (Eds.), *Psychology of Sustainable Development*. Norwell, Massachusetts: Kluwer, 2002.
- [27] S. Oskamp, "A sustainable future for Humanity?," *American Psychologist*, vol. 55, pp. 496-508, 2000.
- [28] P. Ehrlich, & A. Ehrlich, *One with Niniveh. Politics, Consumption and the Human Future*, Washington, DC: Island Pres, 2004.

BIBLIOGRAFÍA LATINOAMERICANA | BIBLAT

Portal especializado en revistas científicas y académicas publicadas en América Latina y el Caribe

<http://biblat.unam.mx/es/>

Portal de Portales Latindex

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

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

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

www.latindex.ppl.unam.mx

Tecnologías bluetooth aplicadas al control de vehículos terrestres no tripulados para aspersión de agroquímicos en plantas ornamentales

Omar Cristian **Vargas-González**¹

Nicandro **Farías-Mendoza**¹

Eduardo **Flores-Gallegos**¹

Carlos Enrique **Maciel-García**²

Ernesto **Cárdenas-Zanabria**²

¹Instituto Tecnológico de Colima
Departamento de Posgrado en Sistemas Computacionales
Av. Tecnológico 1, Villa de Alvarez Colima, CP 28000.
MEXICO.

²Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
Departamento de Electrónica e Instrumentación
Av. Tecnológico 100, Ciudad Guzman Jalisco, CP 49100.
MEXICO.

correos electrónicos (emails): cristian.vargas@itcolima.edu.mx
nfarias@itcolima.edu.mx
g154600@itcolima.edu.mx
cemaciel@itcg.edu.mx
ernezt56@hotmail.com

Recibido 13-12-2016, aceptado 24-03-2017.

Resumen

La aplicación de innovaciones científicas y tecnológicas en la agricultura es conocida como "agricultura de precisión". Un ejemplo de estas aplicaciones es la utilización de desarrollos tecnológicos como los vehículos terrestres no tripulados (UGV) para la realización de diversas actividades de la agricultura, en este ámbito, México presenta escaso desarrollo, por lo que algunas de estas actividades de producción todavía son realizadas artesanalmente o con maquinaria obsoleta. En este artículo se desarrolló el prototipo de un vehículo terrestre no tripulado operado a distancia para la aplicación de agroquímicos en viveros de plantas ornamentales. Para la construcción de este vehículo se requirió el desarrollo de un sistema de control de conducción que utiliza las consignas enviadas desde un aplicación instalada en un smartphone o una tableta utilizando bluetooth para la comunicación y el control a distancia de los actuadores electromecánicos del

vehículo, de tal manera que se realicen recorridos y se ejecute la aplicación segura de agroquímicos por aspersión en plantas de ornato, reduciendo drásticamente la exposición humana a sus elementos químicos nocivos.

Palabras clave: agricultura de precisión, vehículo no tripulado terrestre (UGV), bluetooth.

Abstract (Bluetooth Technologies Applied for Control of Unmanned Ground Vehicles (UGV) for Agrochemicals Aspersión on Ornamental Plants)

The application of scientific and technological innovations on agriculture is known as "precision agriculture". An example of these applications is the utilization of Unmanned Ground Vehicles (UGV) for diverse agricultural activities, in this scope, Mexico lacks of development on this matter, as a result some of these activities of production are still handcrafted or using obsolete machinery. In this paper was developed the prototype of an unmanned terrestrial vehicle remote operated for safe application of agrochemicals in ornamental plants vivariums. The construction of this vehicle required the development of a driving control system that receives instructions from a smartphone or tablet app using Bluetooth for communicating and signaling actions remotely to the electromechanical actuators of the vehicle in such a way that routes are realized executing the main task of agrochemicals safe spraying on ornamental plants. This research contributes with a succinct design approach on control systems for UGVs utilizing Bluetooth communication technologies obtaining as a result full driving control of the unmanned vehicle, additionally, because of using a recreational tractor vehicle as the motored powerbase and other electronic low cost components, makes it more affordable to agricultural activities compared to other similar proposed developments.

Index terms: precision agriculture, Unmanned Ground Vehicle (UGV), bluetooth.

1. Introducción

En los últimos años, la agricultura ha experimentado el desarrollo de avances tecnológicos y nuevos métodos estratégicos y

de producción. Esta especialización tecnológica de la agricultura es llamada en la actualidad agricultura de precisión, esto es: el manejo de la variabilidad agrícola para mejorar los beneficios económicos y reducir el impacto tecnológico en el medio ambiente [1].

Los principales beneficios de la agricultura de precisión son:

- Una mejor gestión de la producción y una optimización de recursos humanos.
- Permite reducir costes al hacer un uso más racional de los insumos agrícolas.
- Mejora la rentabilidad de los cultivos y disminuye el impacto ambiental, ya que la aplicación de agroquímicos es dirigida y ajustada a los requerimientos reales de cultivo.

En la actualidad, la integración de tecnologías en los procesos de cultivos es indispensable pues presentan una gran oportunidad de aumentar la calidad y producción de las plantas, automatizar procesos y así como de eficientar de los recursos disponibles para su producción. Nuevos conceptos se están desarrollando para permitir que la automatización agrícola prospere y pueda entregar todo su potencial. En algunos aspectos, esto requiere cambios de paradigmas. La automatización avanza de forma gradual, de tal manera que los nuevos dispositivos mejoran a sus predecesores, este ha sido un enfoque exitoso pero ignora otras alternativas de solución al mismo problema y en ese aspecto emerge una oportunidad que los científicos están estudiando para cambiar la automatización de las labores agropecuarias con grandes maquinarias, por nuevas máquinas inteligentes de pequeñas dimensiones [2].

Un ejemplo de esta aplicación de avances tecnológicos en la agricultura es el uso de vehículos no tripulados para la realización y automatización de diversas tareas de producción en el campo. En los últimos años, la utilización de estos vehículos terrestres no tripulados en la agricultura de precisión se ha desarrollado vertiginosamente. Países como Colombia [3], España [4], China [5], Estados Unidos [6] e India [7], entre otros, realizan importantes innovaciones en el campo de los vehículos terrestres no tripulados para la realización de diversas actividades de agricultura tales como el nivelado del terreno, detección de hierbas, irrigación y dispersión de agroquímicos. En México, como en el caso de los demás países en vías de desarrollo, las actividades agropecuarias se han caracterizado por ser artesanales con un escaso aprovechamiento de la tecnología y muchas veces con actividades agrícolas de subsistencia [2], por tal motivo, la existencia de vehículos terrestres no tripulados para la realización de actividades en la agricultura es prácticamente nula.

Los vehículos no tripulados son herramientas que no llevan piloto o son controladas remotamente. Adicionalmente pueden portar cámaras, sensores e incluso armas [8]. Los vehículos no tripulados serán los dispositivos más importantes al servicio de la humanidad en el futuro cercano. Se clasifican en 4 tipos: vehículos submarinos no tripulados (*Unmanned Underwater Vehicles*, UUV), vehículos marinos no tripulados (*Unmanned Surface Vehicles*, USV), vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAV) y los vehículos terrestres no tripulados (*Unmanned Ground Vehicles*, UGV) [9]. Estos vehículos son utilizados actualmente en diversos ámbitos como: el militar, la inspección y vigilancia de líneas eléctricas y de tuberías, el patrullaje de fronteras, las misiones de rescate, el monitoreo de regiones, la búsqueda de petróleo y gas natural, la prevención de incendios, la topografía y desastres naturales, la agricultura, la entrega de paquetes, etcétera [10]. Además, estos vehículos pueden ser usados en algunas situaciones que incluyan algún riesgo de seguridad para los seres humanos [11].

Un vehículo terrestre no tripulado (UGV) es un vehículo operando en contacto con la tierra, cargando equipo o materiales y suplementos, sin presencia humana a bordo [12]. Generalmente, hay dos clases de vehículo terrestres no tripulados (UGV): los operados remotamente y los vehículos autónomos. Un vehículo terrestre no tripulado de operación remota es aquel que realiza acciones con base en las instrucciones dadas por un operador en un lugar remoto a través de un enlace de comunicación. Todos los movimientos son determinados por el operador de acuerdo a información sensorial de entrada como puede ser observación en línea de visión o video cámaras digitales. Por otra parte, un vehículo autónomo utiliza inteligencia artificial (IA) en todo su curso de acciones [13].

En los vehículos autónomos operados remotamente, el control remoto puede llevarse a cabo vía infrarrojo, radiofrecuencia RF (bluetooth, Wi-Fi) o tecnología GSM [14], cada una de estas tecnologías de comunicación tienen diferentes características que las hacen más idóneas para cierto tipo de aplicación. Mientras que los sistemas de comunicación infrarrojo no pueden proveer comunicación a través de obstáculos y los sistemas de radio frecuencia tienen un área de trabajo limitada, la tecnología GSM se sobrepone fácilmente a estas limitaciones [15], sin embargo, al depender completamente de la disponibilidad y cobertura de la red mundial GSM en el lugar donde se utilice, la convierte en una opción tecnológica no viable para el vehículo aquí propuesto, puesto que está destinado principalmente para su uso en zonas rurales remotas, donde existe poca o nula cobertura del servicio GSM.

De acuerdo a las características del ambiente de trabajo (zonas rurales en su mayoría) y a las necesidades de comunicación donde se utilizará el vehículo terrestre no tripulado se propone el establecimiento de una red móvil de comunicación de bajo costo para el intercambio de información de control entre solo dos dispositivos (punto a punto, operador a distancia máxima de 50 m), así como la facilidad de poder utilizar casi cualquier dispositivos móvil comercial como tabletas o teléfonos celulares para el control del vehículo terrestre no tripulado propuesto, se designó el protocolo de comunicación bluetooth como el más adecuado en este proyecto. La tecnología bluetooth está diseñada como una solución de conectividad de corto alcance para dispositivos electrónicos personales y portátiles [16]. Es una propuesta de especificación disponible públicamente para radiofrecuencia (RF), de rango corto, para la transferencia punto a multipunto de voz y datos; también soporta conexiones punto a punto. Opera en la banda de 2.4 GHZ ISM (industrial, científica y médica) y está basada en un enlace de radio de corto alcance y bajo costo que facilita conexiones *ad hoc* para ambientes de comunicación estacionarios y móviles [17].

Con el propósito de automatizar y eficientar las diversas actividades de producción agrícola en nuestro país y haciendo uso de las ventajas que ofrece la tecnología actual para el control y automatización de vehículos no tripulados, se propone el desarrollo de un prototipo de un vehículo terrestre no tripulado controlado remotamente vía bluetooth mediante una aplica-

ción instalada en un smartphone o tableta para la aplicación segura de agroquímicos en plantas de ornato.

El prototipo del vehículo terrestre no tripulado propuesto (véase Fig. 1) está conformado por un microcontrolador ArduinoMega 2560 como módulo electrónico de control y procesamiento, encargado de recibir las señales de control emitidas vía bluetooth desde una aplicación Android (GUI) para la conducción del vehículo. Posteriormente, la unidad de control procesa esta información a través del algoritmo de programación elaborado y la traduce en los impulsos electrónicos necesarios para el control de tres parámetros básicos de conducción: aceleración, frenado y dirección, llevados a cabo por un motor de corriente continua de 12v para el sistema de tracción y un servomotor de 12v acoplado al sistema de dirección para el control de la dirección del vehículo recreacional del tipo tractor, que sirve de plataforma estructural para el prototipo de vehículo no tripulado presentado en este artículo.

La aplicación de agroquímicos es realizada por el subsistema de aspersión mediante una bomba electrónica encendida a discreción de manera remota, a través de la utilización de dos pistolas de aspersión tipo varilla alimentada por un tanque de 50lts dispuesto a bordo del UGV y colocadas una por cada lado del vehículo. Finalmente, la programación del controlador y los ajustes necesarios se realizan a través de una laptop en conexión directa o bien mediante la utilización de un módulo de telemetría de 533 Mhz con un receptor conectado a la tarjeta del microcontrolador ArduinoMega, designado para el sistema de control del vehículo.

2. Desarrollo

El tipo de investigación empleada para este artículo es la investigación aplicada o tecnológica. Como lo definen Jorge *et al.* [18], la investigación aplicada tiene como objetivo crear nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos a través de la investigación estratégica para determinar si estos pueden ser útilmente aplicados con o sin mayor refinamiento para los propósitos definidos.

2.1. Sistema desarrollado y sus componentes

Para el desarrollo de este vehículo no tripulado fue necesario determinar las restricciones y las condiciones del ambiente de tra-

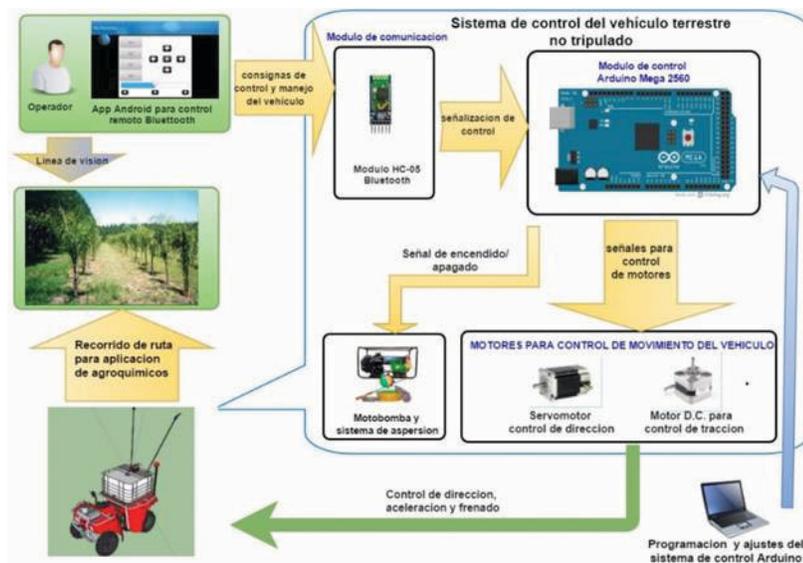


Fig. 1. Esquema de propuesta de solución.

bajo donde desempeñará sus funciones, buscando definir un tipo específico de cultivo de plantas de ornato para ajustar el prototipo del vehículo autónomo propuesto a las condiciones específicas de estos plantíos (altura, follaje, tipo de terreno, distancia entre líneas de cultivo, etcétera).

Como resultado de este análisis preliminar, se seleccionó un plantío de palmeras en desarrollo (altura máxima de 5 m) como cultivo base para la realización de pruebas de este prototipo, cuya característica principal es que cuenta con una distancia promedio de 1 m entre líneas de plantas (ancho de ruta), considerando esta información como básica para el diseño de un vehículo no tripulado acorde a las características físicas de este tipo de cultivos.

2.1.1. Diseño estructural y de control de movimiento del vehículo

El diseño estructural de este prototipo se basó en la elección y adaptación de un vehículo eléctrico tipo tractor provisto de un motor eléctrico de corriente continua de 12v para la tracción trasera y de dirección manual para el cambio de dirección (véase Fig. 2).

Para dar cumplimiento al propósito de transporte de agroquímicos y ejecución de la tarea de aplicación por aspersión, el vehículo debe contar con suficiente capacidad de carga para transportar un pequeño tanque de agua de 50 l provisto con una bomba y dos pistolas para aspersión del tipo varilla. De acuerdo a estas características se diseñó un modelo 3D del prototipo en Skechthup para mostrar la colocación del equipo de aspersión propuesto (véase Fig. 3).



Fig. 2. Vehículo eléctrico tipo tractor.



Fig. 3. Modelo 3D del prototipo del vehículo terrestre propuesto.

Para la automatización del sistema de dirección manual, se requirió el diseño de un sistema de dirección electrónica asistida que consta de un marco estructural de solera de aluminio comercial fabricado a medida, acoplado al eje actual de plástico del vehículo, así como de la adaptación de una columna de dirección y un motor de cc de 12v con un torque de 50kg/cm para el control del giro de la dirección por medio de impulsos electrónicos (véase Fig. 4).

2.1.2 Diseño del sistema electrónico de control y comunicación por bluetooth

Para el sistema de control electrónico y de comunicación por Bluetooth se requirieron varios componentes electrónicos, todos de costo muy accesible y que pueden encontrarse con facilidad en la mayoría de las tiendas de robótica y electrónica o de aficionados a vehículos de radio control.



Fig. 4. Componentes para el control de dirección del vehículo: marco de aluminio y columna de dirección con motor cc acoplado.

El control y la programación requerida para el manejo de los motores es realizado por un microcontrolador Arduino Mega 2560, los comandos de encendido de motores y movimiento del vehículo son enviados utilizando una aplicación Android instalada en una tableta y la cual está enlazada con un módulo de comunicación inalámbrica bluetooth HC05, conectado al puerto de comunicación serial ST1 del Arduino como se muestra en la figura 5.

El diseño del circuito necesario para abastecer con suficiente potencia al motor de tracción del vehículo requirió del uso de una batería de 12V de motocicleta con capacidad de 5A, así como de un puente H Dual VNH2SP30 motor Driver Carrier que tiene como características principales un voltaje de 12V y una tolerancia de picos de corriente de hasta 30A en las dos salidas provistas para el control eficaz de ambos motores.

2.1.3. Programación del sistema de control

La programación requerida por el sistema de control Arduino para el establecimiento de la comunicación inalámbrica bajo el estándar bluetooth y el reconocimiento de comandos para el control electrónico de motores ,enviados por la aplicación de control y manejo del vehículo instalada en la tableta Android, consta de una secuencia de código programado en C++ que utiliza condicionales *if* y la espera de un carácter enviado por la aplicación Android para la identificación de la instrucción de control deseada que puede ser: Avance, Retroceso, Giro a la Derecha, Giro a la Izquierda, encendido general del vehículo (para ambos motores de corriente directa de tracción y dirección) y el encendido y apagado del subsistema de aspersión de agroquímicos.

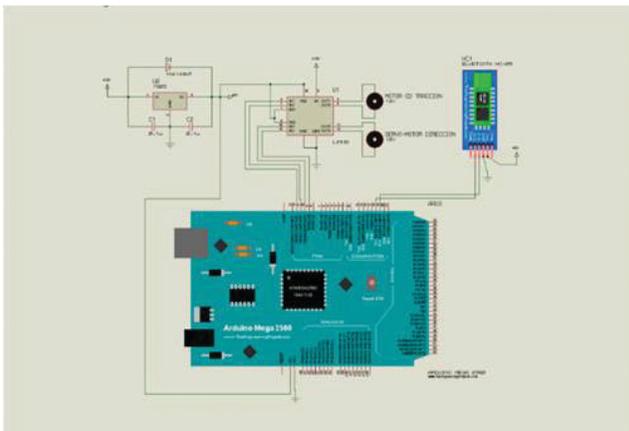


Fig. 5. Esquema del sistema de control electrónico y de comunicación.

En la figura 6 se muestra una sección del código correspondiente a la recepción del carácter identificador de la instrucción seleccionada por el operador en la aplicación de control de conducción Android instalada en la tableta o smartphone. Dicho carácter de control es recibido por el puerto serial 1 de comunicación enlazado al módulo bluetooth, el carácter es procesado para su identificación a través de los condicionales *if* con la finalidad de realizar la secuencia de instrucciones correspondientes al comando de control seleccionado, así como la retroalimentación al puerto serial para mostrar el comando seleccionado en la interfaz de control del operador.

2.1.4. Aplicación Android para el control de conducción del vehículo

La interfaz gráfica requerida para el control y la conducción del vehículo fue elaborada en una aplicación Android configurable para el desarrollo de diversas prácticas electrónicas de control con bluetooth, registrada con el nombre de *Bluetooth Electronics*, de descarga gratuita en Google Store.

Como puede apreciarse en la figura 7, esta interfaz configurada a medida consta de botones para el avance, retroceso, giro a la derecha, giro a la izquierda, encendido y apagado general de motores así como para el encendido del subsistema de aspersión (bomba eléctrica de 12v), además consta de tres monitores rectangulares colocadas al centro las cuales muestran información respecto a las instrucciones en ejecución, a manera de suministrar retroalimentación al operador.

```
void loop()
{
  // datos disponibles en el buffer
  if( Serial1.available() )
  {
    int inByte = Serial1.read();
    Serial.write(inByte);

    // Procesar comando de un solo byte
    if( inByte == 'F' )
    {
      digitalWrite(ledpin1, HIGH);
      digitalWrite(ledpin2, LOW);
      delay(300);

      Serial.println("FORWARD");
      Serial1.println("fFORWARD*");
    }

    if( inByte == 'R' )
    {
      digitalWrite(ledpin3, HIGH);
      digitalWrite(ledpin4, LOW);
      digitalWrite(ledpwm, HIGH);
      delay(30);
      digitalWrite(ledpwm, LOW);
      digitalWrite(ledpin3, LOW);

      Serial.println("RIGHT");
      Serial1.println("sRIGHT*");
      delay(100);
      Serial1.println("s **");
    }
  }
}
```

Fig. 6. Sección de código del sistema de control.



Fig. 7. Interfaz de control de conducción del vehículo.

3. Resultados

3.1. Comunicación inalámbrica bluetooth

Se realizaron varias pruebas de comunicación bluetooth entre el sistema de control y la interfaz de conducción, con él envió de los comandos de encendido y apagado del vehículo, así como los comandos de avance, retroceso, derecha e izquierda fueron efectuadas con la finalidad de determinar la distancia máxima de alcance en dos tipos básicos de terrenos, a campo abierto (terreno despejado) y en terrenos con características similares al cultivo base seleccionado.

La distancia máxima de comunicación de acuerdo al estándar IEEE 802.15.1 para redes inalámbricas de Área Personal (WPAN) Bluetooth establece un límite de alcance de 100 m en condiciones ideales, sin embargo, con las pruebas efectuadas al vehículo en los dos tipos de terrenos especificados anteriormente, se determinó que el límite de distancia entre la estación base y el vehículo no debe rebasar los 80 m, esto con la finalidad de evitar la pérdida momentánea de comunicación así como la no respuesta del sistema de control del vehículo a los comandos enviados, constatada en las pruebas efectuadas con distancias mayores de 90 y 100 metros, además, es necesario que el operador mantenga línea de visión con el vehículo, lo que también reduce el límite máximo de operación a una distancia no mayor a los 50 m para evitar colisionar el vehículo con las plantas u otros objetos dispuesto en la ruta de trabajo.

3.2. Diseño estructural del vehículo y sistema de control de movimiento

Las pruebas realizadas al vehículo, correspondientes al diseño estructural, de piezas adaptadas y motores para el control

de movimiento del vehículo y para soporte de la carga, muestran que el vehículo y sus componentes puede soportar sin problema el peso de carga designado que es de aproximadamente 50 kg manteniendo una velocidad crucero de 1 m/s.

Los motores de tracción y de dirección mostraron una respuesta rápida a los comandos de encendido y apagado, avance y retroceso, giro a la izquierda y la derecha del vehículo aun en las condiciones de carga máxima con el tanque de agroquímicos lleno y los componentes necesarios para la aspersión.

3.3. Sistema de aspersión de agroquímicos

El sistema de aspersión de agroquímicos cumplió con las expectativas de operación para el cultivo de palmeras propuesto (altura de 5 m). Sin embargo, será necesario mejorar el sistema de aspersión que manera que se pueda modular la dosificación de acuerdo al tipo de planta requerido, en lugar de realizar una dosificación estándar que en ciertos cultivos incrementaría el desperdicio de agroquímicos.

4. Conclusiones

El uso de vehículos autónomos para la realización de diversas actividades en diferentes campos de aplicación se ha incrementado en los últimos años. Muchos de estos UGV son desarrollados en varios países por universidades, compañías privadas e instituciones militares. Aunque actualmente estos vehículos no tripulados están migrando de la operación remota a la autonomía móvil robótica, siguen siendo herramientas indispensables para relevar al humano de la realización de actividades peligrosas o repetitivas.

En este contexto, ha sido construido un prototipo funcional de un vehículo no tripulado controlado remotamente vía bluetooth cuyo propósito principal es el de recorrer plantíos y aplicar agroquímicos en plantas de ornato, siguiendo un enfoque de bajo costo, el uso de este vehículo reducirá de manera significativa los problemas de salud de los trabajadores responsables de la aplicación de agroquímicos, atendiendo las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. El prototipo del vehículo tipo tractor fue construido para la aspersión de agroquímicos en plantas ornamentales; sin embargo, puede ser utilizado en otro tipo de cultivos con requerimientos similares, mostrando una amplia adaptabilidad para su uso.

El vehículo fue desarrollado a nivel de prototipo, presentado limitaciones de autonomía y distancia para su control, sin embargo representa un primer paso para la experimentación con vehículos terrestres no tripulados.

Para continuar con esta investigación, en lo futuro se recomienda mejorar el sistema de comunicaciones empleado (bluetooth) para reducir las limitaciones de distancia y autonomía actuales, así como la utilización de tecnologías sensoriales como son GPS, ultrasonido y sensores de video, para lograr que el vehículo realice recorridos preprogramados de manera autónoma.

Agradecimientos

Se agradece al CONACyT (México) por la beca recibida para los estudios de posgrado. Se agradece al TecNM por el apoyo financiero brindado para el desarrollo del proyecto del Sistema Unificado para la Trazabilidad de la Producción y Comercialización de Plantas Ornamentales. Se agradece al Instituto Tecnológico de Colima y al Instituto Tecnológico de Ciudad Guzman por las facilidades otorgadas para el uso de instalaciones y equipo para el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] B. Blackmore, "A systems view of agricultural robots," en 6th *European conference on precision agriculture (ECPA) Proceedings*, pp. 23-31, Skiathos, Grecia, 3-6 junio, 2007. [en línea]. Disponible en: <http://hotgram1.filmiro.com/31/43/53/46340386431435364.pdf>
- [2] I. Ramírez, B. Ruilova y J. Garzón, *Innovación Tecnológica en el Sector Agropecuario*, Ecuador: UTMACH, 2015. [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Ramirez_Morales/publication308938342_Innovacion_tecnologica_en_el_sector_agropecuario/links/57f8f60408ae280dd0dbdf9.pdf
- [3] P. Martín-Gómez, O. Hernández-Mendoza, & J. Toquica-Arenas, "Diseño y simulación de un vehículo prototipo para la distribución automática de fertilizantes agrícolas," *Épsilon*, núm. 24, pp. 49-70, enero 2015. Disponible en: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/2227>
- [4] A. Ruiz-Larrea, J. Roldan, M. Garzón, J. Del Cerro, & A. Barrientos, "A UGV Approach to Measure the Ground Properties of Greenhouses," *Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference*. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 418. Springer, Cham. [en línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-27149-1>
- [5] P. Wang, L. Yubin, L. Xiwen, Z. Zhiyan, Z. Wang, & Y. Wang, "Integrated sensor system for monitoring rice growth conditions based on unmanned ground vehicle system," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 7, núm. 2, pp. 75-81, abril 2014. [en línea]. Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/64665b09c9e01774580b0d1747ccf1f0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2028921>
- [6] P. Tokekar, J. Hook, D. Mulla, & V. Isler, "Sensor Planning for a Symbiotic UAV and UGV System for Precision Agriculture," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 32, núm. 6, pp. 1498-1511, diciembre 2016. [en línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7587351/> Consultado: 12 Marzo, 2017.
- [7] B. Sridevi, G. P. Kumar, & P. Omprakash, "Design of sovereign unmanned ground vehicle for manfree agriculture based on hue navigation algorithm using raspberry pi2.," *International Journal of Research in Advanced Technology - IJORAT*, vol. 1, núm. 7, pp. 14-19, julio 2016. [en línea]. Disponible en: <http://ijorat.com/papers/Vol1Issue7p04.pdf>
- [8] R. Yan, S. Pang, H. Sun and Y. Pang, "Development and missions of unmanned surface vehicle," *Journal of Marine Science and Application*, vol. 9, núm. 4, pp. 451-457, diciembre 2010. [en línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11804-010-1033-2>
- [9] L. Seyfi, & I. Akbulut, "Implementation of unmanned ground vehicle with a smartphone," *International Journal of Computer Science and Mobile Applications*, vol.2, núm. 11, pp. 01-10, noviembre 2014. [en línea]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/290168067_Implementation_of_Unmanned_Ground_vehicle_with_a_Smartphone
- [10] K. P. Valavanis, *Advances in Unmanned Aerial Vehicles*, Netherland: Springer, 2007. [en línea]. Disponible en: <http://www.springer.com/gp/book/9781402061134>
- [11] P. Fofilos, K. Xanthopoulos, E. Romanos, K. Zikidis, & N. Kanellopoulos, "KERVEROS I: An Unmanned Ground Vehicle for Remote-Controlled Surveillance," *Journal of Computations & Modelling*, vol.4, núm. 1, 2014, pp. 223-236, [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Konstantinos_Zikidis/publication/259503287_KERVEROS_I_An_Unmanned_Ground_Vehicle_for_Remote_Controlled_Surveillance/links/00b4952c5866c9902e000000.pdf
- [12] G. K. Dey, R. Hossen, M. Noor, & K. T. Ahmed, "Distance controlled rescue and security mobile robot," en *2013 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, pp. 1-6, Dhaka, Bangladesh, 17-18 mayo 2013. [en línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6572602/>
- [13] S. Mithleysh, A project report on "Unmanned Ground Vehicle," bachelor, Rajiv Gandhi Institute of Technology, Cholanagarr, Hebbal, Bengaluru, India, 2011. [en línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/8361656/Unmanned_Ground_Vehicle_UG_thesis_full_version
- [14] S. Banerji, "Design and Implementation of an Unmanned Vehicle using a GSM network with Microcontrollers," *International Journal of Science, Engineering and*

- Technology Research*, vol. 2, núm. 2, pp. 367-374, junio 2013. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/241278692_Design_and_Implementation_of_an_Unmanned_Vehicle_using_a_GSM_Network_without_Microcontrollers
- [15] A. Kelkar, "Implementation of Unmanned Vehicle using GSM Network with Arduino," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4, núm. 4, pp. 509-516, abril 2014. Disponible en: https://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume_4/4_April2014/V4I4-0385.pdf
- [16] C. Bisdikian, "An overview of the Bluetooth wireless technology," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, núm. 12, pp. 86-94, diciembre 2001. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=968817&isnumber=20896>
- [17] R. Shorey, & B. A. Miller, "The Bluetooth technology: merits and limitations," en *2000 IEEE International Conference on Personal Wireless Communications. Conference Proceedings* (Cat. No.00TH8488), Hyderabad, India, 6 agosto 2000, pp. 80-84. [en línea]. Disponible en: doi: 10.1109/ICPWC.2000.905777
- [18] J. Tam-Malaga, G. Vera, & R. Oliveros-Ramos, "Tipos, métodos y estrategias de investigación científica," *Pensamiento y acción*, vol.1, núm.5, pp.145-154, 2008. [en línea]. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf.

Sistema de Información Científica Redalyc

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

www.redalyc.org

El Proyecto Aula, metodología para el desarrollo de competencias profesionales

María Elena Zepeda-Hurtado^{1a}

Laura Campos-Monroy²

Maricela Cuéllar-Orozco^{1b}

¹Instituto Politécnico Nacional

^{1a}Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos, "Wilfrido Massieu" (CECyT 11), Av. de los Maestros #217, Col. Agricultura, 11340, Ciudad de México.

^{1b}Escuela Superior de Ciencias Administrativas Prolongación de Carpio 471, Colonia Plutarco Elías Calles, Delegación Miguel Hidalgo, CP 11340, Ciudad de México. MEXICO.

²Instituto de Enlaces Educativos

Rinconada Camino a Sta. Teresa #1040 Of. 702, Col. Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP 14210. MEXICO.

correos electrónicos (emails): mezepedah@ipn.mx
lauracamposm@hotmail.com
mcuellar02@hotmail.com

Recibido 01-12-2016, aceptado 31-03-2017.

Resumen

El caso de investigación que se analiza en este artículo fue llevado a cabo en el Nivel Medio Superior del Instituto Politécnico Nacional de México, en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 11, "Wilfrido Massieu", se basa en la implementación del "Proyecto Aula", que consiste en llevar a la práctica las metodologías de modelos educativos actuales: aprendizaje basado en problemas y aprendizaje colaborativo para el desarrollo de competencias genéricas, disciplinares y profesionales de las carreras de físico-matemáticas. Para documentar esta investigación-acción, se emplearon diferentes técnicas e instrumentos: observación, encuesta y entrevista de la población involucrada. El resultado es la generación de conocimientos en el amplio sentido, teóricos, actitudinales y procedimentales, es decir, en el desarrollo de competencias, a través de la elección y delimitación del tema: sustentabilidad.

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos, trabajo colaborativo, competencias profesionales.

Abstract (The Classroom Project, Methodology for the Development of Professional Competences)

The case of research analyzed in this article was carried out in the Higher Level of Instituto Politécnico Nacional (Mexico) at Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 11, "Wilfrido Massieu", is based on the implementation of the known "Proyecto Aula", which consists of implementing the Methodologies of current educational models: problem-based learning and collaborative learning for the development of generic disciplinary and professional competencies of physics-mathematics careers. To document this action research, different techniques and instruments were used: observation, survey and interview of the population involved. The result is the generation of knowledge in the broad sense, theoretical, attitudinal and procedural, that is, in the development of competencies, through the choice and delimitation of the theme: sustainability.

Index terms: project-based learning, collaborative work, professional skills.

1. Introducción

México al igual que otros países del mundo, se ha visto en la necesidad de actualizar y de mejorar la calidad de la educación con el fin de que los estudiantes tengan una formación integral y logren aprendizajes que son necesarios como lo exige el siglo XXI, requiere individuos con perfiles personales y laborales diferentes a los que hace pocos años se exigían. Esto ha propiciado la búsqueda de modelos educativos que respondan a las necesidades actuales, que ayuden a formar personas que además de mostrar conocimientos, desarrollen habilidades, destrezas y actitudes que los hagan competitivos a nivel mundial, en los ámbitos profesional, laboral y social, personas capaces de tomar decisiones, solucionar problemas, de trabajar colaborativamente, etcétera.

En medio de este mundo globalizado, competente y exigente en la solución de problemas, las instituciones mexicanas de educación tienen el reto de incidir de manera significativa. Como lo menciona Estrada [1], deberán de ajustarse a las exigencias de la sociedad del conocimiento, y de la demanda de las nuevas necesidades de la sociedad, ya que de no hacerlo, corren el riesgo de convertirse en instituciones arcaicas que, en el peor de los casos, tienden a desaparecer. En

este mismo sentido, el reto para los estudiantes, de acuerdo con Area [2], es que sean capaces de desenvolverse en un contexto de colaboración y de permanente interacción social donde, además, cuenten con el conocimiento necesario para resolver situaciones que cambian constantemente.

Una forma en que las instituciones pueden incidir en la formación de los perfiles requeridos, es a través del empleo de metodologías y estrategias que se concreten en el aula: aprendizaje basado en problemas, trabajo colaborativo, estudio de casos, entre otros.

El Aprendizaje Basado en Problemas también conocido como ABP por sus siglas, lo define Pimienta [3] como una metodología en la que se investiga, interpreta, argumenta y propone la solución a uno o varios problemas, creando un escenario simulado de posible solución y analizando las probables consecuencias. El rol de profesor es de guía y el de alumnos toma un papel activo.

El ABP tiene como característica especial resolver un problema, por lo que el proyecto deberá estar orientado a la acción, logrando una conexión entre la teoría y su aplicación. Una vez que se identifica el problema, se establecen hipótesis, alternativas y se realiza la simulación. En este proceso el profesor acompaña, orienta, supervisa y guía al estudiante. Las ventajas del uso ABP, son: el desarrollo del pensamiento crítico, la capacidad de búsqueda de información, así como su análisis e interpretación, la toma de decisiones, además de acercar al alumno con el mundo real.

En el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, en el Nivel Medio Superior, se ha implementado en todos los niveles o semestres el "Proyecto Aula", considerado como una metodología que conjunta el ABP, estudio de casos, el trabajo colaborativo, la investigación documental y, en algunos casos, la investigación experimental, en miras de contribuir al perfil de egreso del bachiller y del técnico-profesional egresado de las carreras del área físico-matemáticas, que oferta el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 11 (CECyT 11): Construcción, Telecomunicaciones, Procesos industriales e Instalaciones y Mantenimiento Eléctricos, además, que desarrolla las competencias genéricas, disciplinares y profesionales para continuar los estudios a Nivel Superior o para el campo laboral.

2. Desarrollo

En el Nivel Medio Superior, el Instituto Politécnico Nacional, desde el 2004, propone un Modelo Educativo centrado en el aprendizaje, sugiere una nueva concepción del proceso educativo promoviendo una educación integral, la diversifica-

ción de los espacios de aprendizaje y la introducción de metodologías de enseñanza que otorguen prioridad a la innovación, la capacidad creativa y el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Una formación que capacite a sus egresados para el aprendizaje a lo largo de la vida y para el ejercicio profesional.

El Modelo Educativo del IPN, tiene como característica principal, estar centrado en el aprendizaje del estudiante, para promover:

- a) Una formación integral y de alta calidad científica tecnológica y humanística
- b) El desarrollo equilibrado de conocimientos actitudes y valores
- c) Una sólida formación que facilite el aprendizaje autónomo [4]

El Modelo Educativo IPN, además de integrar los procesos formativos, se amplía a otras funciones como: investigación, vinculación, extensión y difusión, para concretar estos principios en el aula es necesario considerar nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje, dentro de otras acciones se ha dirigido a la aplicación de una metodología didáctica que busca consolidar la formación integral de los estudiantes, desarrollando conocimientos, habilidades, actitudes y valores, en acciones orientadas al aprendizaje autónomo y colaborativo, una de estas estrategias propuesta e implementada desde el 2008 es el "Proyecto Aula".

El Proyecto Aula es una estrategia que se centra en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), emplea la gestión, búsqueda y producción de conocimientos [4]. Fomenta el trabajo autónomo, toma de decisiones y aplicación en un entorno social, fomenta el trabajo colaborativo e interdisciplinario de alumnos y maestros, fomenta el desarrollo de competencias.

El ABP emplea las TIC en su desarrollo, a través del uso de procesadores de texto, hojas de cálculo, bases de datos, software para dibujar y manejar imágenes, etc., así como el uso de periféricos: cámaras, equipo de video, escaners e impresoras; y el uso de los navegadores de búsqueda en internet que proporcionan documentos hipermediales que contienen texto, sonido, gráficas, imágenes, animación y video, lo que genera en los jóvenes motivación en el aprendizaje, les permite seleccionar temas de interés.

Como lo menciona Martin [5], con el ABP asistido por las TIC los alumnos aprenden a resolver problemas y realizan tareas apoyándose y haciendo buen uso del poder de un conjunto de herramientas para potenciar la mente. Area [6] expone que frente al aprendizaje como una experiencia individual el reto es utilizar

la tecnología para generar procesos de aprendizaje colaborativo entre los alumnos de la clase y entre clases geográficamente distantes. Una de las potencialidades más interesantes de las redes digitales es su capacidad para intercambiar información independientemente del tiempo y del espacio, en consecuencia, facilita la comunicación entre alumnos y profesores más allá del aula.

El Proyecto Aula incluye el aprendizaje colaborativo también conocido como aprendizaje cooperativo, Pimienta [7] lo define de la siguiente manera: el aprendizaje cooperativo implica aprender mediante equipos estructurados y con roles bien definidos, orientados a resolver una tarea específica a través de la colaboración.

En el aprendizaje colaborativo, las actividades dentro del proceso enseñanza-aprendizaje necesarias son: la definición de una meta, integrar equipos, puntualizar los roles, asignar y realizar actividades, buscar la complementariedad para enriquecer los resultados y compartir en plenaria los resultados alcanzados y la experiencia de trabajar en equipo. Fomenta en los alumnos habilidades como la capacidad de análisis para resolver problemas, de trabajar en equipo, las habilidades comunicativas y para el aprendizaje autónomo, la toma de decisiones, además de prepararlos para que sean capaces de desenvolverse en un contexto de colaboración y de permanente interacción social donde, además, el conocimiento necesario para resolver situaciones cambia constantemente.

El aprendizaje colaborativo brinda la oportunidad de aprender con y a través de otros, como lo menciona Pojulas [8] pueden aprender juntos alumnos diferentes (en capacidad, interés, motivación, cultura, lengua, origen social...) en una clase organizada cooperativamente, en la cual todos colaboran y cooperan, se ayudan, para alcanzar el objetivo común de progresar en el aprendizaje, cada uno hasta el máximo de sus posibilidades. El mismo autor menciona: algunas competencias sociales (como practicar el diálogo y la negociación para resolver conflictos; trabajar en equipo aportando lo que uno sabe junto a lo que saben los demás para resolver juntos problemas comunes, entre otras), ¿cómo se pueden desarrollar en un aula organizada de forma individualista, en la cual los alumnos prácticamente no interactúan entre sí, o en una aula competitiva, en la cual compiten unos con otros? Difícilmente se pueden practicar y, por lo tanto, aprender, estas competencias y otras, si los alumnos no tienen la oportunidad.

León [9] va más allá sobre las ventajas del aprendizaje cooperativo: constituyen una metodología innovadora que puede ayudar a resolver los problemas más acuciantes en el ámbito educativo, como el fracaso escolar, la falta de motivación, las

relaciones profesores alumno, el maltrato entre iguales y, por supuesto, el tratamiento de la multiculturalidad en el aula.

Por todas estas razones aquí expuestas, sería pertinente aprovechar las bondades del Aprendizaje Basado en Proyectos y del Aprendizaje Colaborativo, retomando ideas de Gutiérrez [10], en nuestro quehacer docente se deben emplear metodologías y herramientas que nos permitan seguir trabajando en la participación activa por parte del alumnado, que les permita buscar la información, analizarla, compartirla, editar nueva a partir de esta y, especialmente, aprender a gestionar sus propios procesos de aprendizaje.

Es así que el Proyecto Aula es "una propuesta metodológica en el aula que permite incorporar los aprendizajes de las asignaturas en un semestre a la solución de un problema, a partir de un proyecto, aplicando a través de todo el proceso de enseñanza aprendizaje y estrategias didácticas que permitan a los estudiantes no solamente adquirir conocimientos, sino también habilidades y actitudes" [11], entonces, como afirman Blank, Dickinsion *et al.* [12]: "los alumnos desarrollan habilidades y competencias tales como colaboración, planeación de proyectos, comunicación, toma de decisiones y manejo del tiempo, por lo que es una propuesta eficiente para el desarrollo de competencias".

El desarrollo del Proyecto Aula tiene una metodología definida, cada proyecto coincide con el inicio de cada semestre y se concluye al término del mismo, con posibilidades de la continuidad o de cambio. Las etapas que lo conforman son:

1º Etapa. Reunión de profesores de las asignaturas impartidas al grupo, para iniciar la planeación de un proyecto que relacionara los objetivos de aprendizaje y los contenidos de las asignaturas involucradas.

2º Etapa. Acordar el desarrollo de competencias y aprendizajes a alcanzar durante el semestre, es decir, el aporte de cada asignatura, los productos esperados y las formas de evaluar el proyecto (evidencias parciales, instrumentos de evaluación y evidencia integradora).

3º Etapa. Reunión de profesores, tutor y estudiantes para definir el tema del proyecto o la hipótesis de trabajo, es así como se conforma el grupo colaborativo (profesores y alumnos) para elegir el tema y cada profesor involucrado haga los ajustes a su planeación didáctica realizada, sin forzar la planeación que se elaboró al interior de la academia. En esta etapa queda definida la participación de cada profesor en el desarrollo del proyecto, en donde se establece qué competencia genérica va a desarrollar desde su unidad de aprendizaje. Esto se puede observar en la Tabla 1: Matriz de competencias.

Tabla 1. Matriz de competencias.

 INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA ACADÉMICA DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR DIVISIÓN DE INNOVACIÓN ACADÉMICA DEPARTAMENTO DE PROYECTOS EDUCATIVOS		MATRIZ DE COMPETENCIAS SEGUNDO NIVEL																				
		FDEMS-01/12																				
COMPETENCIAS DISCIPLINARES		COMPETENCIAS GENÉRICAS																				
		1. Se conoce y valora a sí mismo y aborda problemas y retos teniendo en cuenta los objetivos que persigue.	2. Es sensible al arte y participa en la apreciación e interpretación de sus expresiones en distintos géneros.	3. Elige y practica estilos de vida saludables.	4. Escucha interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados.	5. Desarrolla innovaciones y propone soluciones a problemas a partir de métodos establecidos.	6. Sustenta una postura personal sobre temas de interés y relevancia general, considerando otros puntos de vista de manera crítica y reflexiva.	7. Aprende por iniciativa e interés propio a lo largo de la vida.	8. Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos.	9. Participa con conciencia cívica y ética en la vida de su comunidad, región, México y el mundo.	10. Mantiene una actitud respetuosa hacia la interculturalidad y la diversidad de creencias, valores, ideas y prácticas sociales.	11. Contribuye al desarrollo sustentable de manera crítica, con acciones responsables.										
GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA	Resuelve situaciones problemáticas relacionadas con su entorno académico y social, construyendo y aplicando modelos matemáticos lineales y cuadráticos que le permitan comunicar y argumentar los resultados obtenidos mediante el razonamiento matemático.				X																	
COMPUTACIÓN BÁSICA II	Maneja herramientas informáticas vigentes que le permiten operar la computadora, buscar y organizar información, procesarla y presentarla electrónicamente en un contexto social, académico y laboral.				X																	
FILOSOFÍA II	Demuestra la validez formal de los razonamientos por medio de los principales métodos deductivos para la construcción de conocimiento en términos formales.	X							X											X		
INGLÉS II	Expone información acerca de sus actividades cotidianas y eventos en el pasado por medio de expresiones y frases sencillas, compara y elige productos en contextos simulados y reales en lenguaje formal e informal de manera oral y escrita.								X													
COMUNICACIÓN Y LIDERAZGO	Aplica las estrategias y técnicas de liderazgo a través de la solución de problemas social, personal y profesional								X													
BIOLOGÍA BÁSICA	Aplica los conocimientos generales de la biología, vinculados con los avances científicos y biotecnológicos, para prevenir y resolver problemas en diferentes contextos, con una actitud crítica y reflexiva.												X							X		
EXPRESIÓN ORAL Y ESCRITA II	Elabora mensajes expresivos de manera oral y escrita empleando los recursos de la literatura en diversos contextos.								X													X
HISTORIA DE MÉXICO II	Explica los procesos históricos de México a partir del siglo XX enmarcado en el contexto mundial, sustentando una postura personal para participar de manera crítica y reflexiva en la sociedad																		X	X		
ORIENTACIÓN JUVENIL Y PROFESIONAL II	Aplica el proceso de toma de decisión considerando aspectos de su desarrollo personal, académico y social.	X																				

FORMATO OFICIAL DEMS

Una vez que se establecen las competencias genéricas, también en cada unidad de aprendizaje, se definen cuáles son las competencias disciplinares, actividades, estrategias o productos, el tiempo en el que se abordan y con las que se va a desarrollar el proyecto, esto se puede observar en la Tabla 2: Protocolo del Proyecto.

4º Etapa. Reuniones para enlazar las actividades entre las unidades de aprendizaje, realizar un cronograma para calendarizar las sesiones de seguimiento y evaluación participativa así como para elaborar el anteproyecto e informar el área de coordinación.

5º Etapa. Desarrollo de las actividades planeadas en cada asignatura, revisión del cumplimiento de los aprendizajes esperados, durante el desarrollo del proyecto se requiere comunicación continua alumnos-maestros, maestros-coordinador con la finalidad de hacer ajustes.

6ª Etapa. Consiste en integrar el producto final, difundir los resultados y evaluación del mismo. Dicha evaluación se basa en el enfoque por competencias, por lo que integra diferentes tipos de aprendizajes, tiene un carácter integral.

El caso de proyecto aula que se expone en este artículo fue llevado a cabo en el CECyT 11, "Wilfrido Massieu", coordinado y supervisado por una profesora de la Academia de Lengua y Comunicación. Para documentar esta experiencia se emplearon diferentes técnicas: observación, encuesta y entrevista de los involucrados. Los alumnos expresaron sus experiencias en cuanto al proceso de generación de conocimientos, en el amplio sentido, teóricos, actitudinales y procedimentales respecto al proyecto realizado.

3. Descripción del proyecto

Siguiendo las etapas anteriores, los principios del ABP, el trabajo colaborativo y de la investigación documental, se describe a continuación el caso de investigación:

Propósito: crear como producto final una revista electrónica que divulgara los resultados de la investigación documental que los alumnos realizaron sobre el tema seleccionado: sustentabilidad.

Participantes: 44 alumnos y un total de 9 profesores titulares por grupo estuvieron involucrados.

Eje temático: Desarrollo Sustentable.

Tema: Sustentabilidad Económica, Ecológica, Energética, Social, Cultural y Científica.

Delimitación del Tema: Sustentabilidad Económica, Ecológica, Energética, Social, Cultural y Científica, en México, en la época actual.

Justificación:

En la actualidad el concepto de sustentabilidad, es más que un concepto, es un proceso de crecimiento, relacionado con el cuidado y la protección del medio ambiente. Se convierte en una necesidad tomar conciencia del desgaste y el abuso que el ser humano con su crecimiento económico, tecnológico y social ha generado a lo largo del tiempo sobre el medio ambiente. Requiere de conciencia y acciones que impacten favorablemente al medio ambiente y que, principalmente, se forme como competencia a desarrollar transversalmente.

Las competencias transversales son las que sirven y emplean en todas las profesiones para desenvolverse en el campo laboral con mayores elementos para su desempeño en el área de trabajo, y en este caso en específico para el cuidado del medio ambiente.

De acuerdo con la UNESCO [11], el desarrollo sostenible procura satisfacer las necesidades del presente sin hipotecar las de las generaciones venideras, hallar un medio para solucionar los problemas sociales y medioambientales de hoy y aprender a vivir de manera sostenible. La *educación para el desarrollo sostenible* (EDS) tiene por objeto ayudar a las personas a desarrollar actitudes y capacidades, como también adquirir conocimientos que les permitan tomar decisiones fundamentadas en beneficio propio y de los demás, ahora y en el futuro, y a poner en práctica esas decisiones. Debemos pensar en un futuro en el que las consideraciones ambientales, sociales y económicas estén en equilibrio en la búsqueda del desarrollo y una buena calidad de vida.

Descripción de las actividades que se desarrollaron en el proyecto

- Asamblea para la elección del tema y delimitación.
- División en equipos y distribución de los tipos de sustentabilidad.
- Identificar en cada unidad de aprendizaje su aporte para la elaboración originalmente de un tríptico, que después se decidió cambiar por revista digital.
- Identificación documental de cada uno de los aspectos indicados en las unidades de aprendizaje.
- Tomar acuerdos continuamente en las sesiones de Expresión Oral y Escrita II.
- Entrega y revisión de los avances de la investigación documental.
- Revisión de la estructura de una revista de divulgación científica para identificar y elaborar en equipo un borrador

Tabla 2. Protocolo del Proyecto.

UNIDADES DE APRENDIZAJE Y UNIDAD DEL PROGRAMA INVOLUCRADOS EN EL <i>PROYECTO AULA</i>	COMPETENCIA PARTICULAR INVOLUCRADA Y RESULTADO DE APRENDIZAJE PROPUESTO PARA EL <i>PROYECTO AULA</i>	ACTIVIDAD A DESARROLLAR PARA EL <i>PROYECTO AULA</i>
GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA	EMPLEA FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS EN LA SOLUCIÓN DE TRIÁNGULOS Y ECUACIONES QUE SE PRESENTAN EN SU ENTORNO. Utiliza las funciones e identidades trigonométricas así como sus propiedades a partir de triángulos rectángulos	Identifica datos estadísticos y realizan gráficas
COMPUTACIÓN BÁSICA II	ELABORA PÁGINAS WEB A TRAVÉS DEL CÓDIGO HTML Y DEL EDITOR INSTITUCIONAL. Crea páginas web a través del editor institucional.	La investigación la muestra en la página web
FILOSOFÍA II	APLICA LOS MÉTODOS LÓGICOS PARA VALIDAR O INVALIDAR LOS ARGUMENTOS DEL PENSAMIENTO LÓGICO. Aplica las leyes de implicación como método para validar los argumentos correctos en las diferentes disciplinas.	Analiza desde la lógica las ideas expresadas en la revista
INGLÉS II	UTILIZA EL VOCABULARIO, LAS EXPRESIONES Y ESTRUCTURAS GRAMATICALES PERTINENTES PARA REFERIRSE A PADECIMIENTOS COMUNES PARA UNA VIDA SANA. Conversa sobre buenos hábitos y recomendaciones para una vida saludable en diferentes culturas utilizando los avances.	Redactan una breve introducción (abstract) empleando las estructuras gramaticales
COMUNICACIÓN Y LIDERAZGO	EJERCITA UN ESTILO DE LIDERAZGO EN LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA EN EL ÁMBITO ESCOLAR. Desarrolla un proyecto para la solución de un problema en su ámbito escolar.	Analiza e integra un texto sobre conflicto y toma de decisiones
BIOLOGÍA BÁSICA	EXPLICA LOS PRINCIPIOS DE LOS PROCESOS PARA LA CONTINUIDAD DE LOS SERES VIVOS, A TRAVÉS DE SU APLICACIÓN EN DIFERENTES CONTEXTOS. Argumenta la aplicación de los avances de manera crítica y reflexiva.	Solicita escrito sobre definición características ventajas y desventajas de la sustentabilidad
EXPRESIÓN ORAL Y ESCRITA II	EXPONE TEMAS O ASUNTOS EMPLENDO LAS FORMAS DE EXPRESIÓN ORAL DE ACUERDO CON LA INENCIÓN COMUNICATIVA. Presenta temas o asuntos considerando las cualidades de la expresión oral y las diversas situaciones comunicativas.	Seguimiento a la integración y elaboración de la revista y exposición oral
HISTORIA DE MÉXICO II	CONTRASTA EL MODELO NEOLIBERAL EN MÉXICO DENTRO DEL MARCO DE LA GLOBALIZACIÓN. Analiza la aplicación del modelo neoliberal en México a través de sus consecuencias.	Analiza los antecedentes históricos
ORIENTACIÓN JUVENIL Y PROFESIONAL II	EMPLEA EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE SUS RELACIONES INTERPERSONALES. Explica las características de las relaciones interpersonales	Analizan prevención y repercusiones de la sustentabilidad.

- Integración del borrador de la revista para revisión y correcciones.
- Autoevaluación de la revista.
- Entrega en archivo digital para revisión de cada uno de los profesores de las unidades de aprendizaje. Cada profesor realizó además de la revisión, desarrollo, análisis, observaciones, correcciones (en caso de que hubiera lugar) y evaluación.

4. Resultados

De manera general, una vez aplicado al grupo los instrumentos: cuestionarios, guía de observación y entrevistas, para identificar en los alumnos las competencias que se desarrollaron, es decir, las habilidades, conocimientos y actitudes que se fortalecieron a través del Proyecto Aula, los resultados son los siguientes:

- Empleo de las TIC (través del uso de procesadores de texto, hojas de cálculo, bases de datos, software para dibujar y manejar imágenes).
- Conocer la estructura de una revista, redacción de los diferentes géneros periodísticos que se pueden integrar: artículo, entrevista, crítica, reseña, etcétera.
- Trabajo colaborativo: organización y trabajo en equipo, respeto a la diversidad y tolerancia sentido de responsabilidad, creatividad, trabajar bajo presión, convivencia entre compañeros y docentes.
- Trabajo autónomo: para investigar, adquirir conocimientos acerca del tema, búsqueda y selección de información, habilidades comunicativas: expresión oral y escrita, saber escuchar y la lectura.
- Valores y actitudes: ser responsables, desarrollar un proyecto, ser puntuales en la entrega de avances, ser equitativos, ser críticos, sintetizar información, fomentar la creatividad, llevar orden, extracción de datos relevante, colaboración, satisfacción por lo obtenido.
- Autoevaluación: propuestas de mejora para proyecto aula: más tiempo, mejor organización entre equipo, más comunicación entre profesores y alumnos, dominio del tema, responsabilidad de algunos integrantes de los equipos, organización para exponer y difundir los resultados.

5. Conclusiones

Se puede afirmar que el Proyecto de Aula es una metodología que permite la práctica por una parte, de los principios del Modelo Educativo del IPN: aprender a aprender, el alumno como centro del aprendizaje y de un modelo basado en el desarrollo de competencias y, por otra parte, que permite el desarrollo de competencias genéricas, transversales y

disciplinares, que son sustento para el desarrollo de competencias profesionales, como la integración de la sustentabilidad en sus diversas ramas, que se evita la fragmentación del conocimiento a través de la integración de las unidades de aprendizaje que convergen en un semestre y la relación con el entorno sociocultural.

Al aplicar estos principios a través de metodologías y estrategias, los alumnos se motivan y, además, demuestran interés y creatividad para realizar actividades espontáneas y no impuestas. Desde el inicio del proyecto se involucra a los alumnos en la coordinación y planeación de las actividades, productos esperados, formación de equipos y un cronograma, el trabajo del maestro, es de un coordinador que consiste en dar seguimiento, y como se establece en este modelo, de ser una guía u orientador, donde maestro y alumno son corresponsables del proceso de formación.

Los elementos involucrados en el proceso enseñanza aprendizaje, toman una dirección diferente a la tradicional: la planeación, instrumentación y evaluación, alumnos y maestros son capaces de tomar decisiones, solucionar problemas, de trabajar colaborativamente, más allá de lo que marcan los programas de estudio.

A pesar de que en el segundo nivel o semestre, en donde se implementó este proyecto no hay unidades de aprendizaje del área tecnológica, el tema permitió al docente integrar contenidos de otras áreas de formación que todo profesionista debe tener presente, como la sustentabilidad o cuidado del medio ambiente y relacionar el área tecnológica con el mundo real al que les toca basándose en la vinculación Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Con el desarrollo de este proyecto se hace conciencia y se establece congruencia con una educación para el Desarrollo Sostenible que se incluye como un eje transversal. Es así que haciendo una vinculación con los objetivos educativos y de la metodología del proyecto aula, establecemos una clara relación con los perfiles de egreso esperados en las carreras que se ofertan: Instalaciones mecánicas y eléctricas, procesos industriales, construcción y telecomunicaciones con los perfiles de egreso correspondientes, tales como:

- Identifica los sistemas y reglas o principios medulares que subyacen a una serie de fenómenos, las cuales se aplicaron en la investigación.
- Construye hipótesis. Diseña y aplica modelos para probar su validez.
- Expresa ideas y conceptos mediante representaciones lingüísticas, matemáticas o gráficas, aplicada en las interrelaciones con las unidades de aprendizaje.

- Aplica distintas estrategias comunicativas en función de sus interlocutores, el contexto en el que se encuentra y los objetivos que persigue.
- Enfrenta las dificultades que se le presentan y es consciente de sus valores, fortalezas y debilidades.
- Identifica sus emociones, las maneja de manera constructiva y reconoce la necesidad de solicitar apoyo ante una situación que lo rebase, trabajo en equipo.
- Propone maneras de solucionar un problema o desarrollar un proyecto en equipo, definiendo un curso de acción con pasos específicos.
- Asume una actitud que favorece la solución de problemas ambientales en los ámbitos local, nacional e internacional.
- Identifica las ideas clave en un texto o discurso oral e infiere conclusiones a partir de ellas.

Para finalizar, también se reconoce que se contribuyó al desarrollo de competencias disciplinares como es analizar las leyes generales que rigen el funcionamiento del medio físico y valorar las acciones humanas de impacto no solo ambiental, sino en otros ámbitos: personal, académico y laboral.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a las autoridades de la DEMS y del CECyT 11, "Wilfrido Massieu", por el nombramiento como maestra coordinadora del grupo 2IM1 de Proyecto Aula, el reconocimiento como proyecto ganador en el Nivel Medio Superior y por las facilidades para realizar y presentar este artículo.

Referencias

- [1] A. Estrada-García "El aprendizaje por proyectos y el trabajo colaborativo, como herramientas de aprendizaje, en la construcción del proceso educativo, de la Unidad de aprendizaje TIC'S,". *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 3, núm. 5, pp. 123-138, julio 2012. [en línea]. Disponible en: <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/65/271>
- [2] M. Area, *Introducción a la Tecnología Educativa*, Universidad de la Laguna (España), 2009. [en línea]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.org/bitstream/001/415/5/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20tecnolog%C3%ADa%20educativa.pdf>
- [3] J. Pimienta, *Estrategias de enseñanza-aprendizaje*, México: Pearson, 2012. [en línea]. Disponible en: <http://web.uaemex.mx/incorporadas/docs/MATERIAL%20DE%20PLANEACION%20INCORPORADAS/SD%20Estrategias%20de%20ensenanza-aprendizaje.pdf>
- [4] Instituto Politécnico Nacional, *Un nuevo modelo educativo para el IPN*, México: IPN, 2004.
- [5] J. A. Martín, M. Heydrich, M. Rojas & A. Hernández, "Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente," *Revista Universidad EAFIT*, vol. 46, núm. 158, pp. 11-21, abril 2010. [en línea]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/743>
- [6] M. Area, *La competencia digital e informacional*, Universidad Internacional Menéndez y Pelayo Santander, 2009. [en línea]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.org/bitstream/001/415/5/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20tecnolog%C3%ADa%20educativa.pdf>
- [7] J. Pimienta, *Estrategias de enseñanza-aprendizaje*, México: Pearson, 2012. [en línea]. Disponible en: <http://web.uaemex.mx/incorporadas/docs/MATERIAL%20DE%20PLANEACION%20INCORPORADAS/SD%20Estrategias%20de%20ensenanza-aprendizaje.pdf>. Consultado: 2 octubre, 2016.
- [8] P. Pojulas, "Aulas inclusivas y aprendizaje cooperativo," *Revista Educatio Siglo XXI*, vol. 30, núm. 1, pp. 89-112, 2012. [en línea]. Disponible en: <http://revistas.um.es/educatio/article/view/149151>
- [9] B. León, E. Felipe, D. Iglesias, & C. Latas, "El Aprendizaje cooperativo en la formación inicial del profesorado de Educación secundaria," *Revista de Educación*, núm. 354, pp. 715-729, enero-abril, 2011 [en línea]. Disponible en: http://www.revistaeducacion.educacion.es/re354/re354_28.pdf
- [10] P. Gutiérrez, R. Yuste, S. Cubo, & M. Lucero. "Buenas prácticas en el desarrollo de trabajo colaborativo en materias TIC aplicadas a la educación", *Profesorado. Revista de Curriculum y Formación del Profesorado*, vol.15, núm. 1, 2011. [en línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/15367>
- [11] UNESCO, *Educación para el desarrollo sostenible, Oficina de la Unesco en Santiago, Oficina Regional de educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe*, [en línea]. Disponible en <http://www.unesco.org/new/es/santiago/education/education-for-sustainable-development>, consultado 15 abril 2017.
- [12] K.P. Dickinson, S. Soukamneuth, H. C. Yu, M. Kimball, R. D'Amico, R. Perry, et al. (1998). *Providing educational services in the Summer Youth Employment and Training Program* [Technical assistance guide]. Washington, DC: U.S. Department of Labor, Office of Policy & Research. (ERIC Document Reproduction Service No. ED420756)

La ecuación discreta de Pocklington aplicada a la transformación de mediciones de campo cercano en campo lejano

Luis **Carrión-Rivera**¹
Jorge **Sosa-Pedroza**²
Fabiola **Martínez-Zúñiga**²

¹Centro Nacional de Metrología
Dispositivos Electromagnéticos y Antenas
km 4.5 Carretera a Los Cués, Municipio El Marqués,
CP 76246, Querétaro.
MEXICO.

²Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
UPALM, Av. IPN, S/N, CP 07738, Ciudad de México.
MEXICO.

Teléfono 57296000 ext 57609
correos electrónicos (emails): lcarrionr@cenam.mx
jsosa@ipn.mx
fmartinezzu@ipn.mx

Recibido 15-12-2016, aceptado 28-03-2017.

Resumen

Los sistemas actuales de comunicaciones móviles, de tecnología MIMO, requieren de antenas inteligentes capaces de utilizar favorablemente la multitrayectoria para mejorar la calidad de la señal deseada. Las antenas de las estaciones base 4G, actualmente en despliegue en el mundo y en particular en nuestro país, son en esencia un doble arreglo ortogonal, de dimensiones típicas de 1.4 m, con frecuencias de operación entre 1.7 y 2.7 GHz; estas dimensiones y su relación con la longitud de onda (el tamaño eléctrico de la antena), implica que la distancia mínima de medición de campo lejano es superior a los 25 m. Considerando que la caracterización debe hacerse en un medio controlado, es de suponerse el costo de una cámara anecoica de tales dimensiones. Presentamos en este trabajo una propuesta de conversión de medición en campo cercano usando la ecuación de Pocklington para obtener el campo lejano mediante la teoría de arreglos, a partir del cálculo de corrientes virtuales cerca de la antena.

Palabras clave: ecuación de Pocklington, ecuación discreta de Pocklington, antenas MIMO, conversión de campo cercano en campo lejano.

Abstract (Near Field-Far Field Transformation Using the Discrete Pocklington Equation)

Actual MIMO technology needs special antennas capable to use multipath to improve signal quality. Antennas for the 4G base stations deployed around the World, are double orthogonal arrays working between 1.7 to 2.7 GHz and typical dimensions of 1.5 m length. Their dimension and wavelength relationship requires a minimum distance of 30 m for far field measurement. As measurement should be done in a controlled environment, as an anechoic chamber, those dimensions require a very high cost test set. We present in this paper a new proposal to obtain far field, measuring near antenna surface field to calculate virtual currents using Pocklington discrete equation; after that far field can be obtained using point sources.

Index terms: Pocklington equation, discrete Pocklington equation, near field-far field conversion, MIMO antennas.

1. Introducción

Uno de los problemas que se presentan en la caracterización de antenas, cuando las dimensiones del radiador son grandes, es la limitación del espacio de las cámaras anecoicas que establecen la restricción para que las mediciones sean válidas. El problema del error en las mediciones se debe a la diferencia de fase de la onda incidente sobre la antena bajo prueba (ABP) usada como receptora, o a los campos generados puntualmente, cuando la ABP se usa como transmisora, que producen múltiples fuentes esféricas con grandes diferencias de fase en una antena receptora. Las diferencias de fase y, en menor medida, las de amplitud, deforman el campo recibido que no describe el campo radiado a las grandes distancias prácticas en que se usa, debido a que la consideración de diagrama de radiación y ganancia suponen un frente de onda plano. De manera ilustrativa, las deformaciones pueden verse en la figura 1. Considerando lo anterior se han desarrollado varios métodos para corregir la diferencia de

fase en la medición de campo cercano. El más simple es el de la teoría de rayos, que implica hacer una corrección de fase, usando la ecuación de onda, suponiendo un frente de onda esférico sobre la ABP. Los sistemas modernos de conversión de campo cercano a campo lejano, hacen uso de la misma teoría [1],[2]; sin embargo en lugar de calcular mediante la teoría de rayos, miden módulo y fase del campo radiado, ya sea sobre un plano, un cilindro o una esfera, para corregirlas sobre un frente de onda plano. Es claro que la construcción de esos sistemas implica un costo de varios millones de dólares, que los hacen poco atractivos.

Proponemos en este trabajo una alternativa para obtener el diagrama de radiación de campo lejano, mediante la aplicación de la ecuación generalizada de Pocklington, para obtener la distribución de corriente en una antena mediante la medición de campo sobre su superficie. La propuesta no implica medir campo cercano sino calcular una distribución puntual de corrientes virtuales casi sobre la superficie de la antena a partir de la medición del módulo y fase del campo en la región de campo cercano. Obtenidas esas corrientes, se utilizarán como fuentes puntuales para calcular el campo lejano mediante la teoría de arreglos.

2. Limitaciones de distancia en la medición de antenas

Cuando el campo radiado por una antena se distribuye en el espacio, existen tres regiones que identifican el proceso (véase Fig. 1): la primera región se refiere al campo puntual individual, que implica que la radiación generada en cada punto no se ha mezclado con la de los demás, esta región se denomina

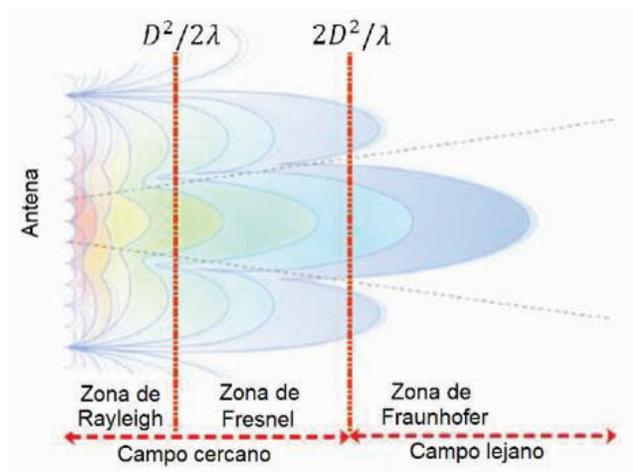


Fig. 1. Deformación del campo en función de la diferencia de fase de fuentes puntuales.

de Rayleigh; en la segunda, conocida como región de Fresnel, los campos individuales empiezan a interactuar entre ellos pero sus diferencias de fase son significativas, por lo que el diagrama de radiación no tiene la forma que deberá de adoptar en campo lejano; en la región 3 conocida como de Fraunhofer los campos se suman casi en fase, cuya diferencia se hace menor a medida que se alejan más de la fuente, y se conoce como región de campo lejano.

Formalmente se ha considerado que la distancia de transición entre las regiones 2 y 3, es aquella en que la diferencia máxima de fase no es mayor de $\lambda/16$, es decir, 22.5° . Es posible demostrar que la distancia mínima de transición con esa diferencia de fase está dada por:

$$d = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (1)$$

Por ejemplo, supongamos que la dimensión mayor de una antena es de 1.2 m y que la frecuencia de operación es 1.5 GHz, la distancia mínima a la que puede considerarse campo lejano es de 14.4 m. A esta distancia se puede suponer un frente de onda plano, es decir que el campo medido tiene una fase igual en toda la región de medición.

Si se observa la figura 1 se puede deducir que, al principio de la región de Rayleigh, las fuentes pueden considerarse puntuales, sin influencia entre ellas, este hecho permite usarlas para calcular el campo lejano como la suma de campos generados por fuentes puntuales usando la teoría de arreglos. Si es posible definir las corrientes que los generan, entonces será posible obtener el campo radiado total de los efectos de la suma fasorial de los campos individuales. Esta es la idea fundamental de nuestro procedimiento. Para ello usamos la ecuación de Pocklington.

3. La ecuación de Pocklington

Durante mucho tiempo la caracterización de antenas se hizo por medio de métodos analíticos que presuponían su distribución de corriente o con complicados métodos experimentales que la medían. A partir de la invención de la computadora se han simplificado los procedimientos de análisis y síntesis no sólo en el caso de las antenas sino en muchos otros campos de la ciencia. La computadora ha tenido la virtud de revivir procesos antiguos, que tienen fundamento matemático incluso de siglos que han renacido posteriormente, debido a su capacidad de procesar gran cantidad de información con la rapidez práctica necesaria; uno de esos procesos antiguos es la ecuación de Pocklington definida en 1897 para antenas rectas [3].

La definición de la ecuación de Pocklington supone que la corriente en el conductor se concentra en un filamento en su superficie, de modo que el resto forma parte del medio de propagación [4]. Mediante la definición del campo tangencial usando cálculo vectorial, se puede generalizar la ecuación para conductores de forma arbitraria y después simplificarla mediante la reducción del núcleo de la integral, a fin de obtener una forma más sencilla que se traduce en ahorro de recursos de cómputo. La solución requiere únicamente de la definición de los vectores unitarios que describen la superficie y el eje del conductor en función de un sistema de coordenadas rectangulares (véase Fig. 2).

La figura 2 representa un conductor de forma arbitraria en un sistema de coordenadas rectangulares. Un punto en el centro del conductor queda definido por un sistema de coordenadas auxiliares (B, N, S) con sus respectivos vectores unitarios. A partir de ese nuevo sistema de coordenadas se localiza un punto en el espacio con coordenadas $P(\rho, \varphi, s)$; con estas definiciones es posible caracterizar el conductor de forma arbitraria, a partir de un vector unitario que describe su eje (s) y otro un punto sobre su superficie (s'). Bajo estas consideraciones, el campo muy cerca de la superficie (pero no sobre ella) puede obtenerse de la ecuación de Pocklington [5] dada por:

$$E_s^i = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \int \left[R^2(k^2R^2 - 1 - jkR) s \cdot s' + (3 + 3jkR - k^2R^2)(R \cdot s)(R \cdot s') \right] \frac{e^{-jkR}}{4\pi R^5} I ds' \quad (2)$$

La expresión (2) se llama *ecuación generalizada de Pocklington* y representa el campo tangencial en un punto s , producido por todos los elementos de corriente s' del conductor. En la integral la corriente es desconocida, por lo que no puede resolverse

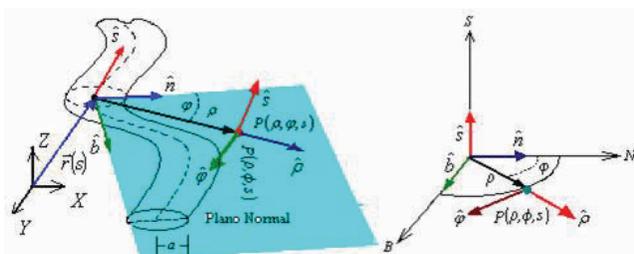


Fig. 2. Localización geométrica de un conductor de forma arbitraria.

por métodos analíticos, pero sí mediante métodos iterativos. El cálculo debe hacerse para todos los puntos s sobre la superficie del conductor, lo que genera una matriz cuadrada que se resuelve usando el procedimiento conocido como Método de Momentos [6]. Para resolver la ecuación (2) se debe partir de la suposición de que el campo eléctrico tangencial sobre la antena es cero, excepto en el punto de alimentación, facilitando la solución. La propuesta es válida si se considera que la antena se construye de un conductor perfecto, con lo que se cumple con la condición de frontera de campo eléctrico tangencial cero sobre su superficie.

4. Nuestra propuesta

Nuestra propuesta considera que la ecuación de Pocklington es válida no sólo en la superficie de la antena, sino también fuera pero cerca de ella, de modo que si es posible medir el campo en puntos cercanos, la corriente puntual se puede determinar resolviendo la ecuación (2) en forma discreta y no como integral.

El procedimiento que hemos desarrollado determina la corriente mediante la medición del campo en puntos específicos de la antena y considerando que la integral es discreta, convirtiéndose en una suma, dada por:

$$E_m^i = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \sum_{n=1}^N \left[R^2(k^2R^2 - 1 - jkR) s_m \cdot s_n' + (3 + 3jkR - k^2R^2)(R \cdot s_m)(R \cdot s_n') \right] \frac{e^{-jkR}}{4\pi R^5} I_n \quad (3)$$

A excepción de la corriente, todos los elementos de la sumatoria se pueden determinar fácilmente de la geometría del sistema, de modo que puede construirse una matriz que tiene la forma:

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{M1} & Z_{M2} & \dots & Z_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_M \end{bmatrix} \quad (4)$$

A partir de la ecuación (4) se obtiene la corriente puntual a lo largo de la estructura. Las Z_{mn} representan impedancias dadas por el factor que multiplica a la corriente en la ecuación (3) y que son constantes y fácilmente obtenidas a partir de los elementos geométricos de la estructura. La matriz de corrientes se resuelve multiplicando la matriz de campo eléctrico, obtenida mediante las mediciones, por la inversa de la matriz de impedancias.

Considérese, por ejemplo, la figura 3 con una antena de dimensiones adecuadas, se mide el campo E_m cerca de la Antena Bajo Prueba (ABP) en un número suficiente de puntos; usando las ecuaciones (3) y (4) se pueden calcular, en módulo y fase, las corrientes virtuales en cada punto de medición.

Una vez obtenidas las corrientes virtuales, se calcula el campo lejano usando la teoría de arreglos, bajo la consideración de que las corrientes calculadas representan un arreglo de elementos puntuales que generan ese campo lejano. El campo radiado por un arreglo de fuentes puntuales está dado por la ecuación (5):

$$E_T = E_0 \sum_{n=1}^M I_n e^{(j\beta nd(f(\theta, \phi)) + \alpha_n)} \quad (5)$$

En (5) E_0 representa el campo de una de las antenas del arreglo, en este caso de fuentes puntuales y cuyo valor se considera 1; la suma de los campos individuales de cada antena considera la diferencia de fase debida a la distancia y a la posición del punto de cálculo (βd), definido por (θ, ϕ) y la fase relativa de la corriente respecto de la antena de referencia (α).

5. Experimento

El trabajo de experimentación fue hecho sobre una antena LTE de 1.4 m de longitud, trabajando entre 1.7 GHz y 2.7 GHz. La prueba de campo cercano se hizo en una cámara anecoica

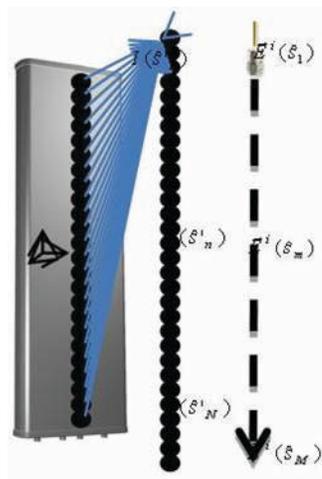


Fig. 3. Geometría de la medición.

a 4 m de distancia. Posteriormente, se usó una antena pequeña para medir el campo sobre la superficie del domo protector, como muestra la figura 3.

Una vez medido el campo, calculamos las corrientes virtuales usando la ecuación de Pocklington discreta (3) y finalmente el campo lejano usando la ecuación (5). La figura 4 muestra la comparación entre el campo cercano medido y el campo lejano calculado, para dos frecuencias específicas. El ángulo de 0° en las gráficas representa la referencia definida por el equipo de medición y de cómputo en la cámara anecoica, por lo que la dirección de máxima radiación del lóbulo principal es 90° . Se puede observar como el diagrama calculado afina el campo cercano, sobre todo haciendo más evidentes los cerros de campo y más angosto el lóbulo principal.

6. Medición de campo lejano

Para comprobar nuestro procedimiento, se hicieron mediciones de la misma antena en el Sitio de Calibración de Antenas del Centro Nacional de Metrología (CALTS-CENAM). Se entiende que, por ser un sistema abierto, es posible tener efectos de interferencia directa de otras antenas o de reflexiones en el proceso de medición; sin embargo, los resultados ilustran con claridad la exactitud del procedimiento propuesto, como se observa en las gráficas de la figura 5.

Es evidente la similitud entre los campos medidos y los calculados, existen pequeñas diferencias en los lóbulos secundarios, acentuadas en las frecuencias altas. Las diferencias se pueden deber a las características de la antena de detección, usada en el cálculo, o quizá a reflexiones o interferencias en el lugar de medición.

7. Conclusiones

Hemos presentado en este trabajo nuestra propuesta para obtener campo lejano a partir de la medición de campo en la región de Rayleigh de una antena cuyo diagrama de radiación se desconoce. El procedimiento define corrientes virtuales cerca de la antena para posteriormente usarlas para el cálculo de campo lejano mediante la teoría de arreglos. Los resultados comparados con mediciones de campo a distancias adecuadas, muestran una similitud que comprueba que el procedimiento es aceptablemente preciso. La reproducción del lóbulo principal es casi exacta, aunque existen diferencias, principalmente en los lóbulos laterales en algunas frecuencias; consideramos que esas diferencias se deben a que la antena de prueba no es del todo adecuada, estamos ahora desarrollando antenas que permitirán afinar el método.

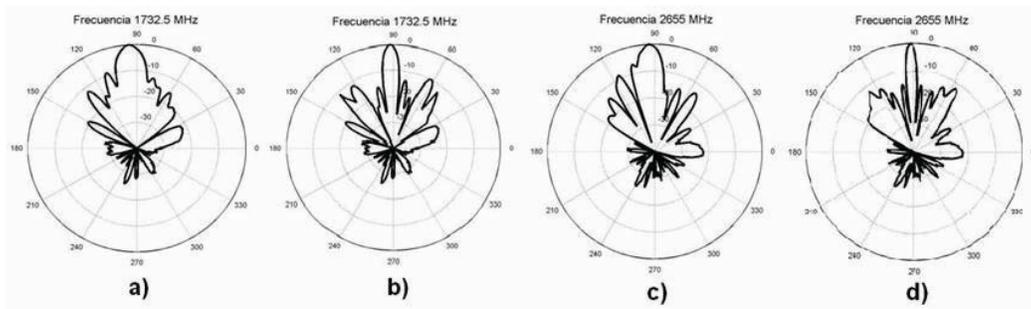


Fig. 4. Diagramas de radiación a) Medido en campo cercano y b) Calculado para 1732.5 MHz; c) Medido en campo cercano y d) Calculado para 2655 MHz.

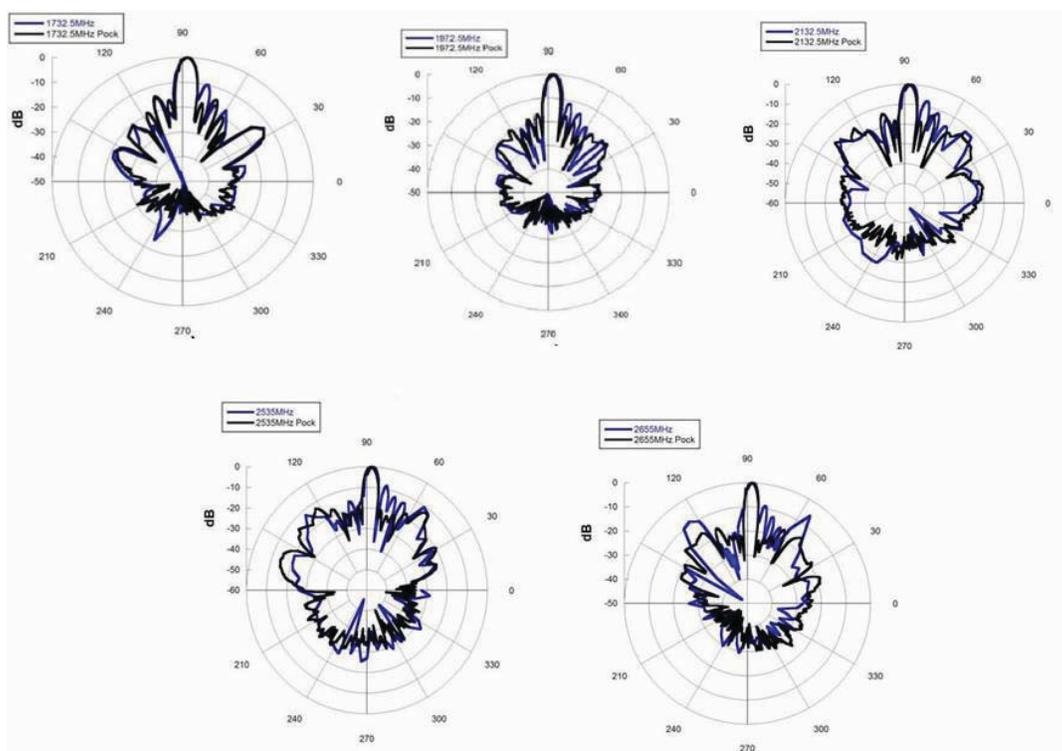


Fig. 5. Comparación de campo lejano medido (azul) y calculado (negro) para: a) 1732.5, b) 1972.5, c) 2132.5, d) 2535 y e) 2655 MHz.

Referencias

- [1] D. Slater, *Near-Field Antenna Measurement*, Artech House Publishers, Norwood MA, USA, 1991.
- [2] S. Gregson, J. McCormick, & C. Parini, "Principles of Planar Near-Field Measurement," *IET Electromagnetics Wave Series 53*, London United Kingdom, 2007
- [3] H. C. Pocklington, "Electric Oscillations in Wire," *Cambridge Philosophical Society Proceedings*, vol. 9, pp. 324-332, 1897.
- [4] V. Barrera-Figueroa, J. Sosa-Pedroza, & J. López-Bonilla, "Simplification of Pocklington's integral equation for arbitrary bent thin wires, Boundary Elements XXVII edition, (Electrical Engineering and Electromagnetics)," en Eds. A. Kassab, C. A. Brebbia, E. Divo, & D. Poljak. *WIT Trans. on Modelling and Simulation*, WIT Press, vol. 39, pp. 563-574, 2005.
- [5] C. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, John Wiley and Sons, 1982.
- [6] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, McMillan, New York, 1968.

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

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

México
54 024

América Latina y el Caribe
40 194

Estados Unidos y Canadá
13 254

Europa
15 967

Asia, África y Oceanía
6 025

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

IPN

80

Años

1936-2016

ESIME

100

Años

1916-2016

Indicaciones para los autores que deseen publicar en Científica

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

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

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

Estructura de los artículos

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

Título

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

Datos del autor

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

Resumen

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

Abstract

Se incluye el resumen en inglés.

Palabras clave (Index Terms)

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

Declaración de subvenciones

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

Introducción

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

Desarrollo

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

Conclusiones

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

Referencias

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

Artículo de revista científica:

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

Ejemplo:

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

Libro:

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

Ejemplo:

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

Tesis:

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

Ejemplo:

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

Memorias en congreso:

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

Ejemplo:

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

Agradecimientos

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

Anexos

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

Otras consideraciones

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

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

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

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

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

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

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

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

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

Manuscripts could be written in English or Spanish and sent by email to 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 *Científica*, papers will be shared by a Creative Commons License 'Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)'.

Manuscripts

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

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

Title

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

Authors' Name and Affiliations

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

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

Abstract

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

Resumen (Spanish abstract)

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

Index Terms (*palabras clave*)

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

Financial support

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

Body of the Manuscript

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

References

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

Periodicals:

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

Example:

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

Book:

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

Example:

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

Theses and Dissertations:

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

Example:

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

Published Conference Proceedings:

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

Example:

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

Preparation for publication

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

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

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

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

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

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

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

Científica

ISSN 1665-0654 | e-ISSN en trámite
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.

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

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
VENEZUELA

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester
REINO UNIDO

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid
ESPAÑA

Marco Ceccarelli
University of Cassino
ITALIA

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jinhui Shao
University of Shuo
JAPÓN

Indizada en:

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

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

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

Publindex: Índice Bibliográfico Nacional Revistas Científicas Homologadas del Colciencias.
<http://scienti.colciencias.gov.co:8084/publindex/>

Establecimiento del indicador energético de Porlamar (Isla de Margarita, Venezuela)

Establishment of the Energy Indicator of Porlamar, Margarita Island, Venezuela
Luisa **Salazar-Gil**, Víctor **Guzmán-Arguis**
VENEZUELA

71-99

Análisis tomográfico de la superficie acetabular en la displasia del desarrollo de la cadera en niños

Tomographic Analysis of the Acetabular Surface in Developmental Dysplasia of the Hip in Children
Benjamín **Araujo-Monsalvo**, Luis Manuel **Hernández-Simón**, Víctor Manuel **Domínguez-Hernández**, Víctor Manuel **Araujo-Monsalvo**, Ramiro **Cuevas-Olivo**, Alejandro **Trujillo-Satow**, Elisa **Martínez-Coria**, Martín **Luna-Méndez** | MÉXICO

91-97

El chorro en toberlino y los vórtices de punta de ala

The Swirling Jet and the Wingtip Vortices
Tiburcio **Fernández-Roque**, José Arturo **Correa-Arredondo**, José Félix **Vázquez-Flores**, Jorge **Sandoval-Lezama**, Alejandro **Mejía-Carmona** | MÉXICO

99-106

Análisis de un sistema homogenizador de jugo de naranja

Analysis of a System Homogenizer Orange Juice
Marco Antonio **Doñu-Ruiz**, Noé **López-Perrusquia**, Víctor Jorge **Cortés-Suárez**, Sergio Antonio **Pérez-Moo**, Juan Carlos **Vargas-Caballero** | MÉXICO

107-112

Modelo sistémico axiológico para las escuelas de ingeniería en el Instituto Politécnico Nacional

Axiological Systemic Model for Engineering Schools at Instituto Politécnico Nacional
Gloria **Martínez-Bejarano**, Nashielly **Yarzabal-Coronel**, Julián **Patiño-Ortiz** | MÉXICO

113-125

Tecnologías bluetooth aplicadas al control de vehículos terrestres no tripulados para aspersión de agroquímicos en plantas ornamentales

Bluetooth Technologies Applied for Control of Unmanned Ground Vehicles (UGV) for Agrochemicals Aspersión on Ornamental Plants
Omar Cristian **Vargas-Gonzalez**, Nicandro **Farias-Mendoza**, Eduardo **Flores-Gallegos**, Carlos Enrique **Maciel-García**, Ernesto **Cárdenas-Zanabria** | MÉXICO

127-134

El Proyecto Aula, metodología para el desarrollo de competencias profesionales

The Classroom Project, Methodology for the Development of Professional Competences
María Elena **Zepeda-Hurtado**, Laura **Campos-Monroy**, Maricela **Cuéllar-Orozco** | MÉXICO

135-142

La ecuación discreta de Pocklington aplicada a la transformación de mediciones de campo cercano en campo lejano

Near Field-Far Field Transformation Using the Discrete Pocklington Equation
Luis **Carrión-Rivera**, Jorge **Sosa-Pedroza**, Fabiola **Martínez-Zúñiga** | MÉXICO

143-147

EQUIPO EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Director** • Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
Cuahtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico** • Luis Alberto Méndez Cruz, **Página Web**