

# Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

## *Handbook T-IV*

**Gordillo Sosa - José Antonio  
Aguirre Puente - José Alfredo  
Rico Moreno- José Luis**

**Castañeda Ramírez – José Cristóbal**

*Directores*

# Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

---

## Volumen IV

---

Para futuros volúmenes:  
<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

## **ECORFAN Ciencias de la Ingeniería y Tecnología**

---

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato en su área de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (LATINDEX-DIALNET-ResearchGate-DULCINEA-CLASE-HISPANA-Sudoc- SHERPA-UNIVERSIA-e-REVISTAS), el Handbook propone así a la comunidad académica , los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología.

**María Ramos · Virginia Aguilera**

Editoras

# **Ciencias de la Ingeniería y Tecnología**

## ***Handbook T-IV***

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Septiembre 11-12, 2014.

# ECORFAN®

## *Editoras*

María Ramos  
ramos@ecorfan.org

Directora General ECORFAN

Virginia Aguilera  
vaguilera@utsoe.edu.mx

Rectora de la UTSOE  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato

ISBN-CL 978-607-8324-04-0  
ISBN-V 978-607-8324-27-9  
ISSN 2007-1582  
e-ISSN 2007-3682  
Sello Editorial ECORFAN: 607-8324  
Número de Control HECIT: 2014-02  
Clasificación HECIT (2014): 110914-401

## ©ECORFAN-México.

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor ,podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos ,de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HEFOCA es parte de los medios de ECORFAN ([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## **Prefacio**

Una de las líneas estratégicas de la política pública ha sido la de impulsar una política de ciencia, tecnología e innovación que contribuya al crecimiento económico, a la competitividad, al desarrollo sustentable y al bienestar de la población, así como impulsar una mayor divulgación científica y tecnológica, a través de distintos medios y espacios, así como la consolidación de redes de innovación tecnológica. En este contexto, las Instituciones de Educación Superior logran constituirse como un elemento articulador de la investigación, ciencia y tecnología. El Subsistema de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, a través de diferentes Universidades que lo conforman, de manera permanente y decidida vienen propiciando el surgimiento y desarrollo de grupos de investigación (Cuerpos Académicos), gestionando los apoyos necesarios para que los mismos puedan incursionar de manera adecuada en el campo de la investigación aplicada, la vinculación con pertinencia con los sectores productivos y promoviendo la participación activa de la razón de ser de nuestras instituciones, los estudiantes, así como impulsar el desarrollo tecnológico regional.

La Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato visualiza la necesidad de promover el proceso de integración entre los Cuerpos Académicos de las instituciones de Educación Superior y de Nivel Medio Superior, proporcionando un espacio de discusión y análisis de los trabajos realizados por dichos cuerpos y fomentando el conocimiento entre ellos y la formación y consolidación de redes que permitan una labor investigativa más eficaz y un incremento sustancial en la difusión de los nuevos conocimientos con las siguientes políticas: Propiciar un espacio de reflexión e intercambio del estado de la investigación y generación de conocimiento en espacio común de la educación tecnológica; Promover y fortalecer la divulgación de la investigación y desarrollo tecnológico de los grupos colegiados y de investigación académica y/o cuerpos académicos de las instituciones del sector y finalmente fortalecer e impulsar la formación de redes de investigación entre los grupos colegiados, grupos de investigación y cuerpos académicos participantes.

Este volumen IV contiene 28 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de 10 estados de México.

*Bravo, Morales &* en este estudio se realizaron dos muestreos en la región de Los Azufres en la planta geotermoelectrica CFE ubicada en el estado de Michoacán; *García, Vázquez, Reyna, Flores & Huesca* el objetivo de este trabajo es el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema que sea capaz de realizar los movimientos más esenciales de un brazo humano, a un costo accesible y de fácil instalación; *Hernández, Garrido & Hernández* en este trabajo se busca implementar el agua de lluvia no solo en ITSSNP; *Herrera, Gasca, Gomez, Ramírez & Marquez* se desarrolló un modelo de trazador de partículas para estimar el transporte de sedimentos en zonas costeras donde se encuentran obras de infraestructura; *Cancino, Castillo, Benavides & Castillo* Se propone el desarrollo de un Sistema Integral de Gestión Académico – Administrativo (SIGAA), con la finalidad de integrar los procesos académicos y administrativos, orientados a los indicadores 911 de la Secretaria de Educación y al enfoque basado en procesos del ISO 9001:2008; *Grajales, Alonso, Samayoa & Castellanos* este artículo intenta difundir el principio de las curvas de aprendizaje y su aplicación en la industria de la construcción para mejorar la productividad; *Navarro, Herrera, Marrugo, Bayona & Morales* estudiaron los microcontaminantes orgánicos del río Nexapa; *Luévano, Cantú, Hernández & Osorio* en este trabajo el método de elemento finito (MEF) es usado para calcular los modos de vibración de una viga Euler Bernoulli, que cuenta con 8 perforaciones alineadas al centro y distribuidas a lo largo de la viga; *Contreras & Guízar* en la presente investigación se propone el desarrollo de un vehículo a bajos costos modificando un helicóptero radiocontrolado empleado en fines recreativos; *Ramírez & Sotomayor* el objetivo fue determinar los índices materiales de elasticidad y de resistencia en flexión, ambos derivados de ensayos en flexión estática; *Marroquín, Olivares, Ortiz, Martínez, Ugalde & Cervantes* en el presente trabajo se describe el funcionamiento de un sistema de generación de energía eléctrica tipo fotovoltaico, que alimenta a una casa habitación, la cual es simulada con una instalación eléctrica; *Rodríguez, Grijalva, Martínez, Soto & Rodríguez* en el presente trabajo se muestra una aplicación del análisis Bayesiano para evaluar el nivel de riesgo que existe en cada una de las dos rutas por las que se pudiera viajar de Durango; *Bautista, Cabrera, Rolón, Pichardo & Tobías* en este trabajo, se realizó un análisis comparativo de la implementación de planes de manejo de Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos (REEE) de los Estados de la República Mexicana; *Medina, Vargas, Bustamante, Cisneros & Vázquez* buscan una alternativa viable que no solo remedie el problema sino que además proporcione un insumo como es el biogás el cual puede ser convertido en energía eléctrica y térmica; *García, Ortega & González* en este trabajo se propone un modelo de optimización basado en la formulación de Flujos de Potencia Óptimos (FPO); *Ledesma, Moreno & Ferrer* el presente trabajo trata sobre el análisis estructural del marco principal de una andadera para niños con discapacidad motriz; *Pérez, Méndez & Jiménez* realizan investigación de campo, involucrándose en las necesidades existentes en las industrias de la región, y mediante herramientas propias de la carrera de ingeniería industrial; *Cortes, Meneses, Zamora, Vargas & Posadas* el objetivo es aportar un análisis sobre los procedimientos que utilizan los maestros en las secundarias públicas de Monclova, Coahuila, para promover la formación en valores en sus alumnos; *Uh, Rosario, Puerto & Kantún* proponen el desarrollo de una aplicación móvil bajo el sistema operativo Android, la cual contiene la información y características más relevantes del parque, tales como los talleres que se ofrecen, la ubicación, imágenes principales, videos; *Gómez, Cabrera, Bautista, Ponce & Vargas* en este estudio se generó una aplicación Web para la ubicación de tiraderos de basura no oficiales.

*Valdez, Castañeda, Hernández, Vazquez & Arzola* en este proyecto de investigación se diseñó y aplicó una arquitectura de aplicaciones en una mediana empresa de manufactura utilizando software de libre acceso, obteniendo como resultado la identificación de áreas estratégicas de oportunidad para esta arquitectura; *Rocha, Carbo, Rodríguez, Martínez & Armendáriz* en este trabajo, se hace un análisis de los avances recientes en celdas solares sensibilizadas con colorante (DSSC); *Artiles, Olivera, Santiago, González & Morales* este trabajo presenta el resultado de una investigación que brinda un modelo de actuación para tomar decisiones de reasentamiento del hábitat en riesgo de desastre natural y está basado en un estudio sistematizado de tipo teórico y práctico sobre los conceptos y prácticas comunes; *Mata & Vázquez* en este trabajo se obtuvo harina de yuca (*Manihot esculenta*) por dos métodos de papilla y rallado, las cuales fueron caracterizadas mediante parámetros fisicoquímicos y posteriormente adicionadas en la formulación de pasteles; *Rosales, Aguayo, Macías, Aguayo, Ibarra & González* el estado de Zacatecas es rico en depósitos de metales y no metales no explosivos que pueden ser usados para materiales de construcción o catalizadores; *Ponce, Santana, Vázquez, Toledo & Flores* analizan de forma numérico-experimental del comportamiento mecánico de tutores producidos con PET; *Gómez, García & Hernández* definieron cual operador de bus de campo la demanda tecnológica y industrial necesaria para su aplicación; *Rodríguez, Chagolla & López* Diseñan un Sistema para la Automatización del Invernadero en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.

Quisiéramos agradecer a los revisores anónimos por sus informes y muchos otros que contribuyeron enormemente para la publicación en éstos procedimientos repasando los manuscritos que fueron sometidos. Finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato en el proceso de preparar esta edición del volumen.

Valle de Santiago, Guanajuato.  
Septiembre 11-12, 2014

*María Ramos*  
*Virginia Aguilera*

<b>Contenido</b>	<b>Pag</b>
<b>1 Aislamiento e identificación de microalgas en la región de la planta geotermoeléctrica CFE de “los azufres” en el estado de Michoacán</b> <i>J. G. Bravo, A. T. Morales, A. Ayala</i>	1-7
<b>2 Brazo con movilidad (con señales mioelectricas)</b> <i>Alfonso García, Manuel Vázquez, Pablo Reyna, Eladio Flores y Magali Huesca.</i>	8-12
<b>3 Captación, almacenamiento y distribución de agua pluvial en las instalaciones del ITSSNP</b> <i>Sergio Hernández, Rafael Garrido y José Hernández</i>	13-20
<b>4 Estimacion de zonas de erosion y azolvamiento de sedimentos en oleoductos con un modelo pesado trazador de particulas</b> <i>Israel Herrera, Jose Gasca, Blanca Gomez, Juan Ramírez y Sergio Marquez.</i>	21-33
<b>5 Generación de un sistema web para el control de procesos académicos – administrativos de la Universidad Politécnica de Tapachula</b> <i>Karina Cancino, Alfredo Castillo, Vanessa Benavides, Christian Castillo</i>	34-41
<b>6 Las curvas de aprendizaje en los procesos de construcción</b> <i>José Grajales, Francisco Alonso, Iveth Samayoa y José Castellanos</i>	42-48
<b>7 Microcontaminantes orgánicos en los ríos de México:El caso del río Nexapa</b> <i>Amado Navarro, Jorge Herrera, José Marrugo, Josep Bayona y Lorenzo Morales.</i>	49-63
<b>8 Modelo de predicción para las frecuencias naturales en una viga euler bernoulli con módulo de elasticidad con variación espacial</b> <i>Olga Luévano, Mario Cantú, Héctor Hernández y Mario Osorio.</i>	64-73
<b>9 Modificación de un helicóptero radiocontrolado de ala rotativa hasta convertirlo en un uav, empleando ingeniería inversa</b> <i>José Contreras, Carlos Guízar</i>	74-87
<b>10 Módulos de elasticidad y de ruptura de tres maderas angiospermas mexicanas</b> <i>Mariana Ramírez y Javier Sotomayor</i>	88-101

- 11 Análisis armónico de un sistema fotovoltaico operando bajo la modalidad tipo isla** 102-114  
*Ángel Marroquín, Juan Olivares, Elizabeth Ortiz, Diana Martínez, Brenda Ugalde y Gabriela Cervantes*
- 12 Análisis bayesiano para la evaluación del nivel de riesgo en carreteras y uso del análisis de jerarquía de procesos (ahp) en la elección de rutas** 115-125  
*José Rodríguez, Gerardo Grijalva, Olegario Martínez, Arturo Soto y Sara Rodríguez*
- 13 Análisis comparativo de la implementación de planes de manejo de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en México** 126-141  
*María Bautista, René Cabrera, Julio Rolón, Roberto Pichardo y Ricardo Tobías*
- 14 Análisis de la capacidad de producción de energía por medio de tratamiento biológico de los residuos generados en los rastros del estado Guanajuato** 142-151  
*Miriam Medina, Oscar Vargas, Claudia Bustamante, Vicente Cisneros, Alberto Vázquez*
- 15 Análisis del comportamiento de las variables de estado del vsc-hvdc con un esquema ptp cuando transfiere potencia activa entre sistemas de potencia asíncronos** 152-164  
*José García, Francisco Ortega y María González*
- 16 Análisis estructural de andadera para niños con discapacidad motriz** 165-175  
*Reynaldo Ledesma, Emanuel Moreno y Miguel Ferrer*
- 17 Análisis y optimización de estaciones de trabajo, con enfoque ergonómico para el aumento de la productividad y disminución de riesgos laborales** 176-187  
*Salvador Pérez, José Méndez y Ariadne Jiménez*
- 18 Aplicación de las tecnologías de información para analizar los procedimientos utilizados por los maestros para promover la formación en valores** 188-199  
*Griselda Cortes, José Meneses, Rosa Zamora, José Vargas y Narciso Posadas*
- 19 Aplicación móvil “Yuum Báalam”** 200-211  
*Andrés Uh, Glendi del Rosario, María Puerto y Manuel Kantún*

- 20 Aplicación WEB para la geolocalización de tiraderos de basura no oficiales** 212-223  
*Santiago Gómez, René Cabrera, María Bautista, Mirna Ponce y José Vargas*
- 21 Arquitectura de aplicaciones para una mediana empresa de manufactura utilizando software de libre acceso** 224-231  
*Alicia Valdez, Sergio Castañeda, Samuel Hernández, Laura Vazquez, Orlando Arzola*
- 22 Avances recientes y monitoreo de celdas solares foto electroquímicas** 232-243  
*Enrique Rocha, Pablo Carbo, José Rodríguez, Enrique Martínez y Eddie Armendáriz*
- 23 Bases para la toma de decisiones locales en reubicación post-desastre del hábitat en riesgo** 244-260  
*Dora Artiles, Andrés Olivera, Gloria Santiago, Gonzalo González y José Morales*
- 24 Caracterización de harina de Yuca (Manihot esculenta) como materia prima para la elaboración de Pastel** 261-272  
*Moisés Mata & María Vázquez*
- 25 Caracterización de soportes de aluminosilicatos ácidos elaborados en el laboratorio de química de superficies y análisis industrial de la Universidad Autónoma de Zacatecas** 273-276  
*Edna Rosales, Javier Aguayo, Manuel Macías, María Aguayo, Pablo Ibarra, Sara González*
- 26 Análisis numérico-experimental del comportamiento mecánico de tutores producidos con PET** 277-290  
*Rodolfo Ponce, Víctor Santana, Armando Vázquez, Alfonso Toledo y Arturo Flores*
- 27 Buses de campo. Estrategias de aplicación** 291-298  
*Elizabeth Gómez, Leopoldo García y Leticia Hernández*
- 28 Diseño conceptual de sistema para la automatización del invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato** 299-318  
*Marcos Rodríguez, Hernando Chagolla y María López*

Apéndice A . Consejo Editor Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato	319
Apéndice B . Consejo Editor ECORFAN	320-322
Apéndice C . Comité Arbitral Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato	323-327

# **Aislamiento e identificación de microalgas en la región de la planta geotermoeléctrica CFE de “los azufres” en el estado de Michoacán**

J. G. Bravo, A. T. Morales, A. Ayala

J. G. Bravo, A. T. Morales y A. Ayala  
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao Km 12.5, El Copal, Irapuato, Guanajuato, CP 36821.  
IS08110128@es.itesi.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

In the following study, two samplings were taken in the “Los Azufres” region in the CFE geothermal power plant located in the state of Michoacán, in which a number of areas for sampling were selected to later be analyzed and studied for the presence of microalgae. From the samples of areas selected were streaked on solid medium; in the first sampling the agar medium BG11 was selected and the PBS like buffer for the dilutions; in the second sampling the agar medium CHU10 amended by Gerloff was selected and distilled water for dilutions. In the results no growth was observed in the solid medium BG11, while with the CHU10 medium amended by Gerloff the growth was in almost all Petri dishes. Starting with these growths were able to isolate three types of microalgae.

## 1 Introducción

Las microalgas son un grupo polifilético de organismos fotótrofos oxigénicos, auxotróficos o facultativamente heterótrofos, restringidos a ambientes húmedos por la ausencia de mecanismos de protección contra la desecación (Moreno et al., 2012). La importancia de las microalgas radica en su gran capacidad de fijar CO<sub>2</sub> y convertirlo en O<sub>2</sub>; debido a esto, son una parte importante de las cadenas alimenticias acuáticas. Tan solo el 80% del O<sub>2</sub> en la tierra es producido por microalgas (Tortora J. G., 2007). Sin embargo, no es lo único por lo que las microalgas son importantes, en estudios recientes se ha demostrado que las algas pueden producir biocombustibles alternos a los del petróleo. Sin embargo, los suministros de agua, de nutrientes y el consumo de energía se han señalado como cuestiones clave en los sistemas de producción de biocombustibles con microalgas (Mottet, Habouzit, & Steyer, 2014). También cabe resaltar que se les menciona como el alimento del futuro por destacarse en tener un alto poder nutritivo y su variado contenido de grasas y calorías (Valdés & Blanco Soto, 2008). Las algas, así como otros organismos, se han caracterizado por desarrollarse perfectamente a condiciones ambientales variadas, ya sean de temperatura, presión o pH, por lo que se ha demostrado que algunos organismos pueden vivir en condiciones extremas. La zona donde se tomaron las muestras se ubica en el estado de Michoacán, en una planta geotermoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad llamada “Los Azufres”. Esta zona es caracterizada por contener altas concentraciones de azufre, pH variado y temperaturas que pueden alcanzar los 80°C, lo cual convierte a esta zona interesante para investigar. A pesar de esto, no existen estudios sobre la presencia de algas en esta zona, teniendo en cuenta que estas pueden tener un impacto positivo significativo sobre el ambiente y los seres humanos, debido a su capacidad de desarrollarse en este tipo de ambientes un tanto inusuales. El presente trabajo está enfocado en aislar e identificar microalgas provenientes de la zona geotérmica de “Los Azufres” que presenta ambientes extremos (alta concentración de azufre, pH bajo y altas temperaturas) para posteriores estudios con un enfoque biológico, ecológico o biotecnológico.

### 1.1 Materiales y métodos

#### Muestreo:

Primer muestreo. Se esterilizaron por calor húmedo frascos de vidrio con capacidad de 1 litro para las muestras de agua y tubos Falcon de 50 ml para las muestras de sedimento. Se designaron ocho zonas de donde se tomaron las muestras (Tabla 1), cuatro de agua y cuatro de sedimento, y se tomaron medidas de temperatura, pH (Potenciómetro) y las coordenadas de cada zona (GPS). Las cuatro muestras de agua fueron superficiales, se etiquetaron adecuadamente y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

Las cuatro muestras de sedimento se tomaron de las zonas que se observaban con mayor abundancia de algas, se etiquetaron adecuadamente y se almacenaron a temperatura ambiente.

**Tabla 1** Propiedades físicas y coordenadas de cada zona que se muestreó en el primer muestreo.

	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>(°C)</b>	
<b>3</b>	19°49.355' N	100°40.065' W	20	-
<b>4</b>	19°49.356' N	100°40.078' W	27	-
<b>4.1</b>	19°49.354' N	100°40.078' W	27	-
<b>5</b>	19°49.350' N	100°40.079' W	40	-
<b>7</b>	19°49.351' N	100°40.080' W	30	-
<b>9</b>	19°49.334' N	100°40.101' W	55	-
<b>10</b>	19°49.346' N	100°40.105' W	30	-

Segundo muestreo. Se esterilizaron por calor húmedo frascos de vidrio con capacidad de 1 litro y se almacenaron para el muestreo de agua. Se designaron 8 zonas (Tabla 2) para las muestras de agua. Se midió la temperatura, el pH (tiras de pH) y se tomaron las coordenadas de la cada zona. Se tomaron muestras superficiales (800 ml aproximadamente) de cada una de las ocho zonas, se etiquetaron correctamente y se almacenaron a temperatura ambiente y en presencia de luz hasta su tratamiento.

**Tabla 2** Propiedades físicas y coordenadas de cada zona que se muestreó en el segundo muestreo.

	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>(°C)</b>	
<b>A</b>	19°49.366' N	100°40.07' W	18.5	5.5
<b>B(7)</b>	19°49.365' N	100°40.014' W	33	3
<b>C</b>	19°49.356' N	100°40.084' W	35	3
<b>D(10)</b>	19°49.347' N	100°40.103' W	25	5.5
<b>E</b>	19°49.335' N	100°40.110' W	25	5
<b>F</b>	19°49.334' N	100°40.113' W	35	5.5
<b>G</b>	19°49.337' N	100°40.089' W	35	3.5
<b>H</b>	19°49.338' N	100°40.092' W	46	5.5

### **Tratamiento de la muestra y siembra:**

Primer muestreo. Se prepararon 450 ml de medio BG11 y se esterilizó en una olla de presión a 120°C y 15 lb de presión durante 15 minutos. Posteriormente se vertieron 15 ml de medio en cada caja de Petri y se almacenaron en refrigeración a 4°C para la siembra de las algas. Se esterilizaron perlas de vidrio en tubos Falcon en una olla de presión a 120°C y 15 lb de presión durante 15 minutos. Se preparó una solución reguladora de fosfatos (PBS) y se vertieron 0.9 ml de la solución en cada tubo Eppendorf y se esterilizaron en una olla de presión a 120°C y 15 lb de presión durante 15 minutos. Se realizaron diluciones seriadas de cada muestra tanto de agua como de sedimento desde 100 hasta 10<sup>-2</sup>, tomando 0.1 ml de cada muestra y vertiéndolos en los 0.9 ml de los tubos Eppendorf, tomando como ésta la dilución 10<sup>-1</sup>, y se agitó para que se homogeneizara la dilución. Posteriormente se tomaron 0,1 ml de esta dilución y se vertieron en otro tubo Eppendorf con los 0.9 ml de solución de PBS y se agitó, tomando esta dilución como la 10<sup>-2</sup>.

Cada dilución se sembró por goteo con ayuda de una micropipeta de 0.01-0.1 ml. Se tomaron 0.1 ml de cada dilución y se vertieron sobre las cajas Petri con medio BG11, posteriormente se le agregaron de 4 a 6 perlas de vidrio a cada caja y se agitaron las perlas hasta que se secase la dilución en el medio y las perlas pudiesen resbalar sin problemas. Se sellaron las cajas y se dejaron a temperatura ambiente (23-25°C) y con iluminación las 24 horas.

Segundo muestreo. Se tomaron alícuotas de 0.1 ml de cada muestra y se hicieron diluciones seriadas con agua destilada estéril desde 100 hasta 10<sup>-2</sup>. Se prepararon 450 ml de medio agar CHU 10 y se vertieron en cajas de Petri. Se etiquetaron adecuadamente las cajas y se dejaron a temperatura ambiente y con iluminación las 24 horas durante 7 días.

### Almacenamiento de la muestra:

**Primer muestreo.** Se desinfectaron con benzal 4 botes de plástico con tapa con capacidad de 1 litro, 4 refractarios pequeños con tapa de 100 ml, 4 mangueras pequeñas y 4 aireadores para pecera. Se vertieron las cuatro muestras de agua en los botes de plástico y se le puso a cada bote un aireador con su manguera unida a una bomba de aire, filtrando el aire con un pequeño algodón a las salidas de la bomba. Las muestras de sedimento se vertieron en los refractarios de vidrio y se hidrataron con agua destilada y se sobretaparon. Todas las muestras se dejaron a condiciones ambientales y con luz las 24 horas.

Se le agregó una solución de nutrientes (nitratos, sulfatos y sulfuros) a cada muestra según la relación que hay en el medio BG11.

**Segundo muestreo.** Se desinfectaron con benzal 8 botes de plástico con tapa con capacidad de 1 litro, con sus respectivas mangueras y aireadores. Se dejaron a temperatura ambiente, con iluminación y aireación las 24 horas.

**Figura 1.** Almacenamiento de las muestras del primer muestreo (A) y del segundo muestreo (B).



### Identificación y aislamiento:

El seguimiento de los pasos para la identificación y aislamiento se hizo de la misma manera tanto en el primer como en el segundo muestreo. Para las muestras de agua se tomaron aproximadamente 0.1 ml de muestra y se observó al microscopio con objetivos 40X y 100X (aceite de inmersión). Para las muestras de sedimento se tomó con una espátula lo menos posible de éste, y se observó al microscopio a 40X y 100X (aceite de inmersión). Para tomar una muestra donde se presencie crecimiento de algas (adheridas a las paredes del bote), se tomó muestra con un hisopo previamente esterilizado.

Se raspó levemente sobre una pared y posteriormente se observó al microscopio a 40X y 100X (aceite de inmersión). Se fotografiaron las diferentes células que se observaron, para finalmente comparar por medio de referencias (manuales, artículos o guías) las células observadas.

El aislamiento se llevó a cabo por medio de la técnica de estriado por agotamiento de cada colonia observada macroscópicamente en los medios sólidos, para que posteriormente cada colonia se observara en el microscopio y se identificaran cuantos tipos de células había.

## 1.2 Resultados y discusión

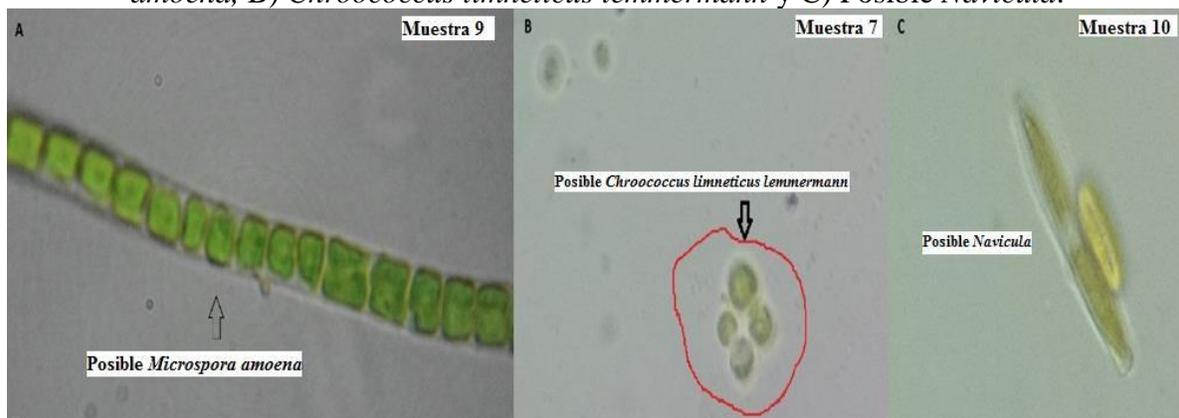
Los resultados denotados a continuación son resultados parciales que se tiene del proyecto. Primer muestreo:

En el primer muestreo no hubo crecimiento de microalgas en el medio sólido BG11, el cual es un medio general para las algas.

Esto se pudo deber a varios factores que no se tuvieron en cuenta, uno de ellos fue que se utilizó agua destilada para la elaboración del medio y no agua proveniente de la zona donde se muestreo; otro de los factores es que las diluciones se hicieron con la solución reguladora de fosfatos PBS; esto pudo afectar en el pH y evitar que proliferaran de manera adecuada las microalgas. Sin embargo, en los botes donde se almacenaron las muestras, las algas crecieron y se mantuvieron sin ningún problema.

En la tabla 1 a comparación de la tabla 2 no aparece el pH de cada zona debido a que en el primer muestreo el pH que se tomó era erróneo, puesto que el potenciómetro estaba descalibrado. No se logró aislar alguna especie de microalga, pero si se pudieron identificar algunas posibles dentro de estas muestras con ayuda de un microscopio óptico y observando con el objetivo de 100 X, para posteriormente comparar las fotografías tomadas, con ayuda de la página web [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org). También cabe resaltar que se encontró una gran diversidad de diferentes células en cada muestra pero solo tres de ellas se pudieron identificar con su posible nombre.

**Figura 1.1** Algunas microalgas posibles de las muestras 9, 7 y 10 del primer muestreo. A) *Microspora amoena*, B) *Chroococcus limneticus lemmermann* y C) Posible *Navicula*.



### Segundo muestreo:

En el segundo muestreo se tuvo éxito con las muestras que se sembraron en el medio sólido CHU10 modificado por Gerloff.

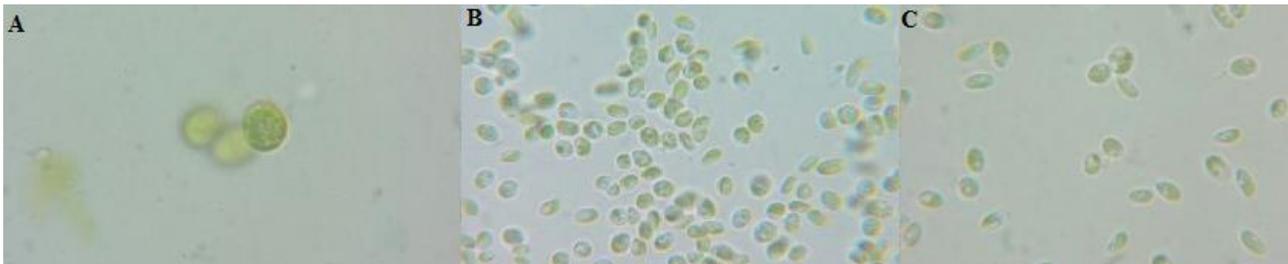
Hubo crecimiento de todas las zonas de donde se tomó la muestra para sembrar en las cajas de Petri, con excepción de dos zonas las cuales no se observó macroscópicamente ningún crecimiento o alguna proliferación de colonias de microalgas.

Las zonas que tuvieron crecimiento en las cajas fueron la A, D, E, F, G y H; mientras que las que no tuvieron crecimiento fueron la B y la C. Es interesante recalcar que todas las cajas estuvieron bajo las mismas condiciones.

Lo más probable es que las condiciones estrictas a las que se mantuvieron las muestras pudo afectar que ese tipo de microalga no se desarrollara con éxito.

Se seleccionaron las cajas donde hubo colonias de microalgas y se observaron al microscopio con el objetivo de 100X para poder distinguir si había más de una sola célula diferente. Se logró observar en la zona E, D y G un solo tipo de célula aislada, pero sin aún poder identificar a que género de microalga pertenece.

**Figura 1.2** Microalgas aisladas de una sola célula de las zonas D (A), G (B) y E (C) del segundo muestreo.



### 1.3 Conclusiones

Se obtuvieron tres células aisladas de tres zonas muestreadas. Sin embargo, no se han podido identificar de manera precisa los géneros y especies de las microalgas observadas en el microscopio, así como las microalgas aisladas en el medio sólido CHU10 modificado por Gerloff. Se ha encontrado una gran diversidad de morfologías de células en la región geotérmica de Los Azufres, por lo que es necesario continuar con su identificación y estudios de crecimiento.

### 1.4 Agradecimientos

Se agradece al cuerpo académico en formación Biotecnología aplicada a la sustentabilidad agrícola y ambiental, ITESI-CA-8 de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior del Itesi por los apoyos recibidos para esta investigación.

### 1.5 Referencias

- Arellano, M. V., Torres, M. A., & Barragán, R. M. (2005). Thermodynamic evolution of the Los Azufres, Mexico, geothermal reservoir from 1982 to 2002. *Geothermics*, 592-616.
- Escudero, R. M. (2012). Planta de producción de microalgas con fines energéticos. Almería, España.
- González Reyes, A. M. (2000). Alternativas en el cultivo de microalgas. Guayaquil, Ecuador.

Moreno, R. J., Medina , D. C., & Albarracín, H. V. (2012). Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. *Reduca*, 110-125.

Mottet, A., Habouzit, F., & Steyer, J. P. (2014). Anaerobic digestion of marine microalgae in different salinity levels. *Bioresource Technology*, 300-306.

Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2002). *Microbiología*. Madrid: McGraw-Hill. Romo, A. K. (2002). Manual para el cultivo de microalgas. Baja California Sur, México.

Talec, A., Philistin, M., Ferey, F., Walenta, G., Irisson, J.-O., Bernard, O., & Sciandra, A. (2013). Effect of gaseous cement industry effluents on four species of microalgae. *Bioresource Technology*, 353–359.

Tortora J. G., F. R. (2007). *Introducción a la microbiología*. México: Médica Panamericana. Valdés, Y. A., & Blanco Soto, M. F. (2008). Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. *Tecnología Química*, 46-50.

## **Brazo con movilidad (Con señales mioelectricas)**

Alfonso García, Manuel Vázquez, Pablo Reyna, Eladio Flores y Magali Huesca.

A. García, M. Vázquez, P. Reyna, E. Flores y M. Huesca.  
Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz  
algarcss@hotmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Today there are technology and knowledge to provide the body of reliable and discreet prosthesis, to the extent of allowing lead a life very similar to that carried before suffering the loss. There are many jobs for developing robotic arms used as prosthetics for humans, but such systems are often out of reach due to the high cost and in some cases by weight; The purpose of this task is the design, construction and commissioning of a system ensure to perform the most basic movements of a human arm, affordably priced and easy to install.

The methodology used is the proper design, construction and basic specifications of a prosthesis, as a design tool using the SolidWorks software, in other words, the construction of the different parts.

The work consists mainly of ADC myoelectric signal processing on a specific area of the human arm. Stressing the design of analog filters of high selectivity allowing the myoelectric signal conditioning, this thanks to the application of design theories cascade filter.

Obtaining the conditioning of noise-free myoelectric signals for digital processing. Once the myoelectric signal captured from specific areas of the human body, in this case arm. It begins to discriminate signals from the muscles involved in the study of patients with the application of signal processing.

## 2 Introducción

En este trabajo se desarrolla una tecnología que ayudara a los discapacitados a tener una vida lo más cómoda posible, y a un precio que favorezca a las personas de escasos recurso. En este último punto se enfocó el trabajo, es por eso que se utilizó material reciclable, y dispositivos no complejos para no incrementar el costo.

Hoy en día la robótica no sólo ha incursionado en la industria, centros de investigación, universidades y hospitales, actualmente existen fábricas completamente automatizadas mediante robots manipuladores. La robótica es tan familiar que se pueden encontrar robots en el hogar realizando tareas domésticas; no obstante todavía se considera un área joven en constante crecimiento. intestinal se compone de un gran número de microorganismos, alrededor de 395 filotipos a nivel de cepa, los miembros de los géneros: Firmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria y Proteobacteria, son las principales especies que se encuentran en la microbiota del adulto.

La prótesis es diseñada para personas que hayan tenido una amputación de un brazo, las ya existentes en el mercado y que son accesibles a las minorías, son rígidas y su función es de estética, no para que realicen algún movimiento; ya que son prótesis fijas.

### 2.1 Método.

El método que se utilizo fue el diseño propio en la realización del brazo, con materiales fáciles de conseguir, y para el tratamiento de las señales mioelectricas fue necesario investigar sobre los diferentes filtros, por lo que se realizaron los cálculos adecuados sobre los amplificadores de instrumentación.

## **Planteamiento del Problema.**

En la actualidad existe personas que les falta una extremidad y con falta de recurso económicos para poder adquirir una a un costo accesible, y que les permita realizar los movimientos esenciales de un brazo; motivados por la oportunidad de poder diseñar, construir y aplicar un sistema, que cumpla con esas características, para favorecer a este sector un poco olvidado a pesar del gran desarrollo tecnológico, nos lleva a la construcción del brazo con movilidad.

## **Objetivo.**

Diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema que sea capaz de realizar los movimientos más esenciales de un brazo humano, a un costo accesible y de fácil instalación.

## **Hipótesis.**

El sistema se ha dividido en tres etapas:

La construcción de la prótesis de manera mecánica, con actuadores, electroválvulas y un pequeño motor de CD; la movilidad principal realizada con aire comprimido.

Un segundo modelo ya automatizado, con movilidad individual de los dedos a través de servomotores, con sensores de flexión y acelerómetros; todo con una etapa de control a través de la tarjeta 2560 de Arduino Mega.

Una prótesis totalmente automática, en donde los movimientos son adquiridos a través de las señales Mioeléctricas de los propios músculos de la persona.

Esta es la versión final, tercera etapa del proyecto.

## **Desarrollo.**

El acondicionamiento y procesamiento analógico de las señales mioeléctrica estará basado en el filtraje de frecuencias no deseables. Esto lleva el uso de filtros análogos de topologías que implique dispositivos activos, que son los amplificadores Operacionales.

Para llegar conseguir esto, la teoría de Circuitos electrónicos en función a la frecuencia es la raíz para llegar este objetivo. Esto implica el análisis de la Transformada de Laplace donde modela la función de transferencia de dichos filtros.

La Electromiografía tiene estudios posteriores donde se determina la zona de posición del sensor donde emana los potenciales eléctricos para la obtención de estas. Posterior a esto, estudia la información y análisis de cada señal EMG. En base a esto, se riga la zona específica en donde adquirir las señales.

El modo de medición de la señal EMG para fijar a la superficie de la piel próxima al grupo muscular de interés.

## 2.2 Resultados

Resultados de la tarjeta de la etapa de preamplificación y filtrado.

Se puede observar que la señal obtenida es mucho más limpia que las reportadas en avances anteriores, con lo cual demostramos la eficacia de la tarjeta diseñada.

## 2.3 Discusión

El avance de la biomedicina es la invención de prótesis mioeléctricas. Esta prótesis utiliza sensores que ayudan la distinción entre los diferentes tipos de señales que emiten los músculos de las extremidades, teniendo como resultado una prótesis capaz de realizar los mismos movimientos de un brazo o pierna real; y es ahí en donde este proyecto queda terminado con la implementación de este método.

La construcción de la prótesis de manera mecánica, con actuadores, electroválvulas y un pequeño motor de CD; la movilidad principal realizada con aire comprimido.

Un segundo modelo ya automatizado, con movilidad individual de los dedos a través de servomotores, con sensores de flexión y acelerómetros; todo con una etapa de control a través de la tarjeta 2560 de Arduino Mega.

Una prótesis totalmente autómata, en donde los movimientos sean adquiridos a través de las señales Mioeléctricas de los propios músculos de la persona.

El avance de la biomedicina es la invención de prótesis mioeléctricas. Esta prótesis utiliza sensores que ayudan la distinción entre los diferentes tipos de señales que emiten los músculos de las extremidades, teniendo como resultado una prótesis capaz de realizar los mismos movimientos de un brazo o pierna real; y es ahí en donde este proyecto queda terminado con la implementación de este método.

Amanda Kitss dice que a los 3 meses de la operación comenzó a sentir pequeños espasmos y cosquilleos. A los 4 meses podía sentir realmente distintas partes de su mano al tocar lo que quedo de su brazo. Cuando ella pensaba en mover esos dedos fantasmas, los músculos de la parte real de su brazo se contraían; este testimonio y muchos más demuestran que sí es posible trabajar bajo este esquema.

Si bien es cierto que ya existen investigaciones al respecto, también es cierto que el precio de una prótesis de ese tipo, tendría un valor en el mercado de 6 millones de dólares, según el ingeniero biomédico Todd Kuiken, del instituto de rehabilitación de Chicago.

## 2.4 Agradecimientos.

A la Universidad tecnológica del Sureste de Veracruz, por las facilidades que han brindado para la realización de este trabajo, y a nuestros alumnos que han participado de manera muy activa, en la investigación y realización del proyecto.

## 2.5 Conclusiones.

Con este proyecto ha quedado demostrado que es posible detectar de una manera fácil las señales eléctricas generadas por la contracción de los músculos del brazo. Ha sido evidente que la parte más complicada es la de acondicionar estas señales, ya que se requiere de algunos cálculos matemáticos y cuidar que el CMRR sea grande, sin embargo, con la ayuda de algunos componentes como el Amplificador de instrumentación AD620, esta tarea resulta muy fácil.

Es importante mencionar que este proyecto tuvo el fin de mostrar las características de un adecuado sistema de instrumentación, sin embargo, el trabajo que se puede generar a futuro a partir de este proyecto es interesante. Por ahora echando mano de la amplificación y filtrado de las señales mioléctricas del brazo, es posible mover una prótesis que hace los movimientos más accesibles de un brazo humano.

## 2.6 Referencias

- R. J. Tocci “Sistemas Digitales” 6ª ed. Pearson Educación, 1996. Pp690-691.  
Adquisición de datos, National instruments [Consulta: 4 de agosto 2011] Disponible:  
<http://www.ni.com/dataacquisition/esa/whatis.htm>
- Eulogio T. Perez “Convertidores Analogicos/Digitales” Depto. Ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica, 2003. [Consulta: 4 de agosto 2011] Disponible:  
<http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/etperez/ejercicios/ConvertidoresAD.htm>
- Microchip Technology, Inc. instruments [Consulta: 4 enero 2011] Disponible:  
<http://www.microchip.com/>
- Arquitectura de computadoras [Consulta: 11 junio 2011] Disponible:  
<http://www.frm.utn.edu.ar/arquitectura/unidad3.pdf>
- Eduardo Garcia Breijo, “compilador C y simulador Proteus para microcontroladores PIC”, Alfaomega, 1ra. Edición, 2008.
- Microchip, PIC16F877A; EE.UU.2010 [Consulta 4 de septiembre del 2010], Disponible:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

## **Captación, almacenamiento y distribución de agua pluvial en las instalaciones del ITSSNP**

Sergio Hernández, Rafael Garrido y José Hernández

S. Hernández, R. Garrido y J. Hernández  
Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla, Av. José Luis Martínez Vázquez No. 2000, Jicolapa, Zacatlán,  
Puebla, México  
Universidad Tecnológica de Tlaxcala, Carr. a el Carmen Xalpatlahuaya S/N, Cp, 90500, Huamantla, Tlaxcala, México.  
Institución, Dirección postal  
Sergio2004@hotmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago,  
Guanajuato, 2014.

## Abstract

Zacatlán city is facing a lack of drinking water because the water consumed is supplied by aquifers located around the city, these garments have been affected by extractive mines. They are located near them causing soil erosion, landslides and diverted water, lack of culture of the population towards the care of the water caused excessive spending of this, on the other hand we have the lack of interest of the municipality to provide resources necessary for the maintenance of water facilities. The increased demand and decreased supply systems (aquifers), leakage and pollution have made it more frequent water shortages in some parts of the city. The development of this project is a response to strengthen the collection and use of rainwater not only in the ITSSNP but throughout Zacatlán city as part of a sustainable and comprehensive solution to the water problem in the basin.

## 3 Introducción

La tierra en que nacemos, crecemos y nos desarrollamos es hermosa a nuestros ojos, su clima, vegetación y especies animales que lo habitan le dan colorido y variedad. Todos los seres humanos formamos parte de este lugar y los recursos naturales son nuestra principal fuente de sobrevivencia, por lo tanto somos responsables de mantener y conservar el sitio donde habitamos.

Para el desarrollo de cualquier especie, incluida la humana, el agua es un curso básico: sin agua, no habría vida. Cobra mayor importancia cuando hablamos de sociedades desarrolladas, ya que se requiere de ella tanto para su uso doméstico como industrial, sobre todo en grandes ciudades como la de México.

Las lluvias, de carácter irregular e impredecible en ocasiones, se aprovecharon y canalizaron mediante sistemas naturales (manantiales, arroyos, ríos) o mediante sistemas artificiales que captaban y retenían el agua de lluvia para desviarla a los campos de cultivo. Gran parte de las obras hidráulicas que pertenecieron al señorío tenochca de fines del Siglo XVI fueron incorporadas a la red urbana actual (Villalonga, 2007:4). Los lagos de la cuenca de México fueron aprovechados y manipulados artificialmente para servir a distintos propósitos, ya fuera separar las aguas dulces de las saladas, crear suelos para uso agrícola o habitacional y para abastecer a la población. Gutierrez (2014)

En las viviendas, el agua se almacenaba en recipientes de barro, enterrados o al aire libre así como en piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco CONAGUA, (2009) . Otros depósitos subterráneos eran los chultunes o cisternas mayas, muchos persisten hasta el presente.

Son variados los beneficios que puede englobar un sistema de captación de agua de lluvia y es quizá el mejor instrumento para aminorar la extrema desigualdad social que lamentablemente gira en torno al agua.

De diseño simple y costo asequible para la mayoría de los hogares populares es sin lugar a dudas una excelente alternativa a considerar durante la época de lluvias... “Durante la época de lluvias” es un instrumento útil pero ¿qué sucede con él en la época seca? ¿Se le puede considerar un instrumento inútil? Habría que redireccionar el calificativo de “instrumento” a “estrategia” .

En innumerables ocasiones los sistemas de captación de agua de lluvia cumplen largos períodos de vida útil, es porque caen en el olvido y no reciben el adecuado mantenimiento. Obviamente hay algo que está fallando al pasar de la novedad a la ambigüedad.

Se puede atribuir el fracaso de muchos sistemas de captación de agua de lluvia a la carencia de visión para considerarlos como parte de un entorno social y espacial que es propenso a modificarse con el tiempo. La garantía del buen uso y mantenimiento. Del sistemas de captación de agua de lluvia no radica en una correcta instalación sino en el lograr generar sentido de pertenencia e identidad para con éste que no es posible si no se incluye a los beneficiarios o comunidad local en un proceso participativo, equitativo e incluyente que debería considerar el pre, durante y post instalación del sistema de captación de agua de lluvia, no es una obra contemplativa de realización a corto plazo sino una estrategia de construcción colectiva de actualización “permanente”.

Las organizaciones de la sociedad civil en colaboración con académicos y estudiantes universitarios, pueden ser el binomio que solventa tareas específicas de los gobiernos locales o regionales. Pueden ser más *no deben ser* la solución, lo que se debe lograr es un apoyo político para que estas iniciativas perduren. Crear ciudadanía. Es así que surgen acciones locales que demuestran el potencial de experimentar con nuevas formas de administración de los recursos naturales para contribuir a elevar el nivel de vida en las propias comunidades y mejorar la calidad de los ecosistemas que administran (Barkin, 2011). Es así que surgen acciones locales que demuestran el potencial de experimentar con nuevas formas de administración de los recursos naturales para contribuir a elevar el nivel de vida en las propias comunidades y mejorar la calidad de los ecosistemas que administran. Barkin, (2011).

En el municipio de Zacatlán, los mantos acuíferos que abastecen a la ciudad se han visto dañados debido al deterioro del ecosistema del lugar y de la erosión del suelo, que han sido dañados por diversos factores como lo son:

- El municipio por su falta de interés y apoyo en el mantenimiento de la red de agua potable, ha contribuido al deterioro de este vital líquido.
- La población por su falta de interés, cultura y educación han contribuido al agotamiento del agua.
- Las empresas extractivas (minas) han afectado con sus excavaciones, provocando derrumbes, erosión del suelo y el desvío del agua.
- El ciclo hidrológico se ha visto alterado debido a la contaminación excesiva que existe y el daño al ecosistema.

Todos estos factores han contribuido de diferentes maneras al deterioro de los mantos acuíferos que abastecen a la ciudad de Zacatlán. Además la red de distribución de agua potable (SOSAPAZ) tiene un área de abastecimiento de 32,000 habitantes que en promedio se destinan 220 litros por persona/día, obteniendo un consumo diario de 7,040,000 litros de agua potable en la ciudad, distribuidos de la siguiente manera: El 40% es usado para la agricultura, el 30% es para industrias, 20% para descargas de baño y 10% para el consumo humano provocando el agotamiento del agua en la región.

### **3.1 Materiales y métodos**

El tipo de investigación que va a aplicarse en el proyecto de captación de agua pluvial es cuantitativa porque nos permitirá analizar los datos obtenidos para definirlos, limitarlos y saber exactamente qué dirección va a llevar dicha investigación.

Un sistema de captación de agua de lluvia consiste en la recolección o acumulación y el almacenamiento de agua precipitada, para ser utilizada posteriormente para cualquier uso. Un sistema básico de captación de agua pluvial está compuesto por: Captación, recolección-conducción y almacenamiento. Existe conocimiento sobre una gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Dichas técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes, tipo de escorrentía, técnicas de manipulación, tipo de almacenamiento y a los diferentes usos que se le da al recurso. La viabilidad técnica y económica dependerá de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al recurso agua. Aun así, aquellos lugares del mundo con alta o media precipitación son los candidatos más atractivos donde implementar el sistema. Antes de establecer un sistema de captación de agua de lluvia, se debe recopilar información, principalmente, la cantidad de precipitación pluvial mensual. Los datos deben cubrir el período de los últimos 10 años para determinar el patrón de precipitación pluvial. También debemos incluir en los cálculos la medición del área total de recolección, es decir, medir el área del techo para averiguar el porcentaje de lluvia que se recolectará, así como el factor de pérdida o la cantidad de agua de lluvia que no cae en el tanque. Además, debemos proveer la demanda de agua, que puede determinarse simplemente contando el número de personas que utilizarán el agua y averiguando qué promedio del líquido utilizan diariamente para los distintos propósitos: beber, cocinar, lavar, etc. Sistema para calcular cuánta agua se podría aprovechar de la lluvia: Precipitación Anual x metros cuadrados del área de captura (como un techo) = cantidad de litros/año que se pueden obtener.

#### Fases de desarrollo:

- Construir una cisterna de abastecimiento de agua.
- Abastecer el consumo de agua para las diferentes actividades generadas en la institución.
- Capacitar al personal académico y alumnos sobre la implementación de un sistema de captación de agua pluvial.
- Realizar actividades de difusión sobre este sistema a otros usuarios potenciales de agua potable en Zacatlán.
- Evaluar el interés de los diferentes usuarios en la aplicación de este sistema de cisternas de agua pluvial para cumplir con sus demandas de agua potable.
- Proporcionar información acerca del funcionamiento de los sistemas de recolección de agua pluvial y los beneficios al medio ambiente y a diferentes aspectos económicos que este brinda al sector educativo.
- Proporcionar a la sociedad visitas al ITSSNP acerca de cómo funcionan los sistemas de recolección de aguas pluviales y los beneficios de a la salud, medio ambiente y del ahorro económico que este servicio brinda.

#### Pasos para calculo de la lluvia a recolectar

- Calculo del área de la estructura que se utilizara para la captación.
- Comparar con datos del pluviómetro.
- Una pulgada de lluvia en un pie cuadrado de área de superficie produce 0,623 galones (2,35 litros).
- Para 0,623 galones (2,35 litros) por el número de metros cuadrados de superficie. En este caso se trataría de 30 pies (9,14 metros) x 50 pies (15,24 metros) = 1500 pies cuadrados (139,35 m<sup>2</sup>) x 1 pulgada (2,54 cm) x 0,623 galones (2,35 litros) por pie cuadrado por pulgada de lluvia. Eso viene a 9,345 galones (35,37 litros) por pie cuadrado.

La cantidad de agua caída después de un aguacero se mide en litros por unidad de superficie. Los meteorólogos asumen para estimar el volumen de agua caída, que en una superficie determinada cae, aproximadamente, la misma cantidad de agua por metro cuadrado. Para calcular la cantidad de agua de lluvia que cae sobre una región, como no se puede hacer directamente, se recurre al siguiente procedimiento: se transforman los litros caídos por unidad de área, en una longitud que puede ser medida utilizando una regla. Esta transformación proporciona un modelo sencillo para determinar el agua caída. El aparato que permite esta transformación se llama pluviómetro. El pluviómetro recoge una caja cuadrada de 1m de lado de agua de lluvia caída. Cuando cesa la lluvia, se mide la altura del agua recogida en la caja, por medio de una regla métrica. Cada milímetro de altura de agua es equivalente a 1 litro/m<sup>2</sup>. Por ello, cuando los boletines meteorológicos hablan de una precipitación de tantos milímetros, en realidad se están refiriendo a los litros/m<sup>2</sup>.

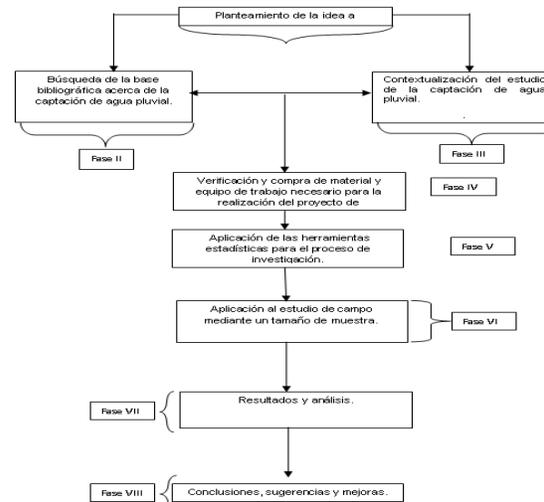
Zacatlán es un municipio localizado en el Estado de Puebla, México, es reconocido con el nombre de Zacatlán de las Manzanas, por ser uno de los principales centros productores de manzana.

La extensión territorial de Zacatlán es de 512. 82 Km cuadrados, ubicándolo en el séptimo lugar de los municipios del estado de Puebla.

Se localiza a una altitud de 2.010 metros sobre el nivel del mar, latitud 19° 56' N, longitud 97° 57' O. Es una excelente región productora de manzanas, maíz, frijol, cebada, habas, papas, aguacates y ciruelas. Cuenta, además, con ganadería bovina y ovina.

Zacatlán se localiza en la vertiente hidrografía septentrional del Estado de Puebla, que está formada por las cuencas parciales RH 18 ó Balsas, RH 26 ó Pánuco y RH 27 ó Tuxpan-Nautla, que desembocan en el Golfo de México y se caracteriza por ríos pertenecientes a la cuenta del Río Tecolutla, afluente de varios ríos que desembocan en el golfo de México, entre los que destacan: el río Axaxalpan, los ríos Tuliman, Hueyapan, Cedazo, Maquixtla, Tepexco, la Ferrería, Tlayaquia y Atlixcala. La hidrología de Zacatlán se completa con los manantiales de las comunidades de San Pedro, pero principalmente del manantial que brota en Santa Martha, el arroyo Metlaxitla y el arroyo Los Baños, el cual constituye la fuente más importante de abastecimiento del Sistema Operador del Agua Potable y Alcantarillado de Zacatlán.

El clima de Zacatlán es templado, sin embargo a lo largo de su extensión se presentan las siguientes variantes: Clima templado subhúmedo: con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18 °C; se presenta al extremo suroeste y extremo sureste. Clima templado húmedo, con abundantes lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, precipitación del mes más seco menor de 40mm, es el clima predominante, se presenta en una franja latitudinal que cruza el municipio por el centro. Clima templado húmedo, con lluvias todo el año, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Precipitación del mes más seco, mayor de 40 mm por ciento de lluvia invernal con respecto a la anual es menor de 18. Se presenta en el norte del municipio. Clima semicálido subhúmedo con lluvias todo el año temperatura media anual mayor de 18 °C precipitación del mes más seco mayor de 40 milímetros; por ciento de lluvia invernal con respecto a la media anual menor de 18°. Se identifica en un área muy reducida del extremo norte. La figura 1 muestra un diagrama de la estructura a desarrollar en esta investigación.

**Figura 3.** Propuesta de investigación

Diseño del sistema de captación de agua pluvial instalado en el ITSSNP: En base al análisis realizado a los diferentes sistemas de captación de agua pluvial implementados ya en la región por diferentes asociaciones, se realizó el diseño del sistema a implementar en las instalaciones del ITSSNP, tomando en cuenta todos los aspectos esenciales para la aplicación de dichos sistemas. El proyecto de captación, almacenamiento y distribución de agua pluvial se llevara a cabo en diferentes etapas con la finalidad de cubrir las diferentes demandas existentes en el Instituto.

### 3.2 Resultados

La instalación se llevo a cabo en el edificio del centro de cómputo tomando solo una cuarta parte del techo, esto se determinó de acuerdo a la demanda de agua potable que se tiene en este edificio, dichos datos fueron proporcionados por Ingeniero vera Sánchez encargado del departamento de recursos materiales, como se muestra en la tabla

**Tabla 3** Demanda promedio mensual del centro de cómputo  
**centro de computo**

<b>demanda mensual</b>	10.98 m <sup>3</sup>
------------------------	----------------------

El área del techo es calculada:  $30.5 * 30.5 = 930.25 \text{ m}^2$ . La precipitación se obtiene al sacar el promedio anual de lluvia en la región de Zacatlán, la cual es: 1000mm al año.

El Coeficiente de aprovechamiento del agua de lluvia es determinado de acuerdo al tipo de material del que está construido el techo, para ello existen varios coeficientes tales como se muestra en la tabla

**Tabla 2** Tabla de coeficientes de captación.

Coeficientes de captación de superficies comunes en techos

Tipo de superficie	Coefficiente de captación A*	Coefficiente de captación B**
Lámina metálica y plástica	0.8 – 0.85	0.75 – 0.95
Teja	0.62 – 0.69	0.75
Loza de concreto	0.73 – 0.76	0.70 – 0.95
Loza con terminado en grava	---	0.70
Loza con terminado de tabique o ladrillo	---	0.70 – 0.85

\* (Gould y Nissen-Petersen, 1999)

\*\* (Mechell et al., 2010)

La obtienen los datos de los meses más lluviosos de la región que son: junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, se muestran en la tabla.

**Tabla 3** Captación de agua  
**CALCULO PARA SABER CUÁNTA AGUA SE PUEDE CAPTAR**

<b>Área del techo</b>	900 m <sup>2</sup>	<b>225 m<sup>2</sup></b>
<b>Precipitación</b>	1000 mm/ año	<b>1000 mm/ año</b>
<b>Coefficiente de aprovechamiento del techo</b>	.73 - .76	<b>.76</b>
<b>Meses lluviosos</b>	5 – 6	<b>6</b>

Tomando estos datos se obtiene:

$$(225 \text{ m}^2) (1000 \text{ mm}) (.76) = 171,000 / 6 = 28,500 \text{ lts/mes}$$

En la siguiente tabla , se muestra la capacidad en metros cúbicos de la cisterna implementada en el Centro de Cómputo, esta tiene una capacidad de 19000 mil litros, fue fabricada tomando como base la demanda que tiene el edificio, aunque la capacidad de captación del techo es de 28500 litros, solo se aprovecharan 19000.

**Tabla 4** Capacidad de la cisterna  
Capacidad de la cisterna

<b>Litros * metro cubico</b>	1000 lts = 1m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>19000 lts= 19 m<sup>3</sup></b>

### 3.3 Conclusiones

Con base a todos los análisis que se han realizado a lo largo de este proyecto se pueden concluir los siguientes puntos:

Este sistema de aprovechamiento del agua de lluvia es una alternativa viable para abastecer en cantidad y calidad de agua las diferentes actividades generadas en el Instituto. El sistema instalado de aprovechamiento del agua de lluvia está integrado por el área de captación, el sistema de conducción, la infraestructura de almacenamiento, la filtración y el sistema de distribución de agua.

La difusión del sistema de captación de agua pluvial ha permitido dar a conocer y capacitar tanto a estudiantes, personal académico y demás personal del Instituto el funcionamiento e implementación de sistemas de captación de agua pluvial. La difusión del sistema de captación de agua pluvial ha permitido dar a conocer y capacitar a otros usuarios potenciales de agua potable en Zacatlán como: Instituciones educativas, mercado municipal, hospitales y población en general sobre el funcionamiento e implementación de sistemas de captación de agua pluvial.

Con la difusión del sistema se ha logrado dar a conocer los beneficios que brinda al medio ambiente, la economía y al sector educativo. Las visitas que se llevaron a cabo de diferentes instituciones, permitieron dar a conocer cómo funciona el sistema instalado, el mantenimiento que requiere y los beneficios que se obtienen al tener un sistema de captación de agua pluvial.

La implementación de un sistema de captación de agua pluvial, en una Institución, hospital, hogar, etc. Es una excelente alternativa para abastecer necesidades básicas, gracias a que el agua de lluvia es un recurso natural que los seres humanos no aprovechamos en su totalidad, siendo que este es una excelente alternativa para tener una mejor calidad de vida en el futuro.

### 3.4 Referencias

- Conagua (2009). Semblanza histórica del agua en México. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA/Publicaciones/Publicaciones/SGp-28SemblanzaHist>. Noviembre (2013)
- Barkin, D. (2011). La gestión popular del agua: Respuestas locales frente a la globalización centralizadora, en economía ecológica, No. 25, España.
- Batillori A. (2008). La educación ambiental para la sustentabilidad: un reto para las universidades. Centro de investigación interdisciplinarias, México.
- Gutierrez S. A., (2014). Captación de agua pluvial, una solución ancestral. Impluvium, Número 1.
- Villalonga, A., (2007) El imperialismo hidráulico de los aztecas en la cuenca de México, en Tecnología de agua, año 27, Número 288, México.
- <http://www.monografias.com/trabajos15/direccion/direccion.shtml>  
<http://www.noticiasnet.mx/portal/14302-%C2%BFc%C3%B3mo-se-mide-la-lluvia-ca%C3%ADda>  
<http://www.zacatlanelasmanzanas.com.mx/geografia.html>

## **Estimacion de zonas de erosion y azolvamiento de sedimentos en oleoductos con un modelo pesado trazador de particulas**

Israel Herrera, Jose Gasca, Blanca Gomez, Juan Ramírez y Sergio Marquez.

I. Herrera, J. Gasca, B. Gomez, J. Ramírez y S. Marquez.  
Universidad de Guanajuato  
eherrera@ugto.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

We developed a particle tracking model to estimate sediment transport in coastal areas where there are protection works, this will make the calculation of the hydrodynamics of the study area by identifying the three-dimensional velocity field in conjunction with the spread wave and the associated phenomena (diffraction and reflection) on the free surface allows particle transport independently in any direction in space caused by the velocity field and the turbulent dispersion (type random Brownian motion). Dispersal mechanisms and re-suspension of particles used were represented by stochastic models, which describe the movement by means of a probability function.

Model validation was carried out with two cases with known numerical solution using a discrete-continuous transformation method PIC (Particle in Cell), obtaining lower percentage average relative errors to 4.8 % in both cases. The results of simulating the transport of 350,000 particles under different scenarios can determine areas susceptible to erosion and clogging which houses a pipeline (pipeline or pipeline) in a coastal.

## 4 Introducción

El modelo numérico computacional desarrollado para el transporte de las partículas, está dado bajo un enfoque lagrangeano; las partículas son sembradas o colocadas siguiendo una ley exponencial de concentraciones o mediante una posición inicial en el espacio tridimensional. Para el movimiento de partículas se considera el peso específico de cada partícula así como de la velocidad de caída de la misma[12], el análisis toma especial interés sobre las partículas en suspensión.

En el modelo lagrangeano tiene la capacidad de emplear el cálculo previo de la hidrodinámica del flujo del dominio de estudio, o de forma integrada al cálculo hidrodinámico, de preferencia se desarrolla y se modela por separado, esto por conveniencia computacional. Los resultados del cálculo hidrodinámico corresponden a un campo estable y convergido en el tiempo, lo que indica que los campos de velocidades y sus parámetros turbulentos, se pueden asumir como constantes, pero con una variación espacial importante, de este modo la simulación del transporte de partículas se realiza para tiempos mayores a los obtenidos en la simulación hidrodinámica. Por lo tanto, para el transporte de partículas se puede usar repetidamente un mismo campo hidrodinámico, para todos los intervalos de tiempo, ( $6t$ ) tantas veces como se requiera, hasta completar el periodo de simulación. Las velocidades que mueven a las partículas, se obtienen de interpolar linealmente, las velocidades que se encuentran sobre una malla tridimensional alrededor de la partícula.

El hecho de separar la simulación hidrodinámica de la simulación del movimiento de partículas, nos permite desarrollar grandes números de simulaciones de transporte[7], de este modo podemos simular movimientos de partículas con: diferentes ubicaciones y tipos de fuentes, varias duraciones de simulación, distintos parámetros de transporte y distintas propiedades físicas de las partículas (peso específico y diámetro), todo esto sobre la base de una simulación hidrodinámica del flujo.

## 4.1 Materiales y métodos

### Modelo hidrodinámico

Se emplean las ecuaciones de Navier-Stokes para modelar el movimiento del fluido en aguas someras, en donde las escalas horizontales son mucho más grandes que la escala vertical, con la hipótesis de presión hidrostática y considerando los postulados de Reynolds[10] son:

Las ecuaciones que describen el movimiento del flujo:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \text{div} \left( v_e \overrightarrow{\text{grad}}(u) \right) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \text{div} \left( v_e \overrightarrow{\text{grad}}(v) \right) \quad (4.1)$$

La ecuación para la superficie libre:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{-zf}^{\eta} u \, dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_{-zf}^{\eta} v \, dz \right) \quad (4.2)$$

Donde  $(v_e)$  es el coeficiente de viscosidad efectiva, obteniéndose mediante la suma del coeficiente de viscosidad turbulenta y molecular  $v_e = \nu_t + \nu_m$  para resolver la viscosidad turbulenta [3].

$$\nu_t = \left\{ l_h^4 \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] + l_v^4 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (4.3)$$

Donde la longitud vertical se define por  $l_v = k(z - z_b)$  para  $(z - z_b) / \delta < \lambda / k$  y  $l_v = \delta$  para  $\lambda / k < (z - z_b) / \delta < 1$ ,  $(k)$  es la constante de von Kármán con valor típico de 0.41,  $(z - z_b)$  es la distancia desde el fondo,  $(\delta)$  es el espesor de la capa límite y  $(\lambda)$  es una constante con valor de 0.09. En el caso de los flujos de aguas poco profundas, debido a una corriente constante, el espesor de la capa límite puede suponerse igual a la profundidad del agua  $(h)$ . La escala horizontal es generalmente mayor que la escala vertical, por lo tanto, es más simple asumir una proporcionalidad directa definida por  $l_h = \beta l_v$ . La constante  $(\beta)$  tiende a ser determinada experimentalmente.

Las condiciones de frontera para la superficie libre y el fondo se definen por:

$$\begin{aligned} \tau_x^{\text{fondo}} &= v_e \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\text{fondo}} = \frac{g \sqrt{u^2 + v^2}}{c_z^2} (u) \\ \tau_y^{\text{fondo}} &= v_e \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{\text{fondo}} = \frac{g \sqrt{u^2 + v^2}}{c_z^2} (v) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Donde  $(c_z)$  es el coeficiente de Chezy. Las componentes de la velocidad toman los valores de la capa adyacente a la interfase agua-sedimento.

$$\begin{aligned}\tau_x^{superficie} &= v_e \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{superficie} = -\frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} (a_{viento}) \omega_x |\omega_x| \\ \tau_y^{superficie} &= v_e \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{superficie} = -\frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} (a_{viento}) \omega_y |\omega_y|\end{aligned}\quad (4.5)$$

donde  $\rho_{aire} = 1.29 \text{ kg/m}^3$ ,  $(\omega_x, \omega_y)$  son las componentes horizontales en  $x$  y  $y$  respectivamente de la velocidad del viento a 10 m de altitud. El coeficiente  $a_{viento}$  adimensional y se puede obtener utilizando la ecuación dada por Flather (1976) [10].

$$\begin{aligned}a_{viento} &= 0.565 \times 10^{-3} \text{ si } |\vec{\omega}| \leq 5 \text{ m/s} \\ a_{viento} &= (-0.12 + 0.137 |\vec{\omega}|) \times 10^{-3} \text{ si } 5 \leq |\vec{\omega}| \leq 19.22 \text{ m/s} \\ a_{viento} &= 2.513 \times 10^{-3} \text{ si } |\vec{\omega}| \geq 19.22 \text{ m/s}\end{aligned}\quad (4.6)$$

### Modelo de distribución de partículas de sedimento

El modelo numérico para el transporte de partículas, está dado bajo un enfoque lagrangeano; las partículas son sembradas o colocadas siguiendo una ley exponencial de concentraciones o mediante una posición inicial en el espacio tridimensional [9].

Para el movimiento de partículas se considera un modelo estocástico y discretizado en tres dimensiones, considerando el peso específico de cada partícula así como de la velocidad de caída de la misma [4] y se verifica si éstas están dentro del dominio de estudio para un único paso de tiempo ( $t$ ) de  $(n)$  a  $(n + 1)$  está dada por:

$$\begin{aligned}x_i^{n+1} &= x_i^n + u_{i,j,k}(\Delta t) \pm (2 \text{ rand}(\text{iseed}) - 0.5) \sqrt{2 v_{t_{i,j,k}} \Delta t} \\ y_i^{n+1} &= y_i^n + v_{i,j,k}(\Delta t) \pm (2 \text{ rand}(\text{iseed}) - 0.5) \sqrt{2 v_{t_{i,j,k}} \Delta t} \\ z_i^{n+1} &= z_i^n + w_{i,j,k}(\Delta t) \pm (2 \text{ rand}(\text{iseed}) - 0.5) \sqrt{2 (v_{t_{i,j,k}} \Delta t) - (w_s \Delta t)}\end{aligned}\quad (4.7)$$

(10)

donde  $(x_i^n, y_i^n, z_i^n)$  es la posición de la partícula en el tiempo ( $t$ ) [4] ( $u, v, w$ ) son las velocidades medias en  $(i, j, k)$ ,  $(vt)$  es el coeficiente de viscosidad turbulenta,  $(\Delta t)$  es el paso de tiempo lagrangeano y  $(w_s)$  es la velocidad de caída del sedimento. El seguimiento de las partículas es empleando las ecuaciones (10), por lo tanto cada partícula está sujeta a un desplazamiento espacial de magnitud

En cualquiera de las direcciones del dominio en estudio, el signo es positivo o negativo dependiendo del sentido de su ubicación. En ese instante de tiempo el campo de velocidades actúa sobre cada partícula, de esta forma el movimiento tiene un sentido en función del movimiento principal, dado por los campos de velocidades.

El término  $(vt)$  se encuentra sobre todo el dominio, representado por un campo de escalares positivos, que posee la información de las intensidades turbulentas.

Los esfuerzos cortantes en un flujo turbulento, a lo largo de su profundidad ( $z$ ), puede escribirse como:

$$\vec{\tau}_i = \vec{\tau} \frac{dz}{dz} \vec{u} \vec{w} \quad (4.8)$$

donde:  $(\tau_i)$  es el esfuerzo cortante de fondo,  $(\rho)$  densidad del fluido,  $(\nu)$

coeficiente de viscosidad cinemática,  $(U)$  velocidad media del fluido y  $(\overline{u'w'})$  correlaciones dobles en el fondo.

El esfuerzo cortante crítico que actúa sobre las partículas, se escribe:

$$\tau_{critico} = 0.03 (\rho_s - \rho) g d_{50} \quad (4.9)$$

se tiene que  $(\rho_s)$  es la densidad del sólido,  $(\rho)$  densidad del agua,  $(g)$  aceleración de la gravedad y  $(d_{50})$  el diámetro de la partícula para el cual pasa el 50 %.

### Velocidad de caída del sedimento

Para determinar la velocidad de caída de las partículas de sedimentos,

Éstas se consideran que tienen forma no esféricas [2], por lo que el efecto que tiene la formas influyen bastante en su velocidad principalmente en partículas relativamente grandes ( $> 300\mu m$ ), las expresiones que determinan la magnitud de la velocidad de caída [13] se expresan a continuación.

$$1 < d \leq 100\mu m$$

$$100 < d \leq 1000\mu m \quad (4.10)$$

$$d \geq 1000\mu m$$

se tiene que  $(d)$  es el diámetro de la criba,  $(S)$  gravedad específica,  $(\nu)$  coeficiente de viscosidad cinemática y  $(g)$  la aceleración de la gravedad.

### Efecto de la concentración de sedimentos

La velocidad de caída de una sola partícula es alterada por la presencia de otras partículas [5], el efecto de las otras partículas hace que la velocidad de caída sea mayor, en cuanto mayor sea la concentración. Para corregir ese efecto se propone emplear la siguiente ecuación:

$$w_{s,m} = (1 - c)^\mu w_s \quad (4.11)$$

las variables son:  $(w_{s,m})$  velocidad de caída de la partícula en suspensión,  $(w_s)$  velocidad de caída de la partícula en líquido limpio,  $(c)$  concentración

volumétrica de sedimentos y  $(\mu)$  coeficiente adimensional (con valor de 4 a 5 para partículas con diámetros entre  $50\mu m$  y  $500\mu m$ ).

## Transformación discreta-continua para la concentración de partículas

El esquema de transformación empleado para obtener el campo de concentración del sedimento a partir del modelado lagrangeano de las partículas es el (PIC) por sus siglas en ingles (particle-in-cell) [6] y [1], en donde la concentración en un celda es obtenida dividiendo la masa total de las partículas contenidas en la celda por el volumen contenido en la misma.

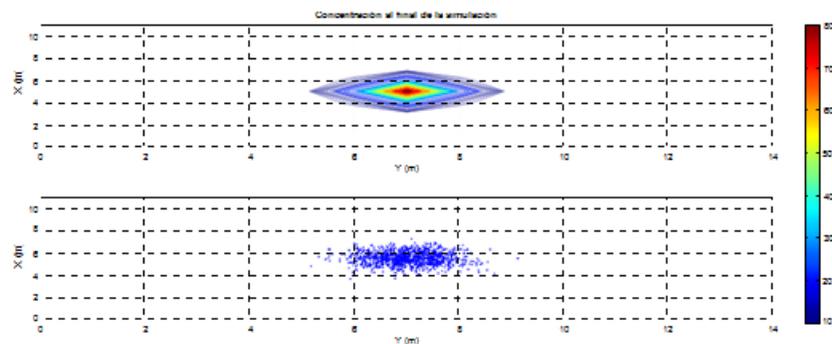
### Validación del modelo de partículas

El modelo se verificó con dos casos con solución numérica conocida; el primer caso consiste en una descarga instantánea de una sustancia o contaminante conservativo en un dominio controlado en el cual la masa es transportada exclusivamente por difusión. La solución analítica en tres dimensiones esta dada por la siguiente ecuación [11]:

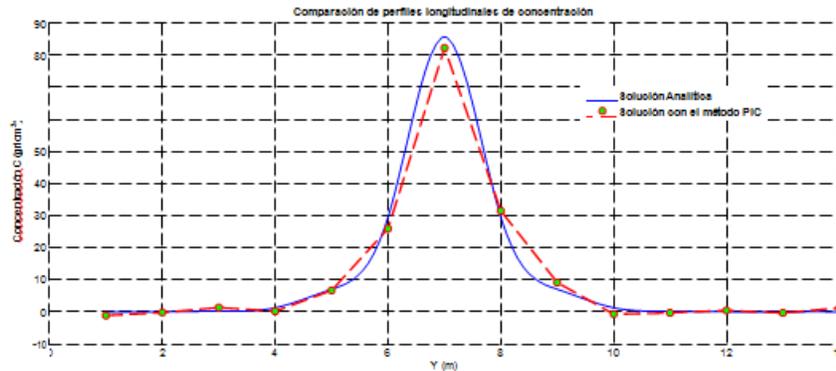
$$C_{x,y,z,t} = \frac{C_0}{(4 \pi K_x K_y K_z t)^{3/2}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{4K_x t} - \frac{(y-y_0)^2}{4K_y t} - \frac{(z-z_0)^2}{4K_z t}} \quad (4.12)$$

La distribución de concentración resultante fue obtenida empleando un tiempo de simulación por difusión de 15 segundos empleando el método PIC con una masa inicial de 1500 partículas con el mismo diámetro y características donde los resultados se muestran en las figuras obteniendo un promediado del error relativo porcentual en comparación con la solución analítica de 4.76 %.

**Figura 4** Distribución de la concentración al final del periodo de simulación de forma continua (superior) y discreto de partículas (inferior)

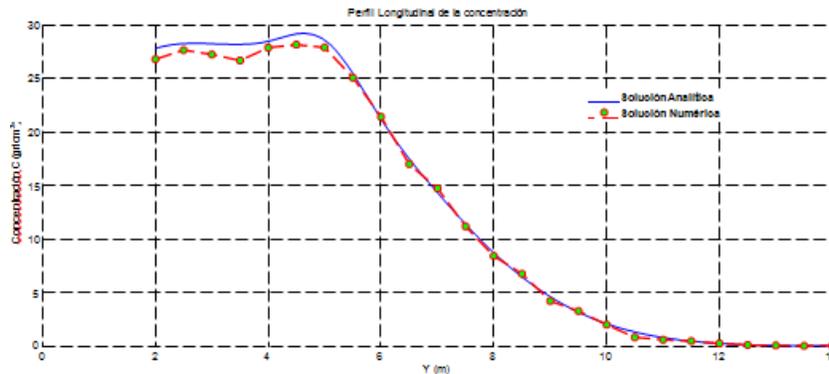


**Figura 4.1** Perfiles de comparación entre la solución analítica y el método PIC del primer caso



El segundo caso de validación, corresponde a una descarga continua de duración infinita donde la solución analítica en 1D corresponde a una sustancia conservativa.

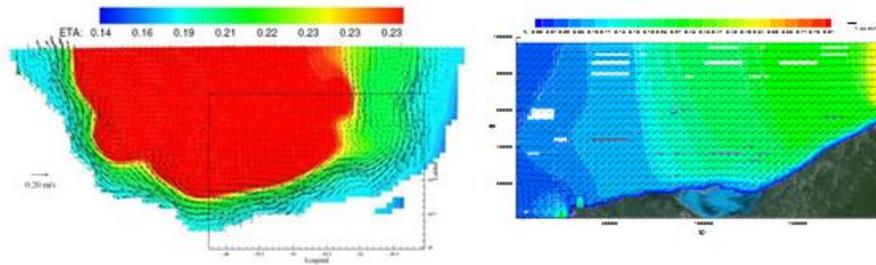
**Figura 4.2** Comparación del perfil longitudinal de concentración entre la solución analítica y el método PIC del segundo caso



## 4.2 Resultados y discusión

El dominio numérico considera profundidades reales hasta los 400 m, después de esta isóbata se considera que las profundidades se mantienen constantes. Para evitar inestabilidades en los gradientes de presión, la batimetría se suavizó cuidando que no perder sus características principales. La malla numérica está diseñada en coordenadas cartesianas con el eje “x” orientado hacia el Este y el eje “y” orientado hacia el Norte. El tamaño del paso en la malla es homogéneo. La malla contiene 99 celdas en la dirección longitudinal y 49 en la dirección perpendicular con ( $x = y = 2000m$ ) y se emplea el modelo 2D integrado en la vertical.

**Figura 4.3** Simulación hidrodinámica 2D en el Golfo de México (izq.) y en Sonda de Campeche (der.)



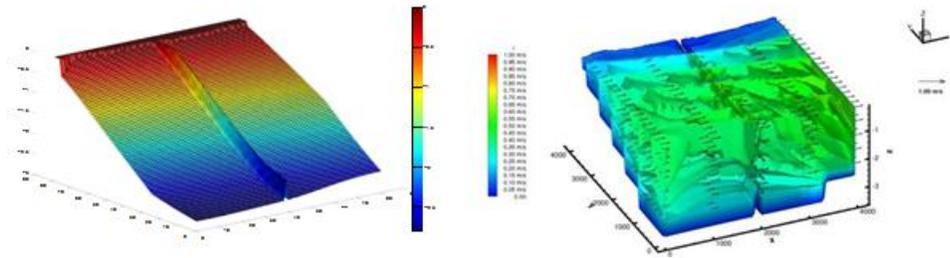
El tamaño de paso temporal fue de 1 segundo con duración total de simulación de 30 días. Como condiciones iniciales se consideran las entradas de corrientes litorales y la fluctuación de la superficie por la influencia de la marea en las fronteras Este y Oeste; se considera que la temperatura en la región central de la Bahía de Campeche es constante en todo el dominio así como la salinidad con un valor de 36. El viento interactúa con la superficie libre en todo el dominio de estudio. El campo hidrodinámico para el mes de Noviembre de una sección del Golfo de México y el campo de vectores de velocidad para la zona conocida como Sonda de Campeche se presenta en la figura (4); posteriormente, se utiliza un modelo de submalla para realizar una simulación hidrodinámica en 3D mas refinada donde se localiza el oleoducto, empleando espaciamiento en la vertical ( $6z = 0.5m$ ) formando 7 celdas que en total representa una profundidad máxima de 3.5 m, para el plano horizontal se tiene un espaciamiento de ( $6x = 6y = 50m$ ), por último, se presenta en el cuadro (1) las condiciones iniciales del sembrado y concentración de sedimentos en el fondo, donde se mantiene un comportamiento no cohesivo.

**Tabla 4** Condiciones iniciales o forzantes para la simulación del transporte lagrangeano de sedimentos

Parámetro	Valor
Concentración inicial de fondo $kg/m^3$	0.81
Número de partículas $D_{50}$ de fondo (0.088mm)	40,500
Número de partículas $D_{10}$ de fondo (0.007mm)	9,300
Número de partículas $D_{90}$ de fondo (0.190mm)	4,650
Concentración inicial puntual $kg/m^3$	0.56
Número de partículas $D_{50}$ puntual (0.038mm)	7,980
Número de partículas $D_{10}$ puntual (0.062mm)	3,518
Número de partículas $D_{90}$ puntual (0.167mm)	2,682

La malla numérica esta formada por 81 celdas en la dirección “x” y el mismo número de celdas en la dirección “y”. Se consideran dos mallas, el primer caso es que no existe ninguna tubería sobre el fondo, el objetivo es observar el patrón hidrodinámico en estado natural; el segundo caso presenta un obstáculo al cual lo asociamos a una tubería de diámetro de 0.50 metros tendida en el fondo donde se observa que el patrón de velocidades sufre alteraciones en su dirección (figura5) por la presencia de la tubería en el fondo.

**Figura 4.4** Malla 3D de la zona de estudio con campo hidrodinámico con oleoducto



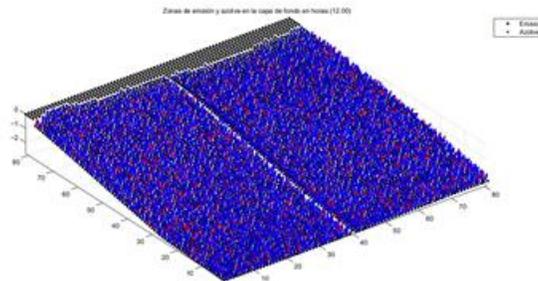
### Modelación detallada del transporte de partículas en zonas aledañas a la tubería

La zona de estudio presenta zonas potencialmente erosionables o en su caso con azolve. Se ensayan tres condiciones de sedimentación en la tubería y se cuantifica el número de partículas en secciones y áreas determinadas; la primera condición se establece con la tubería parcialmente sedimentada (25 % de cobertura), la segunda con una sedimentación al 50 % de cobertura y la tercer condición con una sedimentación al 75 % de cobertura de la tubería por el sedimento de fondo.

### Simulación con sedimentación al 25 % de cobertura de la tubería

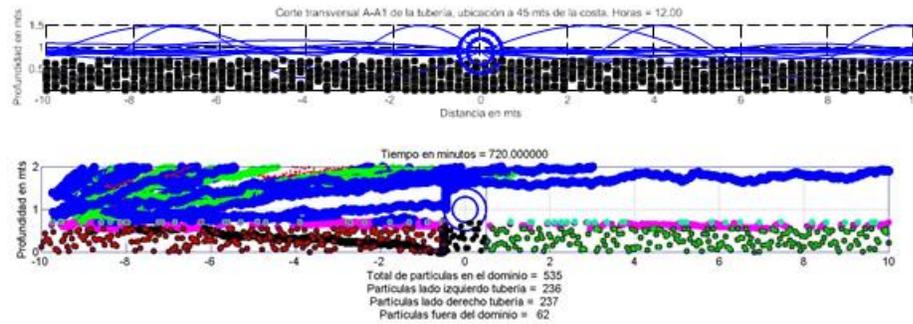
Se observa en todo el dominio de estudio el cambio en primera instancia de las zonas potencialmente erosionables (marcadas en color rojo) y las que son propicias a la sedimentación (marcadas en color azul). El balance general entre la zonas erosionadas y las sedimentadas se aprecia en la figura (6) donde las zonas de sedimentación poseen un área estimada de 87 %, la zona de erosión un 11 % y el restante 2 % se encuentra en estado de transición.

**Figura 4.5** Estado de erosión y azolve al 25 % de sedimentación



Se realiza un corte transversal que pasa a la mitad del dominio de estudio perpendicular a la tubería, el corte tiene una longitud a partir del centro de la tubería hacia cada lado de 10 metros, en la figura (7) se aprecia esta sección y se realiza un conteo a detalle del número de partículas que son transportadas en columna de agua durante las primeras 12 horas o 720 minutos.

**Figura 4.6** Curvas de sedimentación y conteo de partículas en la sección transversal al 25 % de sedimentación

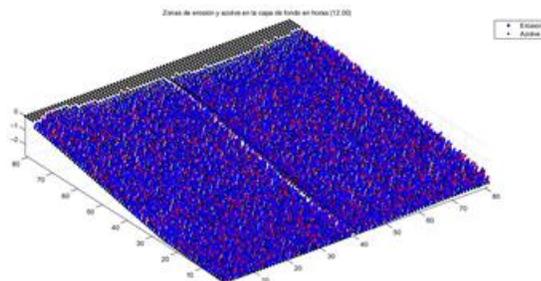


Se estima que un 11 % de las partículas totales en esta sección se pierden o salen fuera del dominio de estudio; a su vez, se muestran las curvas de sedimentación a cada hora durante las primeras 12 horas, estas tratan de interpretar el comportamiento de la sedimentación en la sección transversal a cada hora de computo, para su calculo y graficación, se emplea una segmentaria cúbica para interpolar y suavizar los datos en el lapso antes mencionado.

### Simulación con sedimentación al 50 % de cobertura de la tubería

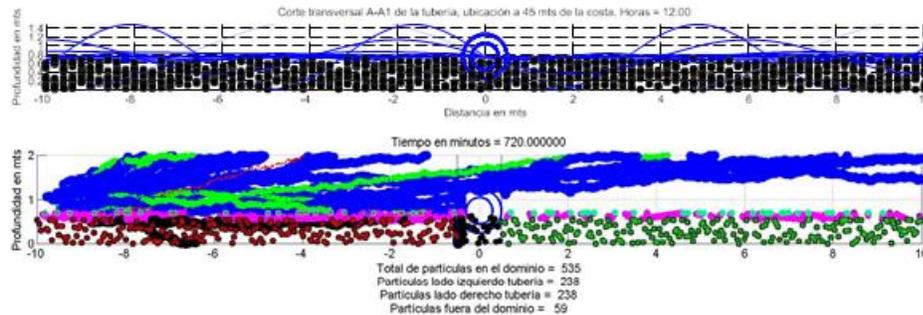
Para la condición de la tubería cubierta en un 50 %, la figura (8) muestra los resultados del cálculo de erosión y/o sedimentación del dominio de estudio arrojan que un 76 % presenta sedimentación, la zona de erosión cuenta con un 21 % y que el material que se encuentra en transición es de un 3 % aproximadamente.

**Figura 4.7** Estado de erosión y azolve al 50 % de sedimentación



En la figura se muestran los resultados de la simulación de la sección transversal, donde el conteo de partículas para esta condición de sedimentación de la tubería muestra un 44 % de partículas para cada lado de la tubería y un 12 % restante de las partículas están fuera del área de conteo; con este 50 % de sedimentación cubriendo la tubería, se alcanza a apreciar que existe mayor continuidad en el movimiento de partículas y la posibilidad de erosión en alguno de los lados de la tubería.

**Figura 4.8** Curvas de sedimentación y conteo de partículas en la sección transversal al 50 % de sedimentación

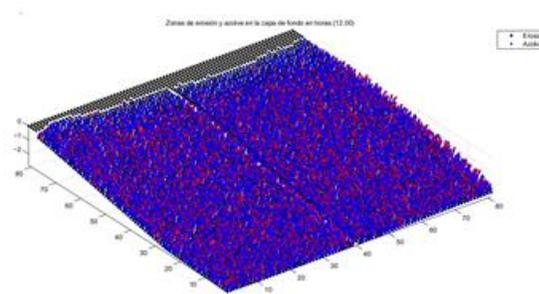


Las curvas de sedimentación para estas condiciones de sedimentación, donde se observa que en el extremo derecho de la tubería se presenta una tendencia a la erosión, esto viene en parte confirmando la situación actual de erosión parcial de la zona para esta época del año.

### Simulación con sedimentación al 75 % de cobertura de la tubería

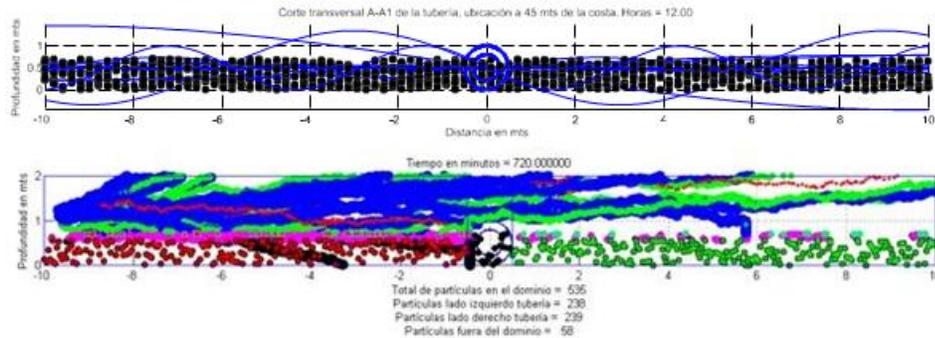
Los resultados se muestran en la figura (10), donde se observa que el porcentaje de sedimentación o azolve disminuye considerablemente alcanzando un 61 %, esta fracción es más notoria en la línea de costa donde se tiene un azolve más definido; el porcentaje de erosión se estimó en un 34 % y un 5 % para el material que se encuentra en transición.

**Figura 4.9** Estado de erosión y azolve al 75 % de sedimentación



El conteo de partículas en la sección transversal ilustrado por la figura siguiente indica la existencia de un 44 % del total de partículas en el lado izquierdo que es antes de cruzar la tubería y un 46 % del lado derecho después de cruzar la tubería, esto indica un mayor transporte de sedimentos del lado derecho lo que ocasiona un estado de erosión.

**Figura 4.10** Curvas de sedimentación y conteo de partículas en la sección transversal al 75 % de sedimentación



Revisando la figura (11), en la que se tienen las curvas de sedimentación de la sección transversal, se observa que las curvas ratifican el estado de erosión del lado derecho de la tubería, esto permite estimar que existe un proceso de erosión con un estado de sedimentación de la tubería cubierta hasta un 75 %.

Por lo tanto, se puede concluir que el dominio de estudio tiene un estado parcialmente sedimentable con una tubería cubierta en un 25 %, y se tiene estado parcialmente erosionable con una tubería cubierta entre un 50 % a un 100 %; así mismo, en lo que respecta al comportamiento de erosión y sedimentación a lo largo de la tubería, se aprecia una ligera sedimentación sobre la tubería, siendo más notable en la parte inferior del dominio (más profunda).

### 4.3 Conclusiones

La zona de estudio presenta zonas potencialmente erosionables o en su caso con azolve, por lo cual al realizar el estudio detallado donde se muestran las zonas cercanas a la tubería con movimiento de partículas de fondo se obtienen las curvas de movimiento indicando el balance del número de partículas entrantes y salientes en la sección de la tubería, esto se logró determinar con el conteo de partículas en una sección determinada, tomando en cuenta la posición inicial y la final, realizando un balance de partículas entrantes y salientes así como las que se pierden en el transcurso del movimiento.

Se observa que en todo el dominio de estudio el cambio en primera instancia de las zonas potencialmente erosionables (marcadas en color rojo) y las que son propicias a la sedimentación (marcadas en color azul).

El balance general entre las zonas sedimentadas se estima de un 87 %, la zona de erosión un 11 % y el restante 2 % se encuentra en estado de transición. Por lo tanto, se puede concluir que el dominio de estudio tiene un estado parcialmente sedimentable con una tubería cubierta en un 25 %, y se tiene un estado parcialmente erosionable con una tubería cubierta entre un 50 % a un 100 %; así mismo, en lo que respecta al comportamiento de erosión y sedimentación a lo largo de la tubería, se aprecia una ligera sedimentación sobre la tubería, siendo más notable en la parte inferior del dominio (más profunda).

#### 4.4 Referencias

- J. Calantoni and K.T. Holland. (2005) “Discrete particle model for surf zone sediment transport”, *Ocean science and technology*, 183– 185.
- D.P. Callaghan, F. Saint-Cast, P. Nielsen and T.E. Baldock. (2006) “Numerical solutions of the sediment conservation law; a review and improved formulation for coastal morphological modelling”, *International Journal for coastal harbor and offshore engineers*, 53:557– 571.
- V. Casulli and R. T. Cheng. (1992) “Semi-implicit finite difference methods for three dimensional shallow water flow”, *International Journal for numerical methods in fluids*, 15:629–648.
- I. Hernandez. (2003) “Modelos euleriano-lagrangianos en flujos a superficie libre: Aplicación al transporte de partículas suspendidas y al crecimiento de microorganismos”, Master’s thesis, DEPFI, UNAM.
- A. Lane. (2005) “Development of a lagrangian sediment model to reproduce the bathymetric evolution of the Mersey Estuary”, *Ocean Dynamics*, Springer Verlag, 55:541– 548.
- H. Gotoh. (2009) “Lagrangian Particle Method-Advanced Technology for Numerical Wave Flume”, *Proc. of the Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE)*.

## **Generación de un sistema web para el control de procesos académicos – administrativos de la Universidad Politécnica de Tapachula**

Karina Cancino, Alfredo Castillo, Vanessa Benavides, Christian Castillo

K. Cancino, A. Castillo, V. Benavides y C. Castillo  
Universidad Politecnica de Tapachula  
Universidad Autonoma de Chiapas  
karina.cancino@uptapachula.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Currently the Higher Education Institutions (HEIs) are aware of the importance of information that are generated daily in the various departments that make up.

The Universidad Politecnica of Tapachula (UPTAP) opened in September 2011 and for almost 3 years of existence has been consolidated so that currently has an enrollment of 404 students. As the organization has grown also generated various problems related to academic and administrative processes; most of the information is collected, processed and stored manually causing delay in reporting and decision making.

It proposed the development of an Academic - Administrative Management System (SIGAA), in order to integrate academic and administrative processes, oriented to indicators 911 of the Ministry of Education and the process-based approach of ISO 9001:2008. This system will be developed in a web environment using Java EE (Enterprise Edition) platform, Primefaces library and data storage organization by managing system Oracle Edition One.

## 5 Introducción

Actualmente los sistemas de información son un factor muy importante para la competitividad de una organización, sin embargo la mayor parte de las veces únicamente procesan transacciones y a nivel directivo se requiere de sistemas que proporcionen verdaderas herramientas para la toma de decisiones. Un sistema de procesamiento de transacciones es un tipo de sistema de información diseñado para recolectar, almacenar, modificar y recuperar todo tipo de información que es generada por las transacciones en una organización [1].

A nivel directivo el análisis de datos cobra verdadera importancia pues la competitividad de una organización depende de las decisiones tomadas, esto ha sido factor importante para el desarrollo de sistemas de información que permita la integración de datos históricos, proveniente de múltiples y posiblemente diferentes fuentes de datos con el propósito de hacer análisis y a partir de este tomar decisiones [2]. Este tipo de tecnología es de gran utilidad en inteligencia empresarial (Business Intelligence) ya que permite realizar el análisis de diferentes variables de negocio de la organización para apoyar el proceso de toma de decisiones.

Desde el punto de vista de la Educación Superior, hablar de calidad equivale a certificarse en el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2008, el cual permite direccionar a la Institución y establecer sus objetivos con bases sólidas y con miras a lograr la mejora de sus procesos sustantivos como lo son: la docencia, investigación, extensión y todos aquellos relacionados con ellos. Esto ha permitido que se incremente la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), por lo que las Instituciones de Educación Superior requieren de Sistemas de Información que permitan automatizar sus procesos para ser más eficaces y eficientes, además de ser competitivos.

El crecimiento acelerado de la UPTAP ha generado una serie de problemáticas las cuales se mencionan a continuación:

- No existe un Sistema de Información automatizado que integre todas las áreas.
- La mayor parte de la información es procesada manual y almacenada en archiveros físicos.
- Los gastos excesivos de papelería son cada día mayores.

- La información no se encuentra disponible en el momento que es requerido.
- Los procesos de recolección de información por parte de cada jefe de departamento es tardado y provoca que la toma de decisiones sea tardía.
- No hay un apego al enfoque basado en procesos del ISO 9001:2008
- El protocolo de solicitud de información entre las diferentes áreas es lento y provoca situaciones poco favorables para el desempeño correcto de las actividades internas.
- A nivel directivo la información no se encuentra disponible en tiempo y forma.
- Las estadísticas de cada área no son veraces al 100%
- Las personas involucradas en el manejo o generación de la información se encuentran en una situación de desacuerdo en cuanto al proceso que se lleva para poder realizar sus actividades diarias (docentes, alumnos, administrativos, directivos).

La siguiente propuesta de proyecto ha sido generada a través de la investigación y el estudio llevado a cabo por docentes investigadores de la Universidad Politécnica de Tapachula, en ella se propone el desarrollo de un Sistema Integral de Gestión Académico – Administrativo (SIGAA), con la finalidad de integrar los procesos académicos y administrativos, orientado a los indicadores 911 de la Secretaria de Educación y al enfoque basado en procesos del ISO 9001:2008.

## **5.1 Método**

### **Conceptos**

En la ingeniería de software se denomina aplicación web a aquellas herramientas que los usuarios pueden utilizar accediendo a un servidor web a través de Internet o de una intranet mediante un navegador[3]. Es decir, es un software que se codifica en un lenguaje soportado por los navegadores web en los cuales será ejecutado.

Una ventaja significativa es que las aplicaciones web funcionan independientemente de la versión del sistema operativo instalado en el cliente.

### **Arquitectura de N-Capas**

En la actualidad, las aplicaciones de Internet como noticias en línea, comercio, y sitios financieros se han vuelto bastante comunes; en ese sentido, las aplicaciones modernas de Internet son sistemas complejos de software que emplean una arquitectura de varios niveles. Cada nivel ofrece una cierta funcionalidad a su nivel anterior y hace uso de la funcionalidad proporcionada por su sucesor, para llevar a cabo su parte del procesamiento de la solicitud general [4].

Por otra parte, en la computación distribuida, las aplicaciones se dividen en partes más pequeñas que se ejecutan simultáneamente en ordenadores diferentes; también conocida como computación en red, ya que las piezas más pequeñas se comunican a través de la red usando los protocolos TCP / IP o UDP. Las partes de la aplicación más pequeñas se llaman niveles. Cada nivel ofrece un conjunto independiente de servicios que pueden ser consumidos por el nivel de conexión o cliente. El nivel puede ser dividido en capas, que proporcionan funciones de nivel granular. La mayoría de las aplicaciones poseen tres capas diferentes: Presentación, Negocio y Acceso a datos [5].

Considerando lo anterior, es importante señalar que la principal razón de elegir la tecnología Java Edición Empresarial como plataforma de desarrollo del Proyecto, se debe a que utiliza un modelo de computación distribuida multicapa para el desarrollo de aplicaciones empresariales; en ese sentido, la lógica de la aplicación se divide en componentes según su función, y los diversos componentes de aplicación se instalan en máquinas diferentes y cierto nivel de la plataforma Java EE dependiendo del nivel al que pertenece el componente de aplicación[5].

Las 4 capas de la plataforma Java EE son:

- **Capa Cliente**, los componentes se ejecutan en el navegador web la máquina cliente.
- **Capa Web**, los componentes JSP ó Servlets son ejecutados en el servidor Java EE en el contenedor web.
- **Capa de negocios**, los componentes Enterprise Java Bean se ejecutan en el servidor Java EE en el contenedor EJB.
- **Capa (EIS) de datos**, es la responsable de la recuperación y manipulación de los datos almacenados, en esta capa se contempla el uso de los SGBD, tales como: Oracle, MySQL y/o PostgreSQL.

### **Primefaces**

Es una librería de componentes visuales para Java Server Faces (JSF) de código abierto que cuenta con una gran cantidad de componentes que facilitan la creación de las aplicaciones web. Una de las principales razones por las cuales esta tecnología se ha hecho popular es que el soporte Ajax es transparente para el desarrollador asimismo utiliza el soporte JQuery para los efectos visuales.

### **Base de Datos**

Todo sistema de información requiere de una colección de datos relacionados; entendiendo por dato, hechos conocidos que pueden registrarse y que tienen un significado implícito [3]. Una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados 4 sistemáticamente para su posterior uso. Existen programas denominados Sistemas Gestores de Bases de Datos (DBMS), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Las propiedades de estos DBMS, así como su utilización y administración, se estudian dentro del ámbito de la informática.

### **Desarrollo**

Para el desarrollo del Proyecto, se utilizó una metodología enfocada al desarrollo de Aplicaciones Web. Una metodología no es otra cosa que un conjunto de proposiciones lógicas, graduadas y jerarquizadas, destinadas a facilitar y mejorar el ejercicio intelectual, la capacidad creadora de la mente humana en cualquier rama del saber. [6]

Roger Pressman, el reconocido autor de libros sobre Ingeniería de Software asegura que el proceso de ingeniería de software tradicional debería adaptarse a los requerimientos de cambio continuo y rapidez presentes en el proceso de desarrollo de Aplicaciones Web. En virtud de lo anterior, surge una nueva disciplina denominada Ingeniería Web, la cual se define como el proceso utilizado para crear, implantar y mantener aplicaciones y sistemas Web de alta calidad. Tomando como base el “Ciclo de vida clásico”. Pressman, “adapta” esta metodología para el desarrollo de Web, considerando las siguientes etapas: Formulación, Planificación, Análisis, Diseño, Implementación y Pruebas; misma que se pretende implementar.

Para la etapa de análisis de requerimientos se realizarán entrevistas al personal académico, administrativo y directivo para la recopilación de información necesaria. Una vez obtenidos los datos necesarios se hará uso del lenguaje de modelado UML para el diseño de procesos y acciones del proyecto.

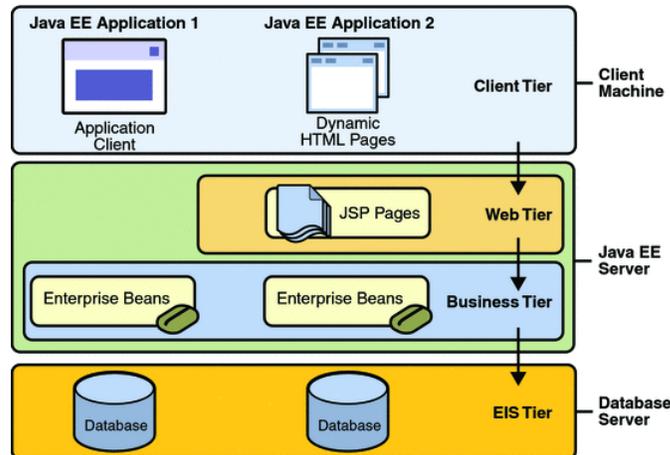
La estrategia de implementación a utilizar será bottom-up (abajo hacia arriba). La metodología de desarrollo será de análisis y diseño estructurado en cascada el cual consiste en reunir los requerimientos, analizarlos y realizar un diseño preliminar en base a los resultados del análisis [6]. El diseño inicia como un nivel abstracto y se divide sucesivamente en niveles más concretos.

Para el diseño e implementación de la base de datos se determinó utilizar Oracle Edition One 11g que es un Sistema de Gestión de Base de Datos Relacional (RDBMS), desarrollado por Oracle Corporation considerado como uno de los sistemas de bases de datos más completos, destacando su soporte de transacciones, estabilidad, escalabilidad y soporte multiplataforma.

El diseño de la interfaz gráfica de usuario del Sistema Web será desarrollado en primefaces, JQuery y CSS 3, las cuales son tecnologías de diseño web ejecutadas de lado del cliente, es decir, en el navegador web, mejorando el desempeño de la aplicación; al no requerir de peticiones constantes realizadas al servidor de aplicaciones.

Para el desarrollo del Sistema Web se usará la plataforma Java Edición Empresarial (Java EE); por tal motivo, es importante señalar la implementación de la arquitectura de 4 capas, quedando de la siguiente manera: La Capa Cliente o de Presentación, interactúa con el servidor enviando solicitudes para que sean procesadas; así mismo, hace referencia al diseño del entorno visual para lo cual se utilizaron las tecnologías Primefaces, JQuery y CSS 3. Por otra parte, para la Capa Web se implementaran los componentes JSP y Servlets, mismos que serán ejecutados en el Servidor de aplicaciones GlassFish V3, los cuales se encargan de proveer al cliente el acceso a los datos y procesar las peticiones. En relación a los métodos de recuperación y manipulación de datos, se utilizará el componente Enterprise Java Beans en la Capa de negocio. Finalmente, la Capa de Datos, se encarga de procesar las solicitudes de datos enviadas por la capa de negocio; además, es responsable de almacenar toda la información a través de tablas, índices, y otros objetos de datos; para el presente proyecto, se implementará el Sistema Gestor de Base de Datos Oracle. En la figura 1, se muestra la arquitectura de 4 capas de la plataforma Java EE.

**Fig. 5.** Arquitectura de 4 Capas de la plataforma Java Edición Empresarial.



## 5.2 Resultados y discusión

Este proyecto es una propuesta de generación del Sistema Integral de Gestión Académico-Administrativo de la Universidad Politécnica de Tapachula y en estos momentos se encuentra en fase de desarrollo sin embargo una vez implementado se esperan los siguientes resultados:

- Consolidar la utilización de cada uno de los módulos del SIGAA en las áreas académicas y administrativas que conforman la Universidad con la finalidad de apoyar sus procesos de gestión académico - administrativo.
- Promover la descentralización y operación automatizada de los procesos académico - administrativos en todas las áreas de la Institución.
- Proporcionar a los miembros de la comunidad universitaria una plataforma de acceso al sistema de información a través de la web.
- Contar con información confiable, veraz y detallada a través de la consulta del SIGAA en sus distintos módulos que apoyen los procesos de evaluación y planeación para la toma de decisiones.

Debido al alcance que se pretende, este proyecto estará dividido en 2 etapas. La primera consistirá en el análisis y determinación de requerimientos del sistema completo, el diseño conceptual y desarrollo de la base de datos y el desarrollo de la aplicación abarcando únicamente los módulos siguientes: Servicios Escolares (Control Escolar), Horarios, Asesorías y Tutorías. La segunda parte consistirá en el desarrollo de los módulos administrativos: Personal, Patrimonio e Ingresos Propios.

### Beneficios Académicos

- Mejora en la organización de la información de servicios escolares lo cual permitirá un control transparente de los procesos académicos.
- Agilización en el proceso de captura y acceso a los datos.
- Generación de informes consistentes y en tiempo real.
- Accesibilidad a procesos escolares para cátedráticos y estudiantes a través de una plataforma web.
- Contribución a la formación integral y profesional de los estudiantes del Programa Académico de Ingeniería en Software.

- Mejor control y seguimiento de la vinculación de los sectores productivos, sociales y empresariales de la región.

### **Administrativos**

- Control transparente de procesos administrativos que permita cumplir eficientemente con la normativa en materia laboral.
- Mejora en el control de recursos propios.
- La transparencia del proceso de contratación de bienes y servicios a través de reglas claras de aplicación del gasto.
- Acceso a reportes que permitan una rendición de cuentas oportuna y confiable.

### **Directivo**

- Acceso a la consulta de información de manera oportuna y confiable para la toma de decisiones.
- Generación puntual de informes basados en los indicadores de la Secretaría de Educación Pública.
- Generación de información oportuna que permita el diagnóstico y proyección de la Institución, siendo el punto de partida para la elaboración de proyectos enfocados a participar en programas federales de fortalecimiento institucional.

### **Impacto social**

A través del SIGAA se pretende lograr los siguientes beneficios:

- 404 estudiantes de la Universidad Politécnica de Tapachula accediendo a los servicios brindados a través de un portal web.
- 37 profesores de asignatura realizando sus procesos académicos de manera local o remota a través de un portal web
- 7 profesores de tiempo completo accediendo a módulos de tutorías y asesorías de manera automatizada.
- 20 administrativos con acceso a captura y consulta de información para la generación de reportes en tiempo real
- 4 directivos accediendo a la consulta de indicadores generados por el sistema de información para la toma de decisiones.

## **5.3 Conclusiones.**

Es importante que toda Institución de Educación Superior (IES) incorpore el uso de tecnologías de la información dentro de los procesos académico-administrativos ya que esto permite brindar un mejor servicio y atención a los estudiantes.

La reciente creación de la Universidad Politécnica de Tapachula (UPTAP) es un área de oportunidad que permite una fácil adaptación de la tecnología a procesos que aún no poseen demasiada cantidad de datos históricos, por lo que una automatización y migración de datos sería factible.

Esta propuesta pretende integrar los procesos académicos y administrativos en un software único que genere información confiable, veraz y detallada a través de la consulta de los distintos módulos y que apoyen los procesos de evaluación y planeación para la toma de decisiones.

Esto permitirá que la UPTAP se posicione antes otras IES como una institución capaz de desarrollar sus propias plataformas tecnológicas y logre con ello estar vanguardia en cuanto a la Sociedad del Conocimiento.

## **5.8 Referencias**

Power, D. J. (2002). Decision Support Systems: concepts and resources for managers. Westport, Conn., Quorum Books.

Farooq F., Mansoor S., Real-Time Data Warehousing for Business Intelligence, Diciembre 2010, Islamabad, Pakistán, Página 1, Consultado en ACM Digital Library.

Aumaille, B., J2EE Desarrollo de Aplicaciones Web, Noviembre 2012, Barcelona, Pagina 9. Jendrock Eric, The Java EE 5 Tutorial. Docs. Oracle, 2010.

Dhrubojyoti Kayal, Pro Java EE Spring Patterns: Best Practices and Design Strategies Implementing Java EE Patterns With the Spring Framework. Apress, 2008.

A. Pacheco. Metodología crítica de la Investigación lógica, procedimiento y técnicas. Edit.CECSA, 2006.

## **Las curvas de aprendizaje en los procesos de construcción**

José Grajales, Francisco Alonso, Iveth Samayoa y José Castellanos

J. Grajales, F. Alonso, I. Samayoa y J. Castellanos  
Fac. de Ing. Universidad Autónoma de Chiapas  
marinj@unach.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The phenomenon of learning was first expressed mathematically in 1936 by T. P. Wright. He observed in the aircraft industry that certain costs per unit tend to decrease in a predictable pattern as the workers become more familiar with the work.

Studies have shown that the change in cost associated with a change in productivity has, in many situations, a characteristic curve that can be estimated with reasonable accuracy. This is called the learning curve or experience curve. The underlying phenomenon is that skill and productivity in performing tasks improve with experience and practice and there are a number of different ways of plotting this relationship that facilitate mathematical analysis.

A first attempt to quantify the effect of repetition in building was made in an enquiry undertaken between 1960 and 1962 by the United Nations' Economic Commission for Europe. This article tries to spread the principle of learning curves and their application in the construction industry to improve productivity.

## 6 Introducción

La curva de aprendizaje es una herramienta analítica que puede utilizarse para estimar la tasa a la cual la experiencia acumulada permite a los trabajadores hacer las tareas más rápido y al menor costo. En la administración de proyectos, se emplean las curvas de aprendizaje para estimar cuántas repeticiones de una tarea permitirá reducir la cantidad de recursos requeridos para una tarea en especial. Una curva de aprendizaje es definida por una ecuación que contiene la tasa de mejora (reducción de costos o reducción de tiempos) en la realización de una tarea como una función de las repeticiones acumuladas de la tarea.

Como hipótesis de trabajo se puede plantear que las curvas de aprendizaje pueden también ser aplicadas en la construcción como una manera de mejorar los procesos de construcción con el consiguiente ahorro de recursos y mejorar la productividad; en el sector no es fácil, ya que existe una gran diversidad en materiales, procesos de construcción y equipos; además de las diferencias en eficiencia de la mano de obra. Sin embargo, un estudio de los procedimientos de construcción en un lugar específico, con materiales de la región y con procedimientos estándar de algunas actividades de un proyecto, puede ser muy importante desde que se pueden establecer tiempos de ejecución que permitirán emitir un juicio acerca de la productividad real. De manera que en forma inicial se define el concepto de las curvas de aprendizaje, sus características y los métodos existentes de aplicación. Luego, se establece una metodología de su aplicación a un proyecto de ingeniería civil y finalmente se concluye con algunas pautas para mejorar la productividad en la construcción.

### Curvas de aprendizaje, definición y características

Una curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación existente (función) entre el tiempo (o costo) de producción por unidad y el número de unidades de producción consecutivas.

En la tabla 6 se presentan los tipos de aprendizaje y en la tabla 6.1 los métodos de aplicación con un ejemplo.

**Tabla 6** Los tipos de aprendizaje

Tipos de aprendizaje	Definición	características
Individual	Es la mejora que se obtiene cuando las personas repiten un proceso y adquieren habilidad y eficiencia a partir de su propia experiencia	Selección correcta de los trabajadores Capacitación adecuada Motivación Especialización del trabajo
Organizacional	Mejora de la organización a partir de los conocimientos sobre su tecnología, su estructura y sus procedimientos de operación	Depende del aprendizaje individual de los elementos de la organización

**Tabla 6.1** Los métodos de aplicación

Método	Ecuación	Parámetros
Aritmético	$T2N = L * TN$	= Tiempo a establecer para xx unidad duplicada, horas L = Coeficiente de aprendizaje TN = Tiempo de la unidad anterior
Logarítmico	$TN = T1 N \log L / \log 2$	= Tiempo a establecer para xx unidad, horas = Horas para producir la primera unidad N = xx unidad = Logaritmo del coeficiente de aprendizaje log 2 = Constante
Coeficiente de la curva de aprendizaje	$TN = T1 C$	TN = Número de unidad a determinar T1 = Horas para producir la primera unidad Coeficiente de la curva de aprendizaje

### Ejemplo

Como una iniciativa de infraestructura, se pretende construir 32 canchas de futbol de salón y se está planeando el tiempo en horas-hombre para evaluar los costos de mano de obra que representará la construcción de cada cancha.

Las proyecciones de ingeniería según su experiencia indican que se tardará un total de 6000 horas-hombre para construir cada cancha; los trabajos incluyen nivelación, compactación, piso de concreto, malla perimetral, graderías y un parque infantil a un costado. Debido a que el personal no tienen experiencia en este tipo de proyectos se ha estimado un porcentaje de eficiencia del 85 % para la segunda cancha, ya que se conformarán cuatro equipos de 8 trabajadores cada uno al inicio del proyecto, para construir 4 canchas al mismo tiempo.

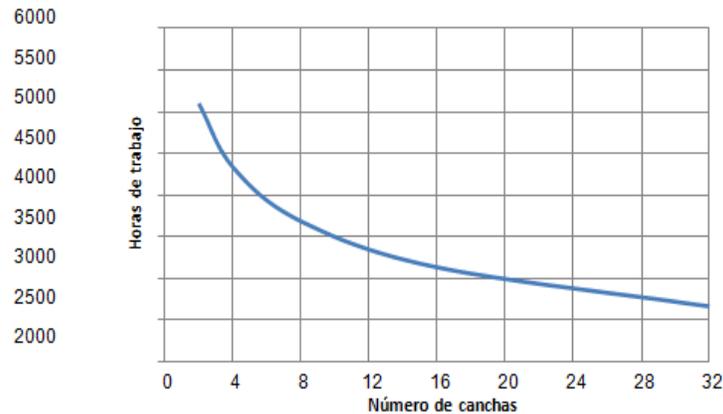
Sin embargo, se pretende que cuando construyan la 3<sup>a</sup>. cancha, cada equipo tenga únicamente 6 trabajadores y 24 en total en el proyecto, aprovechando la habilidad y eficiencia que se logre con la construcción de la 2<sup>a</sup>. cancha.

El método aritmético  $T2N = L * TN$  (solo funciona con valores duplicados)

**Tabla 6.2** Cálculos con el método aritmético

	2ª. cancha	4ª. cancha	8ª. cancha	16ª. cancha	32ª. cancha
T2N para	2	4	8	16	32
L	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
TN	6000	5100	4335	3684.75	3132.04
T	5100	4335	3684.75	3132.04	2662.23

La curva de aprendizaje se muestra en la figura 6:

**Figura 6** Curva de aprendizaje

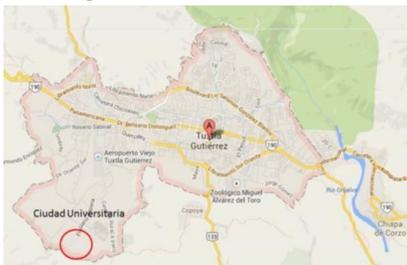
## Metodología

A efecto de desarrollar una metodología para utilizar las curvas de aprendizaje, se seleccionó un proyecto actualmente en construcción, que permitiera recopilar la información pertinente para el análisis. Este proyecto es el Edificio Tipo U-3C propiedad de la UNACH y que está situado en la Ciudad Universitaria.

## Características

Descripción	Edificio de 2 niveles y planta baja a base de marcos rígidos, para aulas didácticas, cubículos de docentes, sala de usos múltiples, sanitarios y oficinas.
Nombre de la	edificio "E" tipo U-3C de 09 E.E.
Localidad	La obra se encuentra situada en el Rancho San Francisco, propiedad de la Universidad Autónoma de Chiapas, sobre la carretera Emiliano Zapata, Km. 8.5, en Terán, Municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Adjudicación	Licitación Pública Nacional
Período de	25 de Febrero de 2013 al 24 de Julio de 2013

## Ubicación

**Figura 6.1** Localización en Tuxtla Gutiérrez y en Ciudad Universitaria

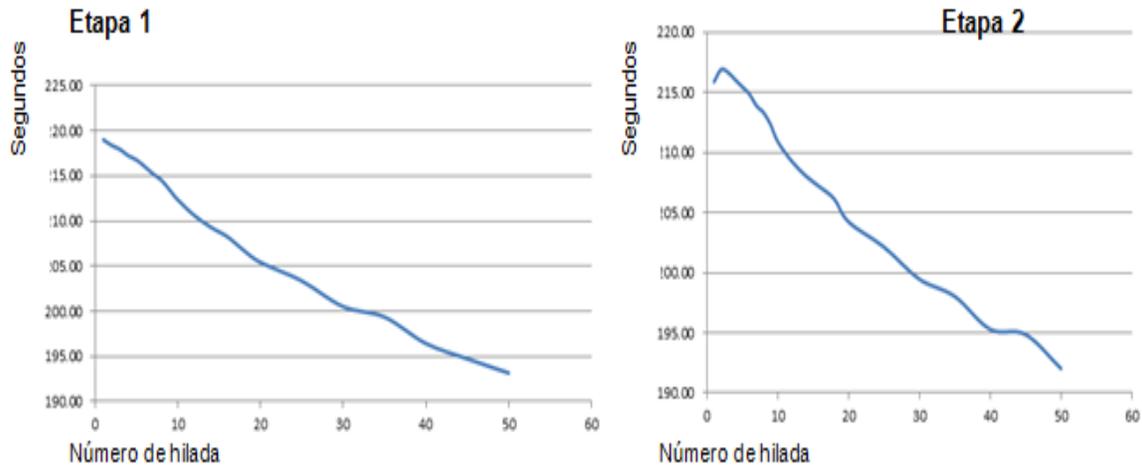
### Metodología de curvas de aprendizaje

En la tabla se describen las etapas de la metodología que se sugiere para realizar un análisis de las curvas de aprendizaje en la construcción:

**Tabla 6.3** Etapas para el análisis de curvas de aprendizaje

Elaboración del diagrama de procesos	Con la información de la obra, se elabora el diagrama de procesos, en primer lugar para partidas, y en segundo lugar, por actividades de la partida a medir.																																																		
Selección de las actividades de estudio	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Actividad</th> <th>Unidad</th> <th>Cantidad</th> <th>Duración</th> <th>Periodo de ejecución</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A01</td> <td>Muro</td> <td>M2</td> <td>792</td> <td>20 días</td> <td>080313-270313</td> </tr> <tr> <td>A02</td> <td>Aplanado</td> <td>M"</td> <td>1500</td> <td>23 días</td> <td>040413-270413</td> </tr> </tbody> </table>	Código	Actividad	Unidad	Cantidad	Duración	Periodo de ejecución	A01	Muro	M2	792	20 días	080313-270313	A02	Aplanado	M"	1500	23 días	040413-270413																																
Código	Actividad	Unidad	Cantidad	Duración	Periodo de ejecución																																														
A01	Muro	M2	792	20 días	080313-270313																																														
A02	Aplanado	M"	1500	23 días	040413-270413																																														
Determinación de los ciclos del proceso para el muro de tabique	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Colocación de cuerda</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba</th> </tr> <tr> <th>Ciclo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>	Colocación de cuerda	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13											
Colocación de cuerda	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba																																							
Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																							
Determinación del tamaño de la muestra	<p>Se seleccionó un tamaño de muestra:</p> $n = (z\sigma/d)^2$ <p>donde Z= 1.96, <math>\sigma = 0.18</math>, <math>d = 0.05</math>; <math>n = 49.78 = 50</math></p> <p>Se utilizó el formato:</p>																																																		
Registro de los trabajadores																																																			
Registro de los tiempos de ejecución	<p>Fecha: 12 de Agosto de 2013.</p> <p>Hora: 9:20 hrs.</p> <p>Registro de tiempo de ejecución</p>																																																		
Determinación de los tiempos normal y estándar	<table border="1"> <tr> <td>Empresa constructora</td> <td colspan="2">Construcciones X</td> </tr> <tr> <td>Lugar y fecha</td> <td colspan="2">12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas</td> </tr> <tr> <th colspan="3">DATOS PERSONALES</th> </tr> <tr> <td>Nombre del trabajador</td> <td>Pedro Hernández López</td> <td>209.61</td> </tr> <tr> <td>Edad</td> <td>25 años</td> <td>219.65</td> </tr> <tr> <td>Lugar de procedencia</td> <td>Ocozocauja, Chis</td> <td>193.79</td> </tr> </table> <p>Clasificación mejora del desempeño 11.77%</p> <p>Tiempo normal 234.38</p> <p>Tiempo estándar 288.29</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Producción (Hiladas)</th> <th>Ciclo 1</th> <th>Ciclo 2</th> <th>Ciclo 3</th> <th>Ciclo 4</th> <th>Ciclo 5</th> <th>Ciclo 6</th> <th>Ciclo 7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>107.22</td> <td>15.23</td> <td>7.06</td> <td>6.41</td> <td>14.56</td> <td>6.91</td> <td>6.40</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>107.15</td> <td>15.11</td> <td>7.04</td> <td>6.40</td> <td>14.43</td> <td>6.89</td> <td>6.41</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>107.03</td> <td>15.08</td> <td>7.02</td> <td>6.41</td> <td>14.42</td> <td>6.89</td> <td>6.41</td> </tr> </tbody> </table>	Empresa constructora	Construcciones X		Lugar y fecha	12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas		DATOS PERSONALES			Nombre del trabajador	Pedro Hernández López	209.61	Edad	25 años	219.65	Lugar de procedencia	Ocozocauja, Chis	193.79	Producción (Hiladas)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	1	107.22	15.23	7.06	6.41	14.56	6.91	6.40	2	107.15	15.11	7.04	6.40	14.43	6.89	6.41	3	107.03	15.08	7.02	6.41	14.42	6.89	6.41
Empresa constructora	Construcciones X																																																		
Lugar y fecha	12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas																																																		
DATOS PERSONALES																																																			
Nombre del trabajador	Pedro Hernández López	209.61																																																	
Edad	25 años	219.65																																																	
Lugar de procedencia	Ocozocauja, Chis	193.79																																																	
Producción (Hiladas)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7																																												
1	107.22	15.23	7.06	6.41	14.56	6.91	6.40																																												
2	107.15	15.11	7.04	6.40	14.43	6.89	6.41																																												
3	107.03	15.08	7.02	6.41	14.42	6.89	6.41																																												

Finalmente, las curvas de aprendizaje promedio

**Grafico 6** Curvas de aprendizaje promedio

La diferenciación entre etapa 1 y etapa 2 se refiere a que en la etapa 1 se calcularon curvas de aprendizaje con la información tal como se registraban en la lectura de tiempos, a diferencia de la etapa 2 en que previamente hubo un proceso de capacitación de los trabajadores, la cual estuvo a cargo del maestro encargado de obra, junto con el residente de obra. La capacitación fue verbal en cuanto a las explicaciones y visual en cuanto a la descripción del trabajo y lectura de planos. Esta capacitación se realizó durante 10 minutos al inicio del día de labores.

### 6.1 Análisis de resultados

Después de la capacitación se repitió la metodología de las curvas de aprendizaje, obteniéndose la curva de aprendizaje promedio (etapa 2), al comparar las curvas se observó que había ocurrido una disminución de los tiempos, por lo que este resultado es consistente con el principio de las curvas de aprendizaje en cuanto a que existe una disminución de los tiempos, ya sea por repetición de la actividad o como consecuencia de la capacitación.

También se observó que la experiencia laboral no es factor para el aumento o disminución de la tasa de aprendizaje.

No se observa ninguna relación entre el número de años laborando y el aprendizaje observado en la actividad. Tampoco se observa una relación entre la escolaridad y el aprendizaje.

Tanto los trabajadores que únicamente tienen primaria, como los trabajadores que tienen secundaria, tienen tasas de aprendizaje distintas.

En el grado de primaria hay valores máximos de 97.04% y mínimo de 95.43%, y el grado de escolaridad de secundaria hay valores máximos de 97.35% y 95.13%.

## 6.2 Conclusiones

A manera de conclusión se pueden hacer varias, acerca de las ventajas de hacer estudios de las curvas de aprendizaje; se pueden identificar como de tipo interno, al decir que permite establecer estándares de mano de obra, que es un paso importante hacia la profesionalización de las actividades de mano de obra y a la a la facilidad de establecer los costos de mano de obra y los presupuestos, contribuyendo a la asignación de recursos y a la programación.

De aplicación externa se puede considerar la subcontratación, que facilitaría el benchmarking (comparar con empresas constructoras líderes en alguna tecnología o proceso y analizar la conveniencia de contratar esa tecnología), con muy poco margen de error en el costo de la subcontratación. Estratégicamente, puede determinar los cambios volumen-costo de las cantidades de obra y a evaluar la actuación de la empresa y de la industria de la construcción.

## 6.3 Referencias

Meredith, Jack R. & Mantel, Samuel J. 4a. edición, 2000. *Project Management. A Managerial Approach*. John Wiley & Sons, U. S. A.

Kerzner, Harold. 1998. *Project Management. A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. John Wiley & Sons, U. S. A.

Moder, Joseph J; Phillips, Cecil R. & Davis, Edward W. 3a. edición, 1995. *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*. Blitz Publishing Company, U. S. A.

Ritz, George. 1994. *Total Construction Project Management*. McGraw-Hill, U. S. A.

Uriegas Torres, Carlos. 2003. *El Sistema de Gerencia de Proyectos*. Una Vuelta y un Frente, México, D. F.

Klastorin, Charles. 2003. *Administración de proyectos*. Editorial Alfa y Omega, S. A. de C. V. Halpin, Daniel W. 3ª. Edición, 2006. *Construction Management*. John Wiley & Sons, Inc.

## **Microcontaminantes orgánicos en los ríos de México: El caso del río Nexapa**

Amado Navarro, Jorge Herrera, José Marrugo, Josep Bayona y Lorenzo Morales

A. Navarro, J. Herrera, J. Marrugo, J. Bayona y L. Morales.  
Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros  
Universidad de Cordoba  
IDAEA-CSIC

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Emerging contaminants (EC) comprise endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), among others, all of anthropogenic origin. Little has been reported about their presence in Mexican rivers. The aim of the present work is the study of ECs in surface waters of the Nexapa River, México. Samples from stations along the river upper course were extracted and analyzed by GC/MS in sampling campaigns conducted in 1999-2000, 2002-2005 and 2012-2013. Many of the identified compounds are used in personal care products and flavors and fragrances of food. Concentrations in river samples ranged from non-detected to 370  $\mu\text{g L}^{-1}$ . The higher concentrations were detected for caffeine, galaxolide, methyl dihydrojasmonate, alkylphenols, naproxen, and UV-filters. They were also found in heavily polluted sewer discharges, which explain their presence in the river. EC were also detected in samples from the Zahuapan (Tlaxcala), Atoyac (Puebla), Sordo (Veracruz) and Sinú (Colombia) rivers. Retention data of studied compounds is provided.

## 7 Introducción

El crecimiento económico y tecnológico de nuestra sociedad ha implicado el aumento considerable de la cantidad de sustancias químicas que se producen y emplean. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) prevé que la producción química mundial se incrementará un 3% por año y para el 2024 se duplique con respecto al nivel observado en el año 2000. En un informe muy reciente (OECD 2012), se afirma que la misma tendencia creciente va a durar por lo menos hasta el año 2050. Esta tendencia se debe a su uso en la producción industrial y agrícola, así como para la satisfacción de necesidades de las actividades cotidianas relacionadas con la salud, el cuidado personal y otras propias del hogar. En la actualidad, la cantidad de sustancias químicas que se utilizan, rebasa la cifra de 100, 000.

El aumento de la producción y el uso de estos productos ha sido recientemente un punto de interés para los científicos e investigadores medioambientales. Es conocido que un grupo de sustancias químicas, bien determinadas en las legislaciones nacionales y conocidos como contaminantes prioritarios, siempre han recibido mucha atención por sus efectos en la salud humana, animal y de los ecosistemas. Sin embargo, un creciente número de sustancias químicas, que en muchas ocasiones siempre han sido incorporadas por el hombre al ambiente, pero sólo se han detectado recientemente por el desarrollo de las técnicas analíticas, desde principios de siglo atraen la atención de investigadores, autoridades y más recientemente del público en general. Estos son los denominados contaminantes emergentes, CE (Daughton, 2004; Wells *et al.*, 2009).

En los CE se incluyen productos de higiene personal, cosméticos, productos industriales, para el hogar, fármacos de uso humano y veterinario, etc. (Petrovic *et al.*, 2008). Generalmente se encuentran en bajas concentraciones (ppb, ppt), en diversos compartimentos ambientales, aunque su liberación continua permite catalogarlos como pseudopersistentes (Navarro *et al.*, 2013a). Muchos de estos compuestos son diseñados para medios acuosos lo que se releja en su movilidad en sistemas acuáticos (Petrovic *et al.*, 2010). A pesar de sus beneficios en la producción agrícola e industrial, la salud humana y animal y otros aspectos de interés para los individuos y la sociedad, sus efectos en los seres humanos y los ecosistemas no son debidamente conocidos, por lo que estos productos químicos suponen escenarios previamente desconocidos e inesperados de exposición a los mismos, con los riesgos inherentes. Algunos de ellos se comportan como disruptores endocrinos, siendo necesario, además a los metabolitos y subproductos de sus transformaciones en el entorno, en ocasiones más tóxicos que los compuestos de origen (Ginebreda *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2014; Zarrelli *et al.*, 2014).

Debido a ello, ya son tema para la legislación ambiental en varios países (Becerril, 2012; Guillén *et al.*, 2012; Oyegbile y Narra, 2013).

El análisis de CE constituye una tarea difícil, en primer lugar debido a la complejidad de las matrices ambientales que contienen altas cantidades de compuestos interferentes y, segundo, por las bajas concentraciones de los compuestos de interés. Por lo anterior se necesita implementar técnicas de limpieza, enriquecer el analito y obtener bajos límites de detección, siendo las técnicas cromatográficas acopladas a la espectrometría de masas, una excelente opción analítica. Normalmente el análisis de micro-contaminantes orgánicos polares en agua se realiza mediante la técnica de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (CL-EM/EM) y el análisis de los compuestos no polares o semi-polares mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) o masas en tándem (CG-EM/EM). La cromatografía de gases en dos dimensiones acoplada a un espectrómetro de tiempo de vuelo (CGxCG-TV) es una técnica muy poderosa, aunque costosa (Wille *et al.*, 2012; Yu y Wu, 2012; Chamorro *et al.*, 2013; Díaz *et al.*, 2013, Herrera *et al.*, 2013).

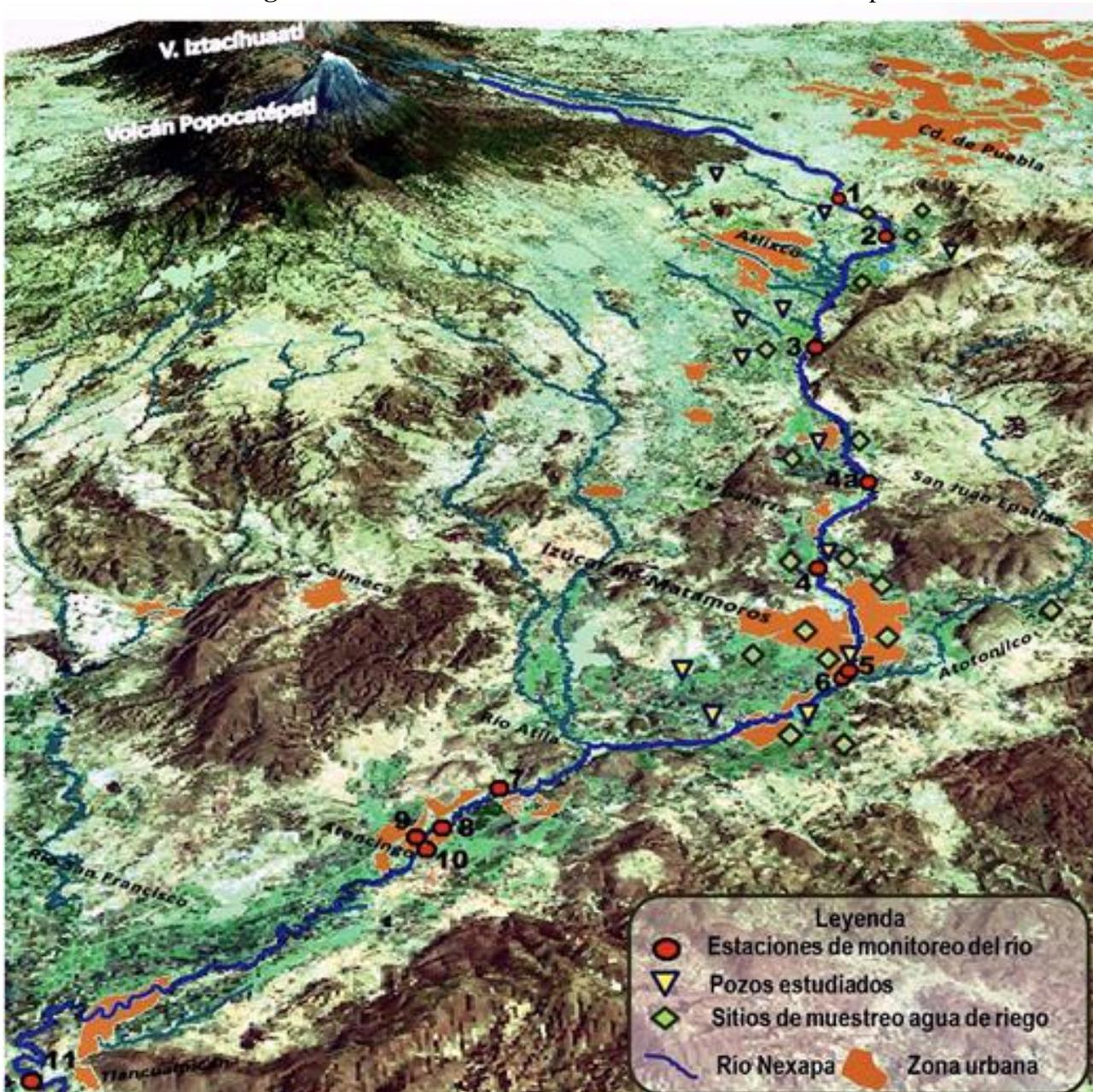
En los laboratorios de muchas Instituciones Universitarias, no siempre es posible disponer del equipamiento idóneo para realizar los análisis de los CE. Además, se enfrentan dificultades para disponer de los materiales y reactivos idóneos. Poder disponer de información sobre los parámetros de retención cromatográfica de los CE, puede ayudar a realizar identificaciones acertadas sobre la presencia de los mismos usando un equipo sencillo. Por ello, en este trabajo, además de valorar la presencia de los microcontaminantes orgánicos (MCO), en el río Nexapa, México, se muestran valores de la retención cromatográfica de varios contaminantes emergentes de amplia distribución.

## 7.1 Materiales y métodos

La ubicación de los puntos de muestreo en el río, reportada previamente (Navarro *et al.*, 2013), se muestra en la figura 1, publicada en la Gaceta Universitaria de la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, enfatizando que en todos los años se realizaron muestreos en época de seca y de lluvia. Se indican también la ubicación de los pozos de muestreo de agua subterránea y puntos de muestreo de aguas de riego en los años 2012-2013, por la relación que pueden tener con el agua del río. Se puede observar en la figura 1, la ubicación de zonas pobladas en las márgenes del río y sus tributarios, correspondiendo a las ciudades de Atlixco e Izúcar e Matamoros, los núcleos de mayor población, aunque debe considerarse que a la altura de la estación 2, se recibe el trasvase de  $4 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  de aguas muy contaminadas del río Atoyac, con una calidad equivalente a la de una descarga de agua residual. En este sentido conviene destacar que también hay descargas no reguladas de viviendas sobre el curso del río, las barrancas e incluso en los canales de riego. Esta situación ya alcanzó una solución, no al 100%, con la entrada en funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua residual de los dos núcleos de mayor población señalados. En el año 2011 se tomaron muestras en el río Sordo, cerca de la ciudad de Xalapa, Veracruz, a la altura de la ubicación del Instituto Nacional de Ecología. En el año 2012 se tomó una muestra de agua en el río Sinú, a la altura de la Universidad de Córdoba en el Departamento homónimo, Colombia. En el año 2012 y 2013 se tomaron muestras del río Zahuapan en el Estado de Tlaxcala y del río Atoyac en la salida de la zona urbana de Puebla.

Los detalles más importantes de la metodología experimental, ya referidos también (Navarro *et al.*, 2013b), se muestran en la tabla 1. Se puede observar, como es lógico, los análisis cromatográficos no se realizaron exactamente en las mismas condiciones en los diferentes períodos de muestreo y análisis. Para la precisión de los tiempos de retención de los n-alcános, se utilizaron fracciones de queroseno y de aceites lubricantes parafínicos.

**Figura 7.** Puntos de uestreo en la Subcuenca del río Nexapa



La identificación de los compuestos individuales se realizó utilizando el programa NIST Mass Spectral Search para la biblioteca de espectros de masa NIST/EPA/NIH. Se cruzaron los datos de la identificación manual de cada compuesto con el procesamiento de 3 cromatogramas, uno de cada período de muestreo, procesados con el paquete TargetView™ (Almsco International). Para la identificación y cuantificación de algunas familias de compuestos se obtuvieron los cromatogramas de masa correspondientes a las  $m/z$  de los iones más característicos:

n-alcanos – 85;

Alquilbencenos lineales – 91+92+105+106+119+120+133+134+147+148

Ácidos n-carboxílicos – 60+73 y sus ésteres 74+87;

Alquilfenoles – 107+121+135, sus derivados monoetoxilados 179+193 y sus derivados dietoxilados – 223+227.

Como parámetro de retención se calculó, para los compuestos donde se dispuso de datos de los tiempos de retención de los n-alcanos, un índice similar al de Kovats, definido por la ecuación siguiente:

$$I_{Ri} = 100 \times \left( N_{CAI} + \frac{t_{RCi} - t_{RAI}}{t_{RAS} - t_{RAI}} \right) \quad (7)$$

Dónde:  $I_{Ri}$  – Índice de retención del compuesto i;  $N_{CAI}$  - # de carbono del n-alcano que eluye antes del compuesto i;  $t_{RCi}$  – tiempo de retención del compuesto i;  $t_{RAI}$  – tiempo de retención del n-alcano que eluye antes del compuesto i;  $t_{RAS}$  – tiempo de retención del compuesto que eluye después del compuesto i.

**Tabla 7.** Aspectos esenciales de la extracción, concentración y análisis de las muestras.

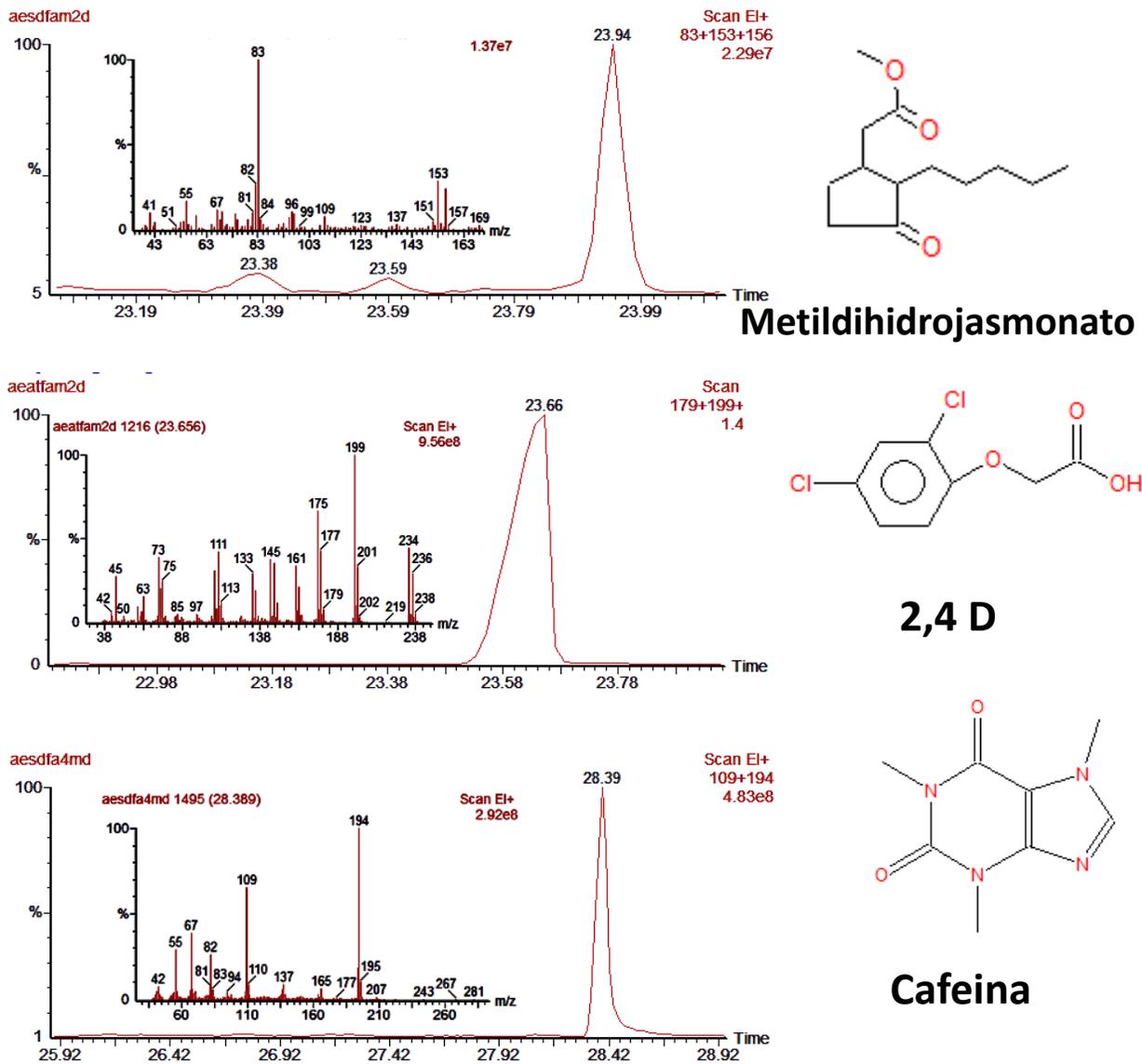
Período	1999-2000	2002-2005	2012-2013	
Filtración	No	Si	Si	
Extracción muestra completa	EPA SW-846 3510 <sup>C</sup>	-	-	
Extracción Fase Líquida		EPA SW-846 3510 <sup>C</sup>	Extracción en fase sólida <sup>B</sup>	
Extracción Fase Sólida		EPA SW-846 3540 <sup>C</sup>	Ultrasonidos <sup>B</sup>	
Cromatógrafo	Autosystem XL		Clarus 680	
Espectrómetro de masas	Turbomass		SQ 8T	
Columna	PE-1	PE-1 y PE-5	AB5-MS	
Longitud(m)/di(mm)/fase(□m )	30/0.32/1	18/0.18/0.1 <sup>A</sup>	30/0.25/0.25	
Programa de temperatura (°C)	Único	Único	Largo	Corto
Tinicial/min	40/4	100/4	80/1	
Rampa 1/°Cmin-1	40 a Tfinal /4	100 a Tfinal/4	80 a Tfinal/5	80 a 200/10
Rampa 2/°Cmin-1	-	-	-	200 a 240/4
Rampa 3/°Cmin-2	-	-	-	240 a Tfinal/10
Tfinal, °C	280 y 310	310	290	290
Tiempo total de corrida, min	90	75	70	37
Estándar interno	Externo	Criseno-d12	Trifenilamina	
Curva calibración	Ftalatos	Ftalatos	Compuestos individuales	
Derivatizante	-	-	TMSH	

Las comparaciones de resultados analíticos se realizaron mediante análisis de varianza con la prueba de Tukey HSD para evaluar las diferencias significativas y realizando un análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis), para las variables que no exhibieron un comportamiento normal. En todos los casos el análisis estadístico se realizó con el paquete Statistica v. 10.0 (Statsoft, USA).

## 7.2 Resultados y discusión

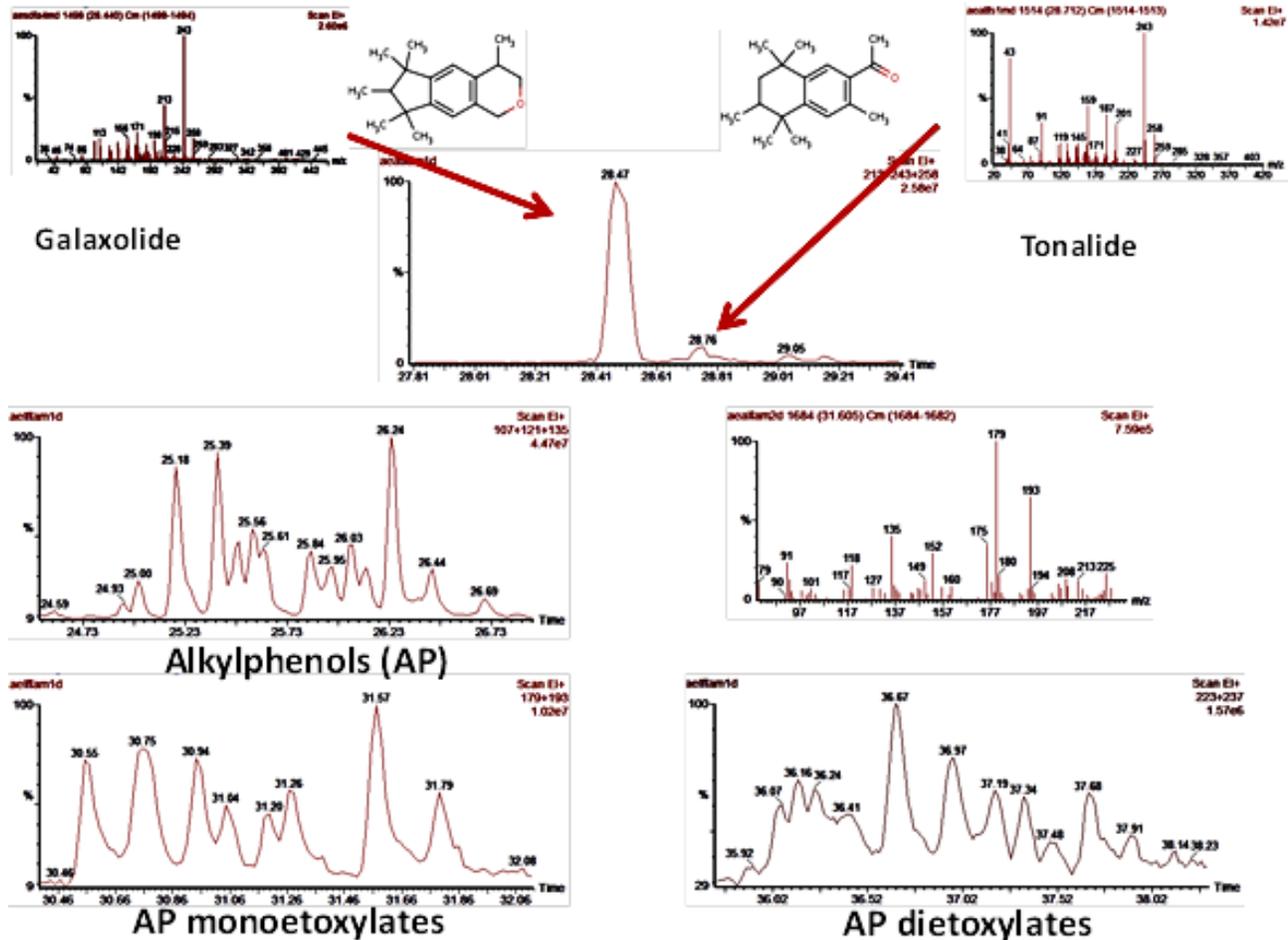
Fueron identificados y cuantificados 398 compuestos, incluyendo los casos de las familias de compuestos indicadas anteriormente. En la figura 2 se ilustra la identificación de algunos de los MCO encontrados en las concentraciones más elevadas.

Figura 7.1. CG/EM de los MCO.



Entre los MCO identificados, se encuentran productos que se utilizan como saborizantes y fragancias para alimentos, lo que incluye las siguientes familias (familia – ejemplo): alcoholes alifáticos – 2,6-dimetil-7-octen-2-ol; cetonas y aldehídos y alifáticos– heptanal; benzaldehído, 3-penten-2-ona, ; alcoholes terpénicos –  $\alpha$ -terpineol, compuestos fenólicos como la vanillina, ácidos orgánicos – octanoico (caprílico) y compuestos azufrados – dimetiltrisulfuro. Muchos de ellos se encuentran en la flora, pero su producción a partir de fuentes naturales es insuficiente, por lo que su producción actual depende de la síntesis química. También algunos de ellos forman parte de formulaciones repelentes de insectos, cosméticos e incluso de productos de la medicina, incluyendo la tradicional.

**Figura 7.1** (Continuación). CG/EM de los MCO.

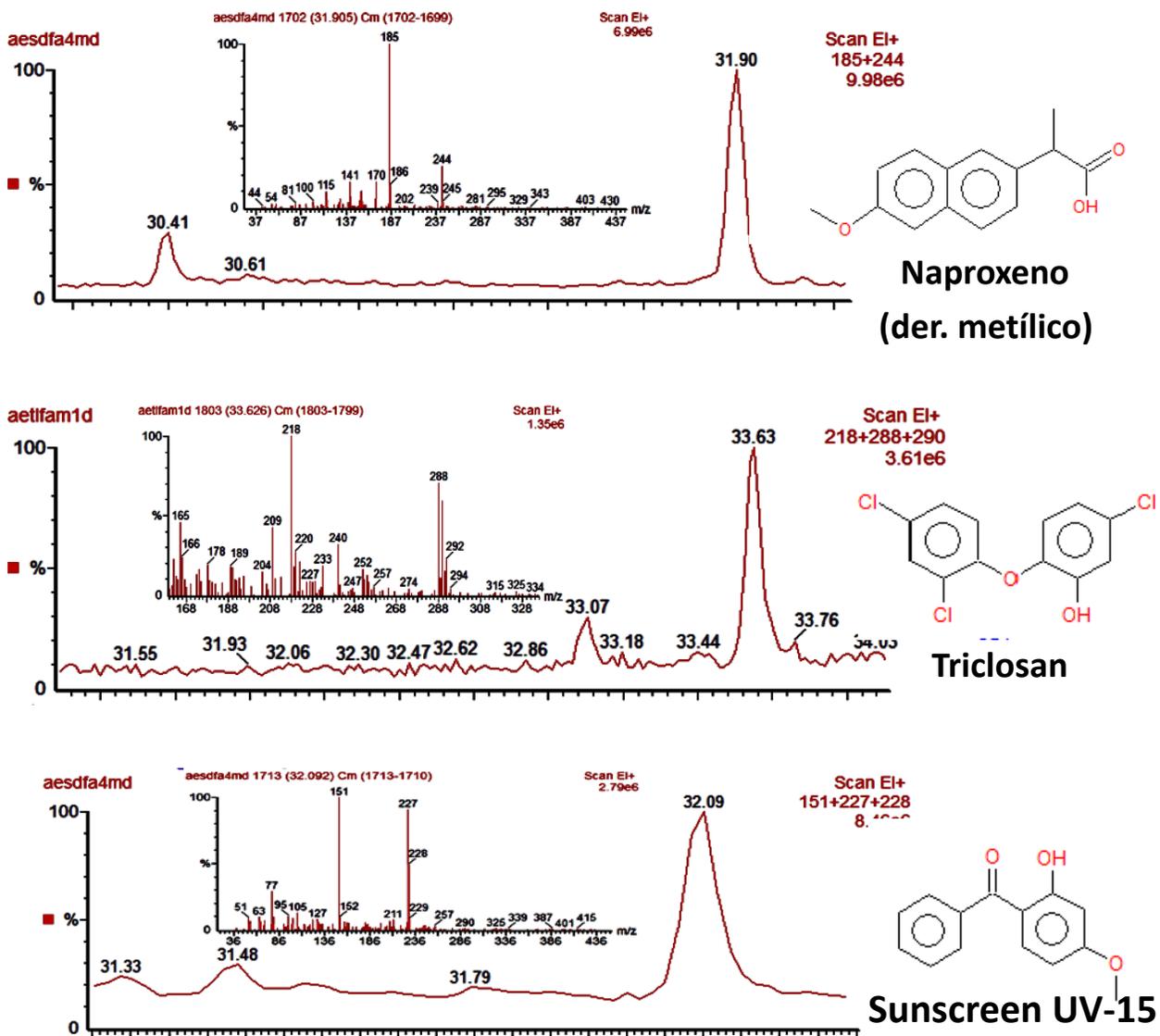


Otro grupo considerable de compuestos son sustancias que se utilizan en formulaciones de solventes, coadyuvantes de la formulación de pesticidas y en otras aplicaciones industriales como la formulación de plásticos y la síntesis química, como son glicoles – Dowanol EP, hidrocarburos aromáticos con sustituyentes de cadena corta – xilenos, compuestos azufrados – 1-octanotiol y cetonas de variadas estructuras – aceto- y benzofenona, 2fural-n-pentil-cetona.

Un grupo importante son los fenoles clorados, que bien son intermediarios de la síntesis de pesticidas de este tipo, pesticidas en sí mismos o metabolitos de la transformación de los pesticidas en el entorno, entre ellos se encontraron los mono- y dicloro fenoles, el 2,4D y el 2,4,5-T.

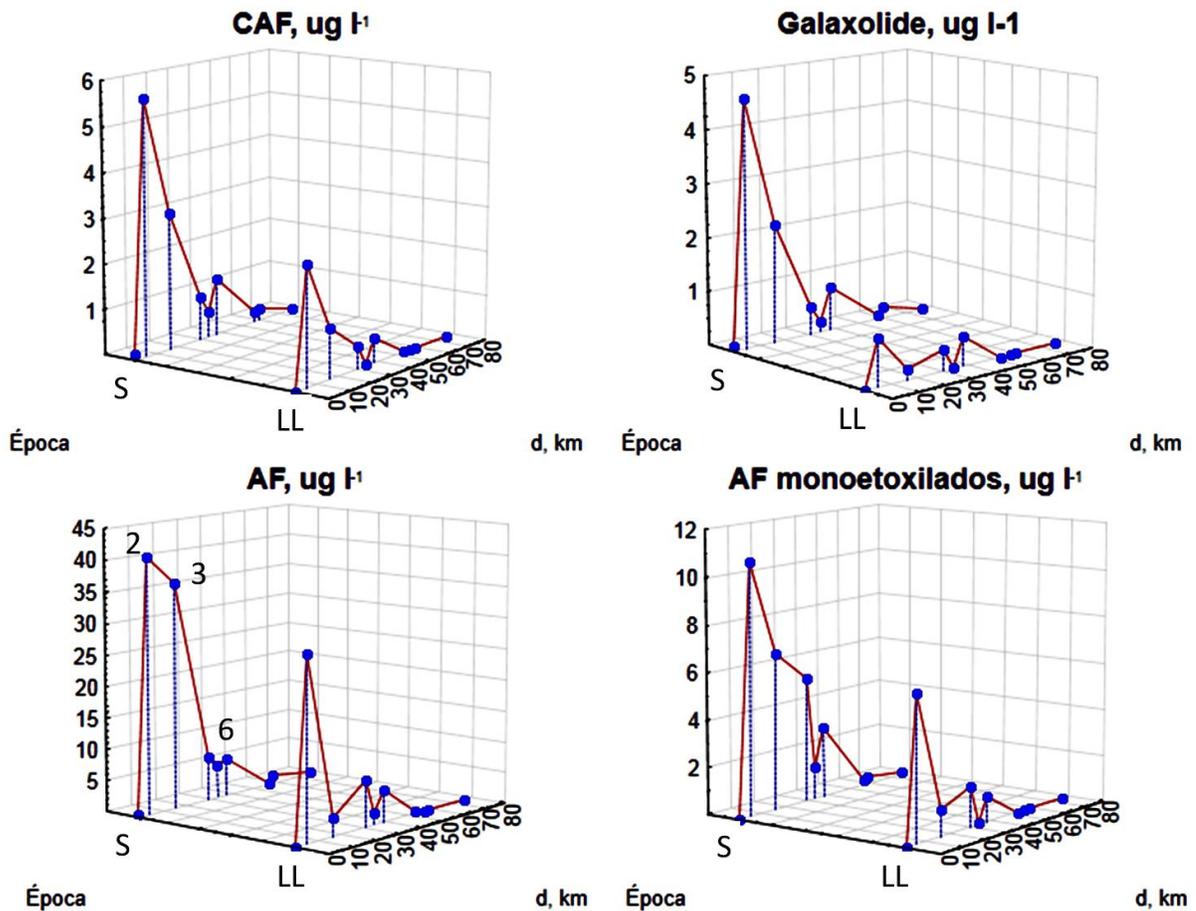
Los compuestos que se hallaron en las mayores concentraciones, resultaron los de menor volatilidad. Entre ellos los más abundantes resultaron: las fragancias galaxolide (GAL) y tonalide, que se utilizan como ingredientes de diferentes productos tales como perfumes, cosméticos, shampoos, detergentes de lavandería, suavizantes y productos de limpieza para el hogar; el metildihidrojasmonato (MDHJ), una fragancia de amplio espectro de uso; el Parsol MCX (PAR) y el Sunscreen UV15 compuestos que se usan como ingredientes en bloqueadores solares, cremas y cosméticos, es decir son compuestos que se encuentran en productos para el cuidado del cuerpo; la cafeína (CAF), un estimulante e ingrediente de formulaciones de alimentos y farmacéuticas; los alquifenoles (AF) y sus derivados mono (AFMEO) y dietoxilados (AFDEO), productos de la degradación de detergentes no iónicos de amplio espectro y uso y los alquilbencenos lineales C10-C13, presentes en los detergentes como residuos de la síntesis de alquilbencenosulfonatos.

**Figura 7.1** (Continuación). CG/EM de los MCO.



En lo concerniente a la variación espacio-temporal de las concentraciones de los principales compuestos detectados, en la figura 3 se muestra la variación de las concentraciones a lo largo del curso del río. Se observa claramente el impacto del trasvase de agua desde Puebla (punto 2), así como los impactos de las ciudades de Atlixco e Izúcar (puntos 3 y 6). Es interesante Asimismo se observa que en época de estiaje, son mayores las concentraciones. Esto no se observó para el 2,4D, que se encuentra en mayores concentraciones en época de lluvia porque en esa época se aplica y es arrastrado al río por las escorrentías de los campos de cultivo. En general hay diferencias significativas de las concentraciones entre el punto 1 (el río antes del trasvase), y las de los puntos 2 y 3, especialmente en época de seca, como se ilustra en la figura.

**Figura 7.2** Variación espacio-temporal de las concentraciones de CE. Campañas de 1999, (LL – Lluvia, S – Seca).



**Figura 7.3** Análisis de varianza (período 2012-2013).



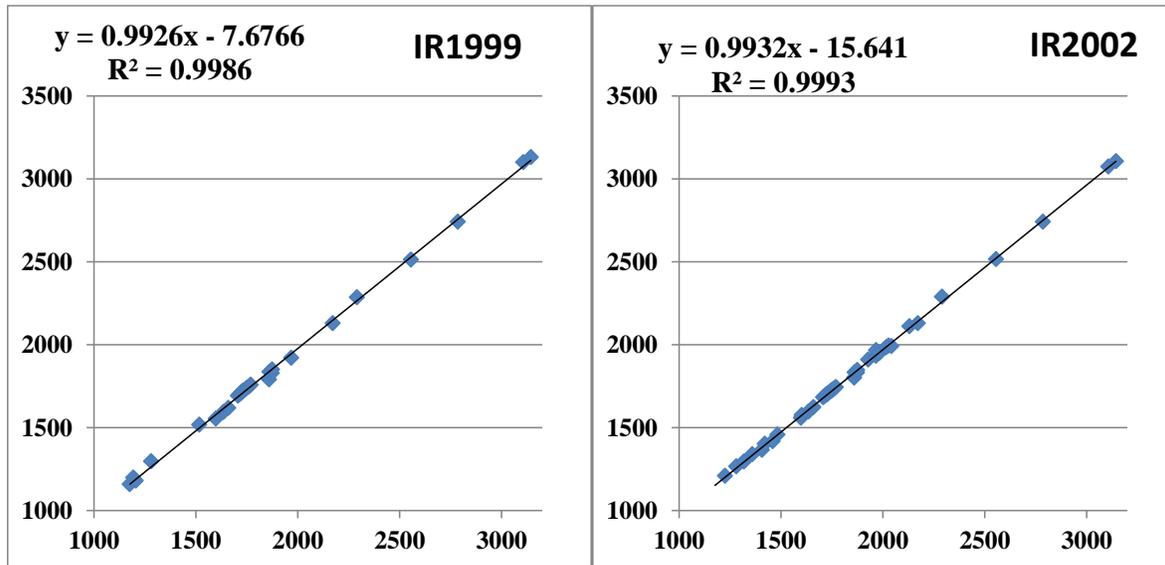
En las tabla 2 y 3 se muestran algunas características de los compuestos con mayores concentraciones, frecuencia de detección o importancia. Es conveniente señalar que los  $I_R$  de los diferentes compuestos, en los diferentes períodos de muestreo mostraron una correlación lineal muy satisfactoria entre sí (figura 5), lo que indica que se pueden utilizar los resultados de una buena identificación al cambiar incluso la columna (por supuesto de polaridad aproximadamente igual), si se determinan correctamente los tiempos de retención de los n-alcános.

**Tabla 7.1** Características y tiempos de retención  $t_R$  de algunos de los compuestos más volátiles.

Compuesto	Fórmula	CAS	M M	Teb, °C	iones	Usos										$t_R$			
						A d Al	Pr Lim	S ol	Si n Q	Fr a	Pe s	Co s	Ba c Des	F ar	Otr o Ind	1999	2002	2012	
Hexanal	C6H12O	66-25-1	100	131	44,56,72,82	x			x	x							8.44		
2-clorofenol	C6H5ClO	95-57-8	128	175	64,128,130				x				x						5.65
o-xileno	C8H10	95-47-6	106	143	91,106			x									11.55		
m-xileno	C8H11	108-38-3	106	138	91,106			x									11.90		
p-xileno	C8H12	106-42-3	106	139	91,106			x	x								12.91		
Heptanal	C7H14O	111-71-7	114	153	41,44,55,70				x	x									6.04
2,5-ditiohexano	C4H10S2	6628-18-8	122	178	61,122	x				x									6.20
2-propil-1-pentanol	C8H18O	58175-57-8	130		41,57,70,82				x										6.21
2-etilhexanol	C8H18O	104-76-7	130	183	41,57,70,83	x			x	x									6.57
1-hexanotiol	C6H14S	111-31-9	118	150	56,69,84,118										x		14.07		
2-heptenal	C7H12O	57266-86-1	112	166	45,57,87	x			x								14.83		
Ácido hexanoico	C6H12O2	142-62-1	116	205	60,73,87												17.10		
Alcohol bencílico	C7H8O	100-51-6	108	205	77,79,107,108			x	x			x	x	x	x		4.24	7.54	
1-(1-Ciclohexen-1-il)-1-propanona	C9H14O	1655-03-4	138	221	81,109,138				x								17.41		
Octanal	C8H16O	124-13-0	128	169	43,44,56,84	x				x		x					17.49		
2,6-dimetil-7-octen-2-ol	C10H20O	18479-58-8	156	194	59	x				x		x					20.94	7.76	
Eucaliptol	C10H18O	470-82-6	154	176	81,108,111,139,154	x				x	x	x		x			19.17		
ácido 4-metilhexanoico	C7H14O2	52745-93-4	130	148	60,71,73,101										x		19.47		
2-octenal	C8H14O	2548-87-0	126	211	41,55,70,83	x				x								4.73	
Acetofenona	C8H8O	98-86-2	120	202	51,77,105,120	x			x	x							19.72		

**Tabla 7.2** Características e índices de retención IR de algunos de los compuestos estudiados.

Compuesto	Fórmula	CAS	M M	Teb, °C	Iones	Usos										IR			
						A d Al	Pr Li m	S ol	Si n Q	Fr a	Pe s	Co s	Ba c De s	F ar	Otr o Ind	1999	2002	2012	
Ácido benzoico	C7H6O2	65-85-0	12 2	249	51,77,105,122	x			x										110 4
2,3,5-Tritiohexano	C3H8S3	42474- 44-2	14 0	182	61,140	x				x									112 1
FAMSO	C3H8OS2	33577- 16-1	12 4	222	61				x										112 7
DL-Mentol	C10H20O	15356- 70-4	15 6	212	71,81,85,121,13 8	x				x		x		x					115 8
alfa-terpineol	C10H18O	98-55-5	15 4	214	59,93,121,136	x			x	x		x							119 9
2,6-diclorofenol	C6H4Cl2O	87-65-0	16 2	218	162,164				x										118 0
Dowanol EP, Arosol	C8H10O2	122-99-6	13 8	237	77,94,138			x	x			x	x	x					121 0
acido-2- acetiloxibenzoico	C9H8O4	50-78-2	18 0	284	92,120,138									x					128 4
isoeugenol	C10H12O2	97-54-1	16 4	266	164,77,149,91,1 03,55	x				x									134 0
2,4,6 triclofenol	C6H3Cl3O	88-06-2	19 6	245	97,196,198,200						x								133 9
Vainillina	C8H8O3	121-33-5	15 2	285	151,152	x				x									136 1
Surfynol 104 A	C14H26O2	126-86-3	22 6	254	43,41,151,109,5 8,57		x								x				140 2
Abiol	C8H8O3	99-76-3	15 2	280	121+152	x						x		x					147 8
Dowanol TBAT	C10H22O4	143-22-6	20 6	272	45,57,89										x				147 2
Celufos 4	C12H27O4 P	126-73-8	26 6	289	99				x						x				148 8
Agroxon	C9H9ClO3	94-74-6	20 0	100	77,141,200						x								149 3
DDA	C14H31N	112-18-5	21 3	260	58		x		x										150 9
Antioxidante 29	C15H24O	128-37- 0	22 0	265	205+220	x						x			x				151 7
Ibuprofeno metil derivado	C14H20O2	61566- 34-5	22 0	100	161,177,220									x					154 5
Adjutan 6016	C13H10O	119-61-9	18 2	305	51+77+105+182							x		x	x				159 5
2,4 D ester metílico	C9H8Cl2O3	1928-38- 7	23 4	160	175,199,234						x								160 0
Metildihidrojasmon ato	C13H22O3	24851- 98-7	22 6	109	83,153,156	x				x									162 0
2,4,5,T Metilester	C9H7Cl3O3	1928-37- 6	26 8	329	233,235,45,268, 270						x								172 9
Flurazepam	C21H23ClF N3O	17617- 23-1	38 7	551	86									x					179 8
Cafeina	C8H10N4O 2	58-08-2	19 4	416	109+194	x								x					179 1
Galaxolide	C18H26O	na	25 8	326	243,213,258	x	x			x		x	x						183 7
Tonalide	C18H26O	21145- 77-7	25 8	393	213,258	x	x			x		x	x						185 0
Naproxeno metilado	C15H16O3	30012- 51-2	24 4	346	185,244									x					203 1
sunscreen uv-15	C14H12O3	131-57-7	22 8	370	151+227+228							x							201 5
Triclosan	C12H7Cl3O 2	3380-34- 5	28 8	344	288,290,218,14 6,114		x					x	x						209 1
Naproxeno	C14H14O3	22204- 53-1	23 0	380	185,230									x					209 8
Parsol MCX	C18H26O3	5466-77- 3	29 0	405	178,161		x			x	x								213 0
Diano	C15H16O2	80-05-7	22	401	213,228				x			x		x					219

**Figura 7.4** IR de 1999 y 2002 en función de los de 2012.

En la tabla se muestran las concentraciones medias de algunos de los CE, para los ríos Zahuapan, Atoyac, Sordo y el Nexapa en la estación 2, muestreos de 2012-2013 (debe considerarse que hay una gran variabilidad en las diferentes campañas). La determinación en el Sinú fue solamente cualitativa. De igual manera corrobora la amplia distribución de los contaminantes emergentes no sólo en los ríos de México, sino también en este importante sector ambiental. Resulta importante destacar dos hechos más. Los MCO se encontraron en todos los canales de riego que utilizan el agua del río, aunque se observan menores concentraciones que en el cuerpo de agua del que se derivan. Por otra parte, se detectaron algunos CE en algunos pozos de agua potable. Esto muestra la interacción entre agua superficial y subterránea y además la necesidad de incrementar la vigilancia sobre la segunda, vital para el abastecimiento de la población en la región de estudio.

**Tabla 7.2** Comparación de los valores medios de las concentraciones en ríos ( $\text{g L}^{-1}$ ).

	CAF	GAL	MDHJ	24D	PAR	AF	AFMEO
Nexapa	4.15	1.73	7.31	41.3	1.79	30.62	3.00
Zahuapan	3.90	1.55	4.44	19.95	0.66	21.79	3.82
Atoyac	2.23	1.93	9.09	112.43	10.20	23.46	5.33
Sordo <sup>A</sup>	1.43	0.97	0.75	nc	1.95	0.86	0.44
Sinú	d	d	d	nd	d	d	D
España	0.01-5.93 <sup>B</sup>	2.36-4.8 <sup>C</sup>				0.29-1.60 <sup>B</sup>	<0.079 <sup>B</sup>
Influente PTAR <sup>D</sup>	0.06-0.61	0.23-9.67					
Efluente PTAR <sup>D</sup>	0.07-0.20	0.19-9.67					
Singapur <sup>E</sup>	0.37-1.14					0.79-1.26	

En la propia tabla, se muestran, para fines de comparación, algunos valores reportados para aguas superficiales, incluyendo un caso de influente y efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para que se pueda valorar que las concentraciones de CAF, GAL, AF y AFMEO en el río Nexapa, el Zahuapan y el Atoyac, realmente son muy elevados.

Es realmente preocupante la cantidad de 24D en las aguas superficiales, lo que motiva a pensar que esta ha sido la causa de la desaparición sistemática de la ictiofauna en el río Nexapa y de episodios de muerte de peces (junto a las descargas extremas de amonio y de compuestos orgánicos en general expresados como DBO5), que han ocurrido en el Zahuapan y el Atoyac.

### **7.3 Conclusiones**

Se identificaron 398 MCO en las muestras obtenidas en campañas realizadas en los períodos 1999-2000, 2002-2005 y 2012-2013, ubicados en la parte superior del curso del río Nexapa. De ellos, la mayor parte se utilizan en la vida diaria como productos del cuidado personal, aseo, componentes de los alimentos, etc., pudiendo clasificarse como pertenecientes al grupo de CE. De estos, un grupo de 16 compuestos individuales y 3 familias de compuestos fueron cuantificados, observándose el incremento en la concentración en períodos de estiaje y después de las poblaciones de mayor importancia.

Se obtuvieron los parámetros de retención, empleando columnas no polares o de baja polaridad, obteniendo una buena correlación entre los parámetros de retención de los compuestos identificados en los tres períodos de muestreo.

La presencia de los MCO y en particular de los CE, muestra el fuerte impacto antropogénico sobre las aguas superficiales, aspecto que resulta más preocupante si se considera que estas aguas se utilizan para riego y que se detectó la presencia de estas sustancias en algunos pozos de agua subterránea.

### **7.4 Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo y a la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros por el financiamiento de la investigación durante los años 1999 a 2013.

### **7.5 Referencias**

Becerril J., 2012, Optimización de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes emergentes en aguas de abastecimiento y residuales, Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.

Chamorro S., Hernández V., Matamoros V., Domínguez C., Becerra J., Vida G. I, Piña B., Bayona J.M., (2013). Chemical characterization of organic microcontaminant sources and biological effects in riverine sediments impacted by urban sewage and pulp mill discharges. *Chemosphere*, 90(2), 611-619.

Daughton C.G., 2004. Non-regulated water contaminants: emerging research. *Environ. Risk Assessment Rev.* 24, 711-732.

Díaz R., Ibáñez M., Sancho J.V., Hernández F., (2013). Qualitative validation of a liquid chromatography–quadrupole-time of flight mass spectrometry screening method for organic pollutants in waters. *J. Chromatography A*, 1276, 47– 57.

Esteban S., Gorga M., Petrovic M., González-Alonso S., Barceló D., Valcárcel Y., (2014). Analysis and occurrence of endocrine-disrupting compounds and estrogenic activity in the surface waters of Central Spain. *Sci Total Environ.* 466-467, 939-951.

Ginebreda A., Kuzmanovic M., Guasch H., de Alda M.L., López-Doval J.C., Muñoz I., Ricart M., Romaní A.M., Sabater S., Barceló D., 2014. Assessment of multi-chemical pollution in aquatic ecosystems using toxic units: compound prioritization, mixture characterization and relationships with biological descriptors. *Sci Total Environ.* 468-469, 715-723.

Guillén D., Ginebreda A., Farré M., Darbra R.M., Petrovic M., Gros M., Barceló D., (2012). Prioritization of chemicals in the aquatic environment based on risk assessment: analytical, modeling and regulatory perspective. *Sci Total Environ.* 440, 236-52.

Gómez M.J., Herrera S., Solé D., García-Calvo E., Fernández-Alba A.R., (2012). Spatio-temporal evaluation of organic contaminants and their transformation products along a river basin affected by urban, agricultural and industrial pollution. *Sci Total Environ.* 420:134-145.

Herrera López S., Gómez M.J., Hernando M.D., Fernández-Alba A.R., (2013). Automated dynamic headspace followed by a comprehensive two-dimensional gas chromatography full scan time-of-flight mass spectrometry method for screening of volatile organic compounds (VOCs) in water. *Anal. Methods*, 5, 1165-1177.

Navarro A., Herrera J., Caso L., Marrugo J., (2013b). Calidad del agua del río Nexapa: Tendencias espacio-temporales y sus implicaciones. En M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). *Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato*, pp. 83-97.

Navarro A., Philp R., Marrugo J., Herrera J., (2013a). Emerging Contaminants in different environmental compartments. En: *Organic Geochemistry, Trends for the 21th Century, Vol. 1. Book of Abstracts of the Communications presented to the 26th International Meeting on Organic Geochemistry.* Editors: J.A. González-Pérez, F.J. González-Vila, Nicasio T. Jiménez-Morillo and G. Almendros, pp 372-373.

OECD Organisation for Economic Co-operation and Development 2012: *Environmental outlook to 2050.*

Oyegbile B., y Narra S., 2013, The Role of Emerging Environmental Contaminants in Future Impact Assessments of Wastewater Treatment Plants in Europe, *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, (2013):85-90.

Petrovic M., Radjenovic J., Postigo C., Kuster M., Farre M., de Alda M.L., Barceló D., (2008). Emerging Contaminants inWaste-Waters: Sources and Occurrence. En *The Handbook of Environmental Chemistry* Editors-in-Chief: O. Hutzinger, D. Barceló, A. Kostianoy. Volume 5 Water Pollution. Part S/1, pp. 1 – 36, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Teijon G., Candela L., Tamoh K., Molina-Díaz A., Fernández-Alba A.R., (2010). Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Sci Total Environ.* 408(17), 3584-3595.

Wells M.J.M., Pellegrin M.L., Morse A., Bell K.Y., Fono L.J., 2009. Emerging Pollutants. *Water Environ Res.* 81, 10, 2211-2254.

Wille K., De Brabander H., De Wulf E., Caeter P., Janssen C., y Vanhaecke L., (2012), Coupled chromatographic and mass-spectrometric techniques for the analysis of emerging pollutants in the aquatic environment, *Trends in Analytical Chemistry*, 35, 87-108.

Xu Y., Luo F., Pal A., Gin K.Y., Reinhard M., 2011. Occurrence of emerging organic contaminants in a tropical urban catchment in Singapore. *Chemosphere.* 83(7), 963-969.

Yan Q., Gao X., Chen Y.P., Peng X.Y., Zhang Y.X., Gan X.M., Zi C.F., Guo J.S., 2014. Occurrence, fate and ecotoxicological assessment of pharmaceutically active compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants in Chongqing, the Three Gorges Reservoir Area. *Sci Total Environ.* 470-471, 618-630.

Yu Y., Wu L., (2012). Analysis of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals and personal care products in sewage sludge by gas chromatography–mass spectrometry. *Talanta* 89, 258– 263.

Zarrelli A., Dellagreca M., Iesce M.R., Lavorgna M., Temussi F., Schiavone L., Criscuolo E., Parrella A., Previtera L., Isidori M., 2014. Ecotoxicological evaluation of caffeine and its derivatives from a simulated chlorination step. *Sci Total Environ.* 470-471:453-458.

## **Modelo de predicción para las frecuencias naturales en una viga euler bernoulli con módulo de elasticidad con variación espacial**

Olga Luévano, Mario Cantú, Héctor Hernández y Mario Osorio

O. Luévano, M. Cantú, H. Hernández y M. Osorio.  
Universidad Politécnica de Gómez Palacio  
oluevano@upgop.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Generally, the mathematical models are constructed to represent real systems. In the materials without fracturing; the elastic mechanical properties are assumed as constant. One of them is the elastic modulus (constant in the constitutive equations of the materials homogeneous, continuous and isotropic). The thermomechanical processes on the material throughout the domain, modify the value of the elastic constant, producing a spatial variation in the studied parameter.

In this paper the finite element method (FEM) is used to calculate the vibrational modes of Euler Bernoulli beam, with 8 holes aligned to the centre and distributed along the beam. Assuming that the elastic modulus at each point is constant but varies spatially. The results of model are compared with experimental data using two metrics, square error (MSE ) and modal assurance criteria (MAC).

## 8 Introducción

En los análisis deterministas de estudios estructurales, los parámetros de las propiedades elásticas de los materiales son fijos. Estos valores están establecidos para cada material. Sin embargo, en la literatura revisada se plantea que en los materiales homogéneos, el módulo de elasticidad varía de un segmento a otro de la misma pieza (Wenhui, 2010). Especialmente en segmentos en los que su geometría es modificada a través de procesos de corte, troquel o taladrado, debido al incremento de la concentración de esfuerzos en las secciones adyacentes donde se aplicó el proceso (Yang et al, 2009). Hufnagel (1992) reporta, en el aluminio, valores del módulo de elasticidad de 60 a 78 kN/mm<sup>2</sup> y establece en un promedio de 70 kN/mm<sup>2</sup> que es el valor usado de manera general. Tales medidas muestran que existe variabilidad en el módulo de elasticidad, y su valor depende de los procesos termomecánicos a los que fue sometido y los métodos utilizados para su medición. Con base en lo anterior, es importante considerar la variación espacial del módulo de elasticidad en los procedimientos de análisis físico de los sistemas.

Un método muy usado en análisis estructural es el de los elementos finitos (MEF). Este es un método numérico determinista que utiliza parámetros conocidos de las propiedades de los materiales como valores fijos y constantes. Asimismo, se desarrollan dos vertientes de análisis que consideran la posibilidad de variación de estos parámetros: 1) Aleatoriedad en los parámetros (método de elemento finito estocástico) y 2) Incertidumbre en los parámetros (método de elemento finito difuso). Estos son confirmados y mencionados en el estado del arte del método de los elementos finitos estocástico por Stefanou (2008), Vélez et al (2009) y Xiao et al (2011).

Entre las estrategias utilizadas para considerar la variabilidad espacial del módulo de elasticidad en el MEF, Mthembu et al (2011) seleccionan el ajuste del modelo de elemento finito usando evidencia estadística bayesiana. Aplicada a una viga H asimétrica, asignando diferentes valores del módulo elástico a los elementos, lo cual depende de su ubicación sobre la superficie y la cercanía con secciones de la geometría sometida a diferentes esfuerzos. Wenhui (2010) aplica el método de elemento finito estocástico para analizar la vibración estructural en una viga en voladizo. En este caso, establece la importancia del método de discretización a utilizar para reducir tiempo y costo computacional. En su caso utilizó el método de punto medio para la discretización.

En este trabajo se desarrolla un modelo de elementos finitos estocástico para analizar una viga metálica de aluminio Euler Bernoulli suspendida libremente. Sometida a perturbación, en la que se aplica aleatoriedad al módulo de elasticidad, y se obtienen resultados muy cercanos a los valores experimentales.

## 8.1 Materiales y Métodos

### Método de los elementos finitos en vigas.

En el marco conceptual del método de los elementos finitos (MEF), es un método numérico para resolver sistemas cuyo comportamiento es descrito mediante ecuaciones constitutivas de la física representadas con ecuaciones diferenciales parciales (Zienkiewicz, 2009). Convirtiendo una ecuación constitutiva en un sistema de ecuaciones algebraicas lineales. En el caso de los sistemas estructurales y con base en la Teoría de Euler Bernoulli en vigas, considera la deformación por flexión (Logan, 2007). El momento y la fuerza de corte están relacionadas con el desplazamiento transversal a través de:

$$\hat{m}(\hat{x}) = EI \frac{d^2 \hat{v}}{d\hat{x}^2} \quad \hat{V} = EI \frac{d^3 \hat{v}}{d\hat{x}^3} \quad (8)$$

Donde  $\hat{m}(\hat{x})$  se refiere al momento flector,  $E$  representa el módulo de elasticidad,  $I$  es el momento de inercia,  $\hat{V}$  es la fuerza de corte, y  $\hat{v}$  es la función de desplazamiento. El análisis estático de una viga Euler Bernoulli está basado en la ecuación (1). En situaciones de análisis dinámico se incluye la segunda ley de Newton,  $F = ma$ , la cual aparece en:

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (8.1)$$

En este caso,  $m$  representa la masa,  $k$  se refiere a la rigidez del sistema (material) y  $F(t)$  a la fuerza aplicada en el sistema. En términos de la representación de matrices para elemento finito, en donde  $e$  representa cada elemento:

$$\{F(t)\} = [K]\{d\} + [M]\{\ddot{d}\} \quad (8.2)$$

donde:

$$[K] = \sum_{e=1}^N [k^{(e)}] \quad [M] = \sum_{e=1}^N [m^{(e)}] \quad [F] = \sum_{e=1}^N [f^{(e)}] \quad (8.3)$$

La libre vibración de la masa ocurre con la solución homogénea de la ecuación (3), así  $F(t) = 0$ , y la solución estándar para  $\{d(t)\}$  está dada por la ecuación armónica en el tiempo:

$$\{d(t)\} = \{d'\} e^{i\omega t} \quad (8.4)$$

Donde  $d'$ , es la matriz de los desplazamientos nodales llamados modos naturales y, es asumido como independiente del tiempo,  $i$  es el número imaginario estándar y  $\omega$  es la frecuencia natural. Diferenciando con respecto al tiempo y sustituyendo en (3), tenemos:

$$e^{i\omega t} ([K] - \omega^2 [M]) \{d'\} = 0 \quad (8.5)$$

La ecuación (6) es un conjunto de ecuaciones lineales en términos de desplazamientos modales  $\{d\}$  igualado a cero, entonces tenemos:

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (8.6)$$

Si  $\lambda = \omega^2$ , entonces  $\omega = \sqrt{\lambda}$ , por lo tanto:

$$|[K] - \lambda[M]| = 0 \quad (8.7)$$

La ecuación (8), representa el modelo de elementos finitos para la obtención de las frecuencias naturales en el análisis vibracional. Donde  $[K]$  es la representación matricial de la rigidez:

$$[K] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (8.8)$$

E representa el módulo de elasticidad,  $I$  el momento de inercia,  $L$  la longitud del elemento viga.

### Módulo de elasticidad.

Dentro de los límites elásticos de un material metálico, es sabido que la relación de los valores tomados de la pendiente, en la curva esfuerzo–deformación, deduce una constante (Ley de Hooke) (Mott, 1996) (Ashby, 2005). Conocida como módulo elástico o de Young ( $E$ ). Al considerarse constante, se tienen establecidos valores para infinidad de materiales considerados homogéneos y continuos. Incluso en términos más complejos como son los materiales compuestos.

$$\text{Módulo de Elasticidad} = \frac{\text{Esfuerzo longitudinal}}{\text{Deformación longitudinal}} \quad (8.9)$$

Reportes en la literatura (Wenhui, 2010) (Hufnagel, 1992) (Mthembu et al, 2011), establecen el módulo de elasticidad como variable aún en un mismo material. Describiendo la propiedad elástica del material como variable espacialmente y como una propiedad aleatoria cuyo comportamiento se explica mediante una distribución de probabilidad. Otros estudios reportan mediciones del módulo de elasticidad en materiales como el aluminio por medio de nano indentación (Yabushita et al, 2008) encontrando valores en un rango de  $71 \pm 3$  GPa.

### Módulo de elasticidad aleatorio.

Para usar un módulo de elasticidad variable en el espacio cuando se utiliza el MEF, es conveniente que el espacio aleatorio del módulo de elasticidad se discretize en el mismo sentido que el dominio continuo del MEF, de esta manera se obtiene un parámetro por cada nodo y posteriormente la media del parámetro en cada elemento, ya que un nodo puede estar relacionado con más de un elemento, se establece cierto grado de correlación entre los elementos que comparten nodos.

La ecuación (9) que representa la rigidez del sistema, requiere de tres parámetros fijos: el módulo de elasticidad, la longitud y la inercia, en este caso la longitud y la inercia se mantienen fijos

pero el módulo de elasticidad es considerado un parámetro fijo que varía en el espacio, del que sólo se conoce el valor promedio general.

Un vector que se integra con los módulos de elasticidad para los  $n$  nodos, debe ser generado.

$$E = [E_1, E_2, E_3, \dots, E_n] \quad (8.10)$$

Asumiendo que el módulo de elasticidad varía espacialmente con una distribución normal con parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , el vector generado es gaussiano. La ecuación (7) ya no es determinista, el valor de las frecuencias naturales  $\omega$  es un valor aleatorio ya que su valor dependerá del valor que asuma el módulo de elasticidad.

En el MEF se asume que existe un valor esperado constante para un solo elemento, y ya que cada elemento tiene al menos dos nodos, entonces se obtiene la media del módulo de elasticidad para los  $N$  elementos usando los valores de cada uno de sus nodos. De la misma forma cada elemento comparte al menos un nodo con cada elemento vecino, por lo que cada nodo compartido contribuye a la media del módulo de elasticidad de al menos dos elementos diferentes. Esto significa que existe correlación (ecuación 12) entre los valores esperados de cada elemento con los elementos vecinos. Dicha correlación se obtiene con la matriz de covarianzas.

$$Cov_{E^i E^j} = \begin{bmatrix} \frac{Cov(E^1, E^1)}{Var(E^1)Var(E^1)} & \frac{Cov(E^1, E^2)}{Var(E^1)Var(E^2)} & \dots & \frac{Cov(E^1, E^N)}{Var(E^1)Var(E^N)} \\ \frac{Cov(E^2, E^1)}{Var(E^2)Var(E^1)} & \frac{Cov(E^2, E^2)}{Var(E^2)Var(E^2)} & \dots & \frac{Cov(E^2, E^N)}{Var(E^2)Var(E^N)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Cov(E^N, E^1)}{Var(E^N)Var(E^1)} & \frac{Cov(E^N, E^2)}{Var(E^N)Var(E^2)} & \dots & \frac{Cov(E^N, E^N)}{Var(E^N)Var(E^N)} \end{bmatrix} \quad (8.11)$$

El vector de módulos de elasticidad para los elementos se obtiene, de la siguiente manera:

$$E = \mu_g + \sigma_g LZ \quad (8.12)$$

Donde  $\mu_g$  representa la media y  $\sigma_g$  la desviación estándar generadas con los datos del método Montecarlo,  $Z$  es una matriz ortogonal resultante de una matriz de números aleatorios con distribución normal, media cero y varianza uno, y  $L$  se obtiene con la descomposición de Cholesky de la matriz de correlación.

### Criterios de comparación

Criterio de Aseguramiento Modal (MAC por sus siglas en inglés, modal assurance criterion): Es una herramienta matemática para comparar dos vectores. Este se usa para investigar la validez de los modos estimados [13]. El MAC entre dos vectores  $\{\psi\}_r$  y  $\{\psi\}_s$  está definido como:

$$MAC(\{\psi\}_r, \{\psi\}_s) = \frac{(\{\psi\}_r^T \{\psi\}_s)^2}{(\{\psi\}_r^T \{\psi\}_r)(\{\psi\}_s^T \{\psi\}_s)} \quad (8.13)$$

El valor MAC se acercará a 1 si  $\{\psi\}_r$  y  $\{\psi\}_s$  son el mismo modo de forma. Si  $\{\psi\}_r$  y  $\{\psi\}_s$  son diferentes modos de forma, el valor MAC se alejará de 1 y tendrá un valor menor. El subíndice  $i = 1, 2, \dots, n$ , representa cada modo, y  $\omega_i$  representa la frecuencia.

Posteriormente, suma los resultados de todas estas distancias para seleccionar el modelo que tenga el mínimo valor de la suma del error cuadrado.

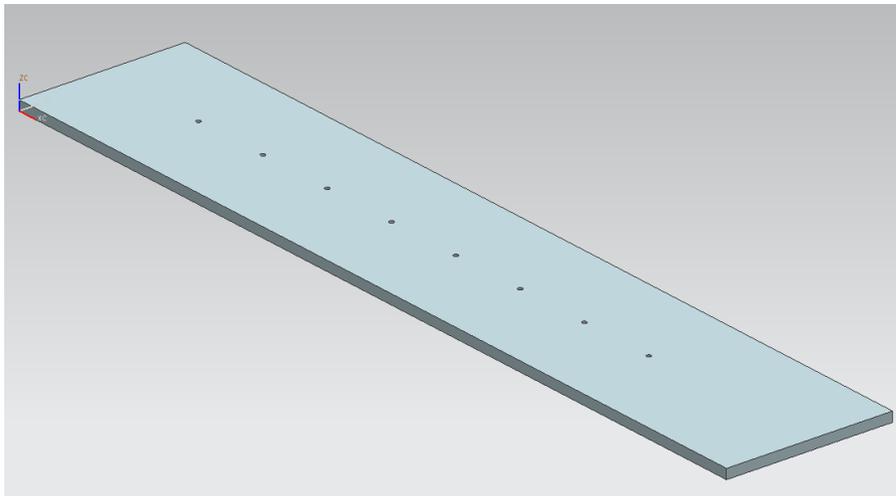
$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 \quad (8.14)$$

### Procedimiento experimental.

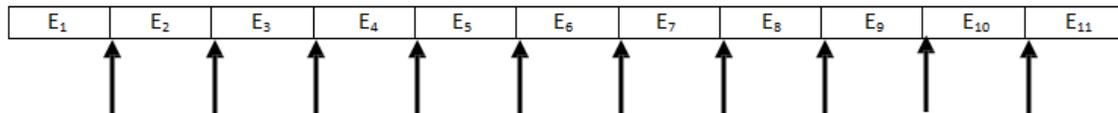
Se considera una viga de aluminio homogénea y continua. Discretizada en 11 elementos de igual tamaño, las especificaciones de la viga son: 1100 x 210 x 10.6 mm.

La viga tiene orificios de 5.8 mm de diámetro localizados en el centro de los elementos 2 al 9 (ver figs. 1 y 2). Esto complica su modelado, más detalles de esta viga son reportados en Marwal (2010) (1997). La viga es suspendida libremente usando bandas elásticas. Con el objetivo de perturbarla mediante un agitador electromagnético. La respuesta es medida por un acelerómetro en 10 posiciones diferentes (ver fig. 2). Finalmente, se considera que el módulo elástico en el aluminio se distribuye normalmente con media  $72 \times 10^9$  GPa y varianza  $0.55 \times 10^{20}$  GPa, con base en un estudio de Mthembu (2011).

**Figura 8.** Viga de aluminio Euler – Bernoulli



**Figura 8.1** Viga con orificios, libremente suspendida, la aceleración fue medida sobre los 10 puntos indicados; los elementos son numerados de izquierda a derecha



Considerando que el módulo de elasticidad tiene variación espacial, se establecen dos patrones de variación en la superficie de la viga (tabla 1). El primero asume que el módulo de elasticidad varía espacialmente a través de la viga, y el segundo considera que el módulo de elasticidad de los elementos sólidos es ligeramente mayor que el de los elementos con perforaciones.

**Tabla 8.** Patrones de variación del módulo de elasticidad en la viga Euler Bernoulli.

PATRÓN DE VARIACIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ELEMENTOS
1	$E_{(1-11)}$	1 – 11
2	$E_{(1,10 \text{ y } 11)}$	1, 10 y 11
	$E_{(2-9)}$	2 – 9

Se realizó un modelo en MatLab® para resolver el análisis vibracional de una viga Euler Bernoulli con el método de los elementos finitos tradicional (determinista), posteriormente se le añadió un módulo generador de vectores de módulos de elasticidad aleatorios usando el método Monte Carlo, que considera los dos patrones de variación por separado, los resultados de los tres modelos usados (determinista, patrón de variación 1 y patrón de variación 2) se compararon con los resultados experimentales (tabla 2) y se analizaron los resultados.

**Tabla 8.1** Frecuencias experimentales de los primeros cuatro modos de frecuencia

MODO	FRECUENCIA EXPERIMENTAL (Hz)
1	41.5
2	114.5
3	224.5
4	371.6

## 8.2 Resultados y discusión

Los vectores del módulo de elasticidad para cada patrón se obtuvieron con el método Monte Carlo, se generaron vectores con 23 módulos de elasticidad correspondientes a 23 nodos. Considerando que cada elemento tiene tres puntos de observación (nodos), la tabla 3 especifica los nodos correspondientes a cada elemento y el valor del módulo de la elasticidad esperado para cada elemento.

**Tabla 8.2** Media y varianza del módulo de elasticidad por elemento.

ELEMENTO	NODOS	PATRÓN DE VARIACIÓN 1		PATRÓN DE VARIACIÓN 2	
		Media	Varianza	Media	Varianza
1	1, 2, 3	$7.1103 \times 10^{10}$	$2.67199 \times 10^{19}$	$7.1064 \times 10^{10}$	$2.93488 \times 10^{19}$
2	3, 4, 5	$7.1089 \times 10^{10}$	$2.66576 \times 10^{19}$	$7.0977 \times 10^{10}$	$3.94637 \times 10^{19}$
3	5, 6, 7	$7.1087 \times 10^{10}$	$2.65644 \times 10^{19}$	$6.9299 \times 10^{10}$	$3.49423 \times 10^{19}$
4	7, 8, 9	$7.1081 \times 10^{10}$	$2.66683 \times 10^{19}$	$7.0595 \times 10^{10}$	$2.52570 \times 10^{19}$
5	9, 10, 11	$7.1084 \times 10^{10}$	$2.66774 \times 10^{19}$	$6.8897 \times 10^{10}$	$2.82463 \times 10^{19}$
6	11, 12, 13	$7.1089 \times 10^{10}$	$2.64106 \times 10^{19}$	$7.0661 \times 10^{10}$	$2.82035 \times 10^{19}$
7	13, 14, 15	$7.1104 \times 10^{10}$	$2.63791 \times 10^{19}$	$7.0653 \times 10^{10}$	$2.51512 \times 10^{19}$
8	15, 16, 17	$7.1080 \times 10^{10}$	$2.65664 \times 10^{19}$	$7.0596 \times 10^{10}$	$2.75572 \times 10^{19}$
9	17, 18, 19	$7.1079 \times 10^{10}$	$2.66473 \times 10^{19}$	$6.9951 \times 10^{10}$	$3.06658 \times 10^{19}$
10	19, 20, 21	$7.1112 \times 10^{10}$	$2.67380 \times 10^{19}$	$7.2965 \times 10^{10}$	$2.79137 \times 10^{19}$
11	21, 22, 23	$7.1115 \times 10^{10}$	$2.67114 \times 10^{19}$	$7.1693 \times 10^{10}$	$2.88558 \times 10^{19}$

Los resultados obtenidos en el modelo programado en MatLab® se presentan en la tabla 4, se observa que son muy aproximados a los valores experimentales, para corroborarlo se usa el error cuadrado medio y el MAC. Los valores obtenidos tanto del error cuadrado medio como del MAC (tabla 5) muestran que la diferencia entre los valores MAC de los tres modelos con respecto a los datos experimentales son cifras del orden de  $1 \times 10^{-7}$ .

Lo cual no representa mucha diferencia, sin embargo, en la suma del error cuadrado medio si existen diferencias, mostrando que el modelo del patrón de variación 2 es el más aproximado a los datos reales.

**Tabla 8.3** Frecuencias naturales para cada modelo

MODO	FRECUENCIA NATURAL (Hz)			
	EXPERIMENTAL	DETERMINISTA	PATRÓN DE VARIACIÓN 1	PATRÓN DE VARIACIÓN 2
1	41.5	41.99	41.70	41.60
2	114.5	116.60	115.79	115.25
3	224.5	227.37	225.78	224.58
4	371.6	375.15	372.54	370.68

Con un nivel de confianza de 95% se asume que el valor esperado para el módulo de elasticidad en el patrón de variación 1 se encuentra entre los valores de 69.21 y 72.97 GPa, y para el patrón de variación 2, el valor esperado del módulo de elasticidad está entre los valores 68.69 y 72.65 GPa, como se observa en la amplitud del intervalo, es mayor en el patrón de variación 2 que en el patrón de variación 1, lo cual parecería normal ya que en el patrón de variación 2 se asume que el módulo de elasticidad disminuye en los elementos con orificios al centro.

**Tabla 8.4** Valores de los criterios de comparación para cada modelo

MODELO	MAC	$\Sigma$
DETERMINISTA	0.999994	25.4675
PATRÓN DE VARIACIÓN 1	0.999994	4.2193
PATRÓN DE VARIACIÓN 2	0.999994	1.4399

En cuanto a los resultados de las frecuencias naturales (tabla 6 y 7), se observa que los datos experimentales quedan dentro de los intervalos en ambos patrones de variación con un nivel de confianza de 95%, con excepción del modo 2 en el patrón 2, si se incrementa el nivel de confianza a 99% el modo de frecuencia 2 aún se queda fuera del intervalo.

**Tabla 8.5** Intervalos de confianza para las frecuencias naturales con un nivel de confianza del 95%

Modo	Nivel de confianza de 95%						Valores Reales
	Patrón de Variación 1			Patrón de Variación 2			
	LI	LS	Rango	LI	LS	Rango	
1	41.14	42.25	1.11	41.4	41.81	0.41	41.5
2	114.25	117.32	3.08	114.74	115.77	1.03	114.5
3	222.78	228.78	6.00	223.60	225.55	1.94	224.5
4	367.59	377.49	9.90	369.16	372.19	3.04	371.6

**Tabla 8.6** Intervalos de confianza para las frecuencias naturales con un nivel de confianza del 99%

Modo	Nivel de confianza de 99%						Valores Reales
	Patrón de Variación 1			Patrón de Variación 2			
	LI	LS	Rango	LI	LS	Rango	
1	40.99	42.41	1.42	41.34	41.87	0.53	41.5
2	113.82	117.75	3.93	114.60	115.91	1.32	114.5
3	221.95	229.61	7.66	223.34	225.81	2.48	224.5
4	366.22	378.86	12.65	368.74	372.61	3.88	371.6

### 8.3 Conclusiones

En los últimos años se ha dado mayor importancia al hecho de que la incertidumbre interviene en todos los sistemas reales, aún en aquellas propiedades consideradas fijas y constantes. Por ello los métodos deterministas como el Método de los Elementos Finitos se han ido modificando para integrar de alguna manera los efectos de la variación en los resultados del sistema analizado. Tal es el caso del Método de los Elementos Finitos Estocástico, en el que se consideran parámetros fijos con variación en el espacio integrados a la resolución de los sistemas de ecuaciones algebraicas lineales generadas por el método.

En este estudio el módulo de elasticidad es un parámetro fijo con variación espacial, dicha variación se representó con dos patrones diferentes, uno que considera que se tiene el mismo valor esperado para el módulo de elasticidad en todos los elementos y otro que asume que el valor esperado del módulo de elasticidad es mayor en los elementos sólidos que en los elementos que tienen un orificio al centro.

En el análisis de resultados se encontró que los valores de frecuencia natural obtenidos con los tres modelos tienen una fuerte relación con los resultados experimentales ya que las diferencias entre el MAC de cada modelo es del orden de  $1 \times 10^{-7}$ , y el valor individual de los tres de 0.999994 está muy próximo a uno, lo que significa que los modos calculados están fuertemente relacionados con los modos obtenidos experimentalmente. La sumatoria del error cuadrado dio como resultado que el patrón de variación dos es el más aproximado a los datos reales, sin embargo al hacer la estimación del valor esperado con intervalos de confianza, el valor real del modo dos queda por debajo del límite inferior del intervalo en niveles de confianza de 95% y 99%. Aún con estos resultados cabe resaltar la importancia de considerar la variación del módulo de elasticidad debida a los procesos a los que se somete el material con fin de lograr una geometría deseada, lo que afecta el desempeño de la pieza para las funciones que es fabricada.

Desde el punto de vista mecánico-metalúrgico, sería interesante obtener los valores del módulo de elasticidad por zona en una viga, así como establecer condiciones de endurecimiento y ablandamiento por procesos de remoción de material. Empatando las condiciones semejantes en este estudio. Especialmente en las zonas cercanas al límite del orificio para coadyuvar el método de los elementos finitos.

### 8.5 Referencias

- Ashby MF. (2005), *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier Butterworth- Heinemann, Third Edition, ISBN 0 7506 6168 2.
- Hufnagel W. (1992), *Manual del Aluminio*. Coca P (Versión en español), Company-Bueno J (Revisor). 2ª Edición. Barcelona: Editorial Reverté. 1992 Reimpresión 2004. 1133p. ISBN 84- 291-6011-6. Logan DL. (2007), *A first course in the finite element method*. 4º edición, Ed. Nelson, a division of Thomas Canada Limited. 2007. 826p. ISBN: 0-534-55298-6.
- Marwala T. (2010), *Finite Element Model Updating Using Computational Intelligence Techniques: Applications to Structural Dynamics*. Springerlink. London: Springer-Verlag. 2010. 254p. ISBN 978-1-84996-322-0. (doi: 10.1007/978-1-84996-323-7)

Marwala T. (1997), *A multiple criterion updating method for damage detection on structures*.

University of Pretoria-Thesis. 1997.

Mott RL. (1996), *Resistencia de materiales aplicada*. 3ª edición. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., ISBN 9688808016.

Mthembu, L., Marwala, T., Friswell, et al. (2011), “Model selection in finite element model updating using the Bayesian evidence statistic”. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 25 p. 2399-2412. (doi:10.1016/j.mssp.2011.04.001).

Stefanou G. (2008), “Review. The stochastic finite element method: Past, present and future”.

*Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Vol. 198 p. 1031-1051. (doi: 10.1016/j.cma.2008.11.007).

Vélez W, Gómez D, Thomson P. (2009), “Finite element model updating”. *Dyna*. Medellín, Junio de 2009. Vol. 76-158, p. 177 – 189. ISSN 0012 – 7353.

Wenhui M. (2010), “Stochastic finite element for structural vibration”. *Mathematical Problems in Engineering*. Vol. 2010 p. 1-19. Article ID 584863. (doi: 10.1155/2010/584863)

Xiao NC, Huang HZ, Wang Z, et al. (2011), “Reliability sensitivity for structural systems in interval probability form”. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Noviembre 2011. Vol. 44-5 p. 691-705. (doi: 10.1007/s00158-011-0652-9).

Yabushita M, Goda T, Ono Y, et al. (2008), “ valuation of Young’s modulus of high stiffness aluminium die cast alloys using nanoindentation technique”. *International Journal of Cast Metals Research*. (2008). Vol. 21-1 p. 180 – 185. (doi: 10.1179/136404608X361918)

Yang Q, Gao C, Chen W. (2009), “Stress analysis of a functional graded material plate with a circular hole”. *Archive of Applied Mechanics*. Vol. 80-8 p. 895 – 907. (doi:10.1007/s00419- 009-0349-3).

Zienkiewicz OC, Taylor RL, Zhu JZ, (2009), *El método de los elementos finitos*, Volumen 1, las bases. Bugada G, Cervera M, Oñate E (traductores). 6ª edición, Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería CIMNE. 2009. 914p. ISBN 9788496736719.

## **Modificación de un helicóptero radiocontrolado de ala rotativa hasta convertirlo en un UAV, empleando ingeniería inversa**

José Contreras, Carlos Guízar

J. Contreras, C. Guízar  
Instituto Tecnológico de Morelia  
josecontrerasna@gmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Weather monitoring, search and rescue, aerial photographs and even crime fighting are tasks that in the moment to solve them bring risks, complications and high costs for human. That is one of the most important reasons to look for practical solutions to can solve those tasks. One solution that has been grow up since some years ago is the applications of Unmanned Aerial Vehicles because decrease the principal risks and also the high cost for human. In this research has been proposed the development of UAV with low costs, modifying a radio controlled helicopter using in recreational task.

## 9 Introducción

Primero es fundamental establecer la diferencia entre un vehículo aéreo radio controlado y un vehículo aéreo no tripulado. Acorde con los estándares internacionales se pueden definir ambos vehículos como:

Vehículo aéreo radio controlado: Se define como un dispositivo electrónico, capaz de volar a determinada distancia, con fines en la práctica del aerodelismo [1].

Vehículo Aéreo no Tripulado: Aeronave de control automático, empleada en actividades que implican riesgos para el hombre si este las resolviera directamente [2].

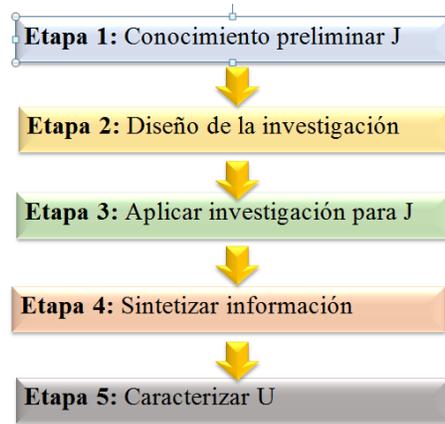
Hoy en día los UAVs suelen combinar control remoto y un sistema de automatización, la mayoría de los UAVs no son autónomos por completo, de hecho el ámbito de la autonomía del vehículo del aire es un campo emergente recientemente, y se ha detectado como área de oportunidad para aplicaciones bélicas.

Una vez definido el concepto de UAV y sus principales características, funciones y hasta los países que tienen un desarrollo importante en este campo. Es momento de establecer el procedimiento de modificación y mejora para convertir el “juguete” en “UAV” para ello será necesario seguir una metodología basada en soporte técnico que sustente las mejoras basadas en la normativa internacional, por lo que se aplicará una técnica conocida Reverse Engineering (Ingeniería Inversa por sus siglas en Inglés); enseguida se darán algunas definiciones de dicha técnica con la finalidad de entender la estructura que la conforma.

La Ingeniería Inversa es el proceso de rediseñar un sustituto el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso Ingeniería Inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar, se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación no están disponibles [3].

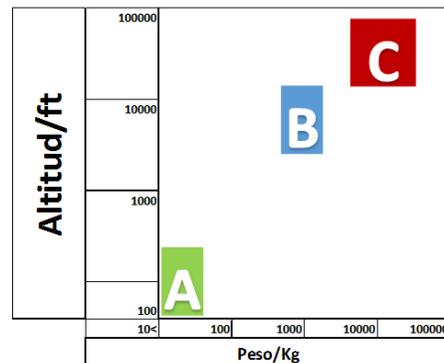
La Ingeniería Inversa puede considerarse como un proceso de sistematización, esto es un proceso que pone de manifiesto o explícita las relaciones objetivas entre los elementos y las relaciones que hacen posible la existencia de un objeto para posteriormente construir un modelo de dicho objeto [4].

Una vez que se conoce el concepto de un UAV y las definición y estructura de la Ingeniería Inversa, se procederá a realizar el proceso de mejora y modificación mediante las siguientes fases:

**Figura 9** Fases de la modificación y mejora del objeto seleccionado

### 9.1 Métodos

Acorde con la EASA, existe 3 categorías donde son clasificados los tipos de UAVs, mostrados en la siguiente figura

**Figura 9.1** Clasificación de los UAVs según la normativa de la EASA [5]

Categoría A: UAVs de aplicaciones civiles. Altura mínima: 30 metros, Masa: menor a 1kg.

Categoría B: UAVs de aplicaciones militares. Altura mínima: 1500 metros. Masa: 1000 kg.

Categoría B: UAVs de aplicaciones militares. Altura mínima: 30 KM. Masa: Mayor a 1000 kg.

El desarrollo de este proyecto cae en la categoría A, por cuestiones de tiempo, recursos y tecnología disponible

#### Etapa 1: Conocimiento Preliminar de J

Para realizar las mejoras y modificaciones se realizó experimentación con helicópteros.

**Figura 9.2-** Del lado izquierdo se aprecia la vista frontal del modelo seleccionado, del lado derecho se aprecia la vista lateral



El vehículo H1 cuenta con las siguientes características según su fabricante: † Dimensiones: Largo 780 mm. ancho: 440 mm, alto 275 mm.

- Gran tamaño, de muy fácil visibilidad en exteriores. † Estructura coaxial, extremadamente estable.
- 3 canales con giro.
- Muy sencillo de manejar. Control de giro, luces desde la emisora. † Con dos modos de manejo, lento y rápido
- Sistema de vídeo en 2.4 Ghz. con 3 canales seleccionables

Para dar inicio con las modificaciones necesarias, ahora será indispensable conocer las potencias que H1, para ello es necesario determinar la velocidad angular de los rotores.

como referencia y debido a que el sistema de transmisión de dicha aeronave consta de cuatro engranes, con las siguientes características

**Tabla 9** Descripción de cada uno de los engranes que componen el sistema de transmisión para el modelo H1

Engrane 1	Engrane 2	Engrane 3	Engrane 4
			
Dientes:10	Dientes:30	Dientes:25	Dientes:94
Diámetro:0,5 cm	Diámetro:2 cm	Diámetro:1,2 cm	Diámetro:4,75 cm
Espesor: 0,5 cm	Espesor:0,23 cm	Espesor: 0,5 cm	Espesor: 0,32 cm

**Figura 9.3** Del lado izquierdo se aprecia la vista frontal del modelo seleccionado, del lado derecho se aprecia la vista lateral



Las características de este helicóptero son las siguientes según su fabricante:

- Dimensiones: Largo: 790 mm. Ancho: 535 mm, Alto: 275 mm
- Estructura coaxial, con alta estabilidad
- 3 canales con giro.
- Altura de vuelo: 50 metros  $\pm$  Rango de control: 100 metros
- Ideal para exteriores sin viento.  $\pm$  Batería de 7.4 Volts y 1300 mA  $\pm$  Autonomía: 15-20 minutos

Para este vehículo se emplearán las ecuaciones 1 y 2, con base en especificaciones del fabricante el motor principal gira a 13000 rpm con cuatro engranes en cada motor con las siguientes características:

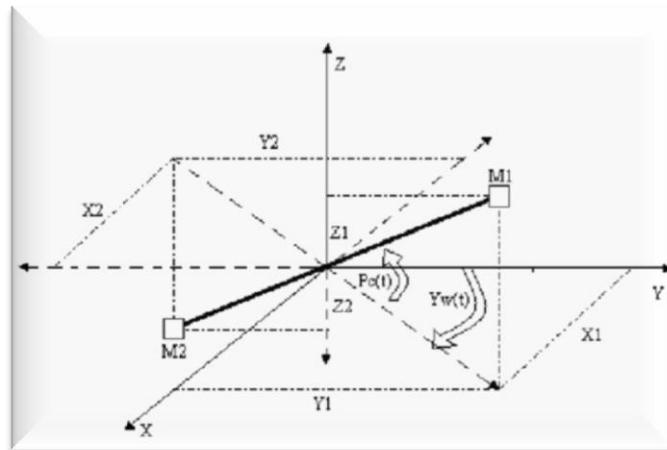
**Tabla 9.1** Descripción de cada uno de los engranes que componen el sistema de transmisión para el modelo H1

Engrane 1	Engrane 2	Engrane 3	Engrane 4
			
Dientes:9	Dientes:38	Dientes:23	Dientes:94
Diámetro:0,6 cm	Diámetro:1,9 cm	Diámetro:1 cm	Diámetro:4,73 cm
Espesor: 0,6 cm	Espesor:0,2 cm	Espesor: 0,7 cm	Espesor: 0,4 cm

## Etapa 2: Diseño de la investigación

A continuación se plantea el desarrollo del modelo matemático para helicópteros tomados como base, utilizando las ecuaciones de Lagrange. En la figura desarrollada se observan las fuerzas generalizadas que actúan sobre el sistema, es decir el helicóptero, M1 representará la concentración de la masa en la parte frontal del helicóptero y M2 representa la masa de la parte posterior del helicóptero. L1 y L2 son representados como la distancia entre el eje de apoyo y cada masa respectivamente. Se considera que todos los parámetros considerados son aplicables a ambas aeronaves [6].

En la siguiente figura se muestran las coordenadas generalizadas necesarias para plantear las ecuaciones de Lagrange. Es importante tener en cuenta el sentido positivo de cada uno de los ángulos tal y como se muestran en las flechas

**Figura 9.4** Coordenadas generalizadas del sistema [7]

Acorde a la imagen anterior se obtienen las coordenadas necesarias para establecer la Lagrangiana del sistema dicha ecuación es formada de la diferencia entre la energía cinética y la energía potencial.

### Determinación de las Potencias del vehículo

Para determinar las potencias que influyen en el helicóptero, es necesario conocer las características que lo conforman, a continuación se muestra las características necesarias de cada vehículo:

**Tabla 9.2** Principales criterios a considerar para determinar las potencia del modelo H1 Y H2 de forma teórica y práctica

#### HELICÓPTEROS

CRITERIO	MAGNITUD	
	H1	H2
Velocidad angular del rotor ( $\Omega$ )	868 RPM	875 RPM
Diámetro del rotor ( $D_r$ )	0,44 m	0,53 m
Perfil de las palas	Cambered plate	Cambered plate
Número de palas (b)	2 por rotor	2 por rotor
Masa del helicóptero (m)	0,550 kg	0,564 kg
Densidad ( $\rho$ )	1,222 Kg/m <sup>3</sup>	1,222 Kg/m <sup>3</sup>
Velocidad del aeronave (V)	1,8 m/s	2 m/s

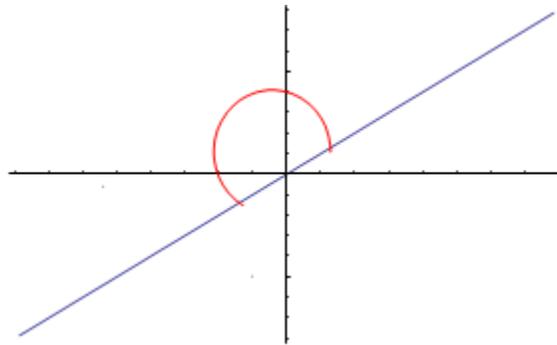
### Etapa 3: Aplicar investigación para J

Para obtener la ecuación que rige el movimiento del H1 se plantean las siguientes condiciones iniciales del mismo

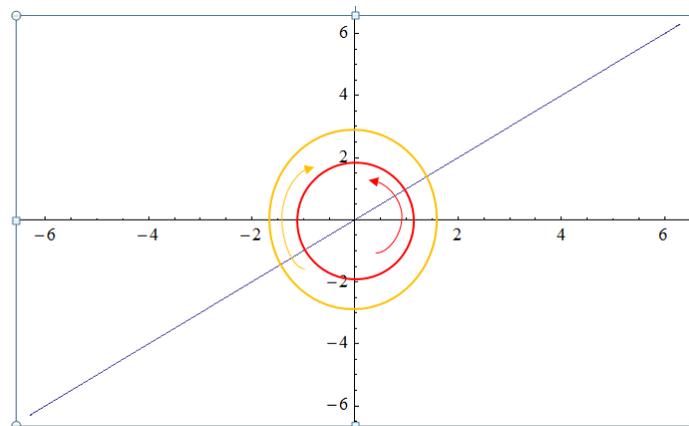
**Tabla 9.3** Condiciones del helicóptero a usar en el software para obtener la ecuación gobernante

H1	
MASA 1	MASA 2
<b>Peso:</b> 0.500 kilogramos	<b>Peso:</b> 0.050 kilogramos
<b>Longitud 1:</b> 0.29 metros	<b>Longitud 2:</b> 0.50 metros
<b>Tiempo:</b> 720 segundos	<b>Tiempo:</b> 720 segundos

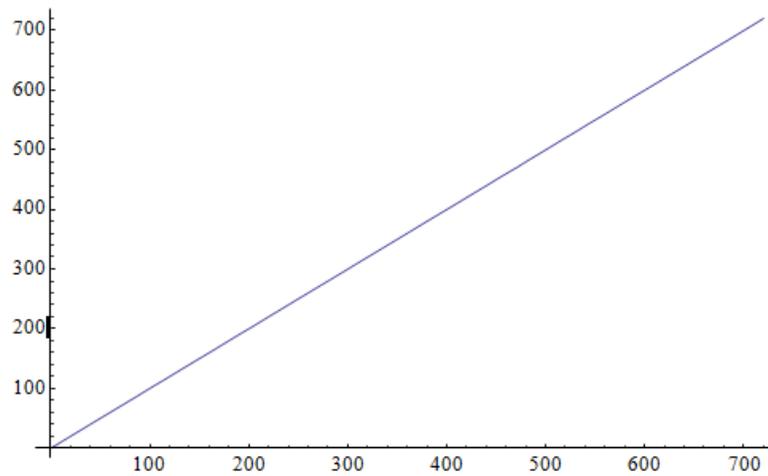
**Figura 9.5** Comportamiento del helicóptero 1 con respecto al ángulo de cabeceo, se aprecia en el círculo rojo que con un ángulo de  $-45^\circ$  se llega a su mejor ángulo de ataque



**Figura 9.6** Comportamiento del helicóptero 1 con respecto al ángulo de giro, la línea roja indica el giro positivo ( $360^\circ$ ) y la línea amarillo el giro negativo ( $-360^\circ$ )



**Figura 9.7** Comportamiento del tiempo del helicóptero 1 con una autonomía máxima de 720 segundos



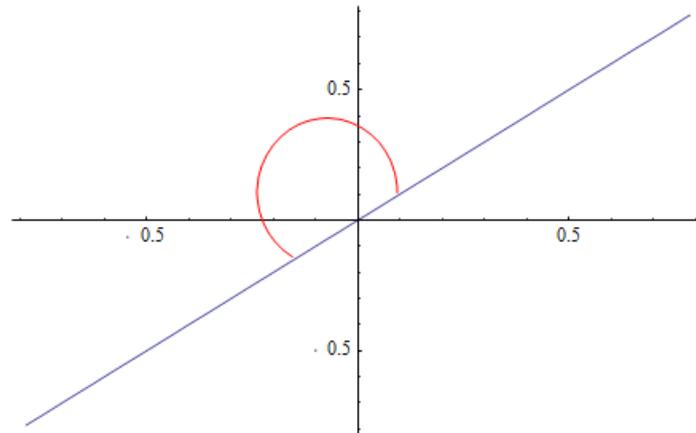
Ahora es tiempo de validar el comportamiento del helicóptero 2, a continuación se presentan sus características:

**Tabla 9.4** Condiciones del helicóptero a usar en el software para obtener la ecuación gobernante

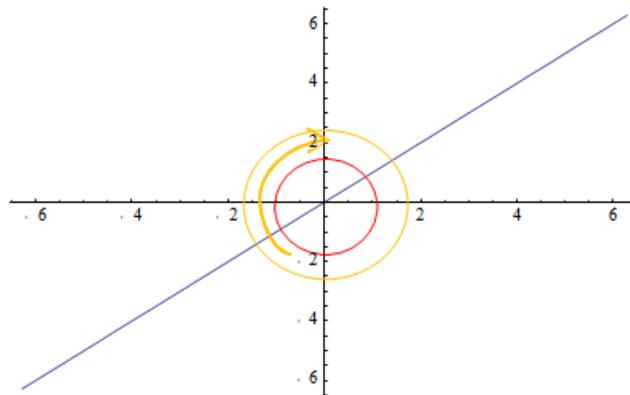
<b>H2</b>	
<b>MASA 1</b>	<b>MASA 2</b>
<b>Peso:</b> 0.500 kilogramos	<b>Peso:</b> 0.064 kilogramos
<b>Longitud 1:</b> 0.20 metros	<b>Longitud 2:</b> 0.45 metros
<b>Tiempo:</b> 1200 segundos	<b>Tiempo:</b> 1200 segundos

Los resultados del comportamiento del helicóptero 2, acorde al software computacional son los siguientes:

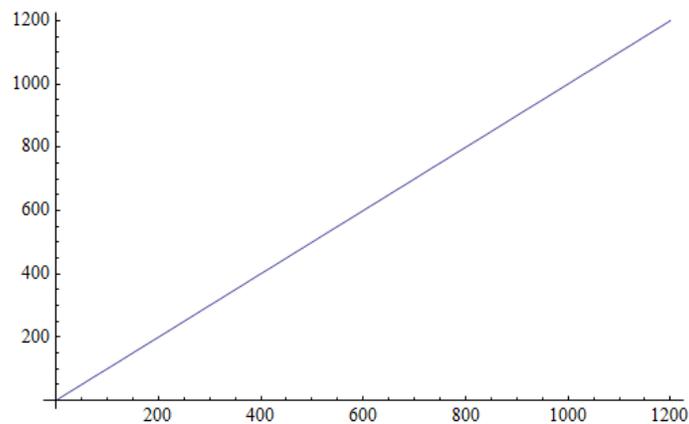
**Figura 9.8** Comportamiento del helicóptero 1 con respecto al ángulo de cabeceo, se aprecia en el círculo rojo que con un ángulo de  $-45^\circ$  se llega a su mejor ángulo de ataque



**Figura 9.9** Comportamiento del helicóptero 1 con respecto al ángulo de giro, la línea roja indica el giro positivo ( $360^\circ$ ) y la línea amarillo el giro negativo ( $-360^\circ$ )



**Figura 9.10** Comportamiento del tiempo del helicóptero 1 con una autonomía máxima de 720 segundos



Para ambos helicópteros puede apreciarse que el comportamiento de los ángulos de cabeceo y giro son los mismos, sin embargo, para el helicóptero 2, la batería está hecha a base de litio, material que ayuda la durabilidad de la misma y un mejor rendimiento.

#### Etapa 4: Sintetizar la información

Una vez conocidas las condiciones de funcionamiento de ambos helicópteros es necesario conocer lo establecido por la normativa internacional y a su vez dar inicio con las mejoras necesarias para la conversión de vehículos con características similares y dejar fundamentada la propuesta metodológica de modificación.

Para dar una idea más concreta de los motivos por los cuales fueron determinadas las potencias de cada uno de los helicópteros, se tomará en cuenta lo establecido por la EASA en la siguiente tabla:

**Tabla 9.5** Energía cinética y velocidad máxima alcanzable para los UAV, acorde a su masa según la EASA

Masa	Vmax	Vmax	Energía		Masa	Vmax	Vmax	Energía
Kg	nudos	(m/s)	Cinética		Kg	nudos	(m/s)	Cinética
			Máxima					Máxima
			(KJ)					(KJ)
60	70	50	76		80	68	49	95
70	70	50	89		90	64	46	95
75	70	50	95		110	58	41	95

Los helicópteros con los que se está trabajando rondan los 500 gramos de peso para ello, será necesario adaptar lo mínimo necesario que establece la EASA acorde con las facultades de cada uno de los vehículos; por lo tanto se establece lo siguiente

#### Velocidad máxima

**Tabla 9.6** Tabla comparativa acorde a estándares de la EASA para velocidad.

	Masa	Velocidad
		max
EASA	0,5 kg	0,42 m/s
H1	0,550 kg	1,8 m/s
H2	0,564 kg	2 m/s

## Energía cinética

**Tabla 9.7** Tabla comparativa acorde a estándares de la EASA para energía cinética.

	<i>Masa</i>	<i>Energía Cinética</i>
<i>EASA</i>	<i>0,5 kg</i>	<i>0,63 KJ</i>
<i>H1</i>	<i>0,550 kg</i>	<i>0,891 KJ</i>
<i>H2</i>	<i>0,564 kg</i>	<i>1,128 KJ</i>

Se aprecia claramente que ambos helicópteros superan la velocidad y energía cinética solicitada por la EASA, por lo tanto se está cumpliendo con dos variables, y únicamente se necesita dar capacidad a H1 y H2 para realizar tareas y lograr la conversión de juguete a UAV.

## Etapa 5: Caracterizar U

Hasta el momento se ha desarrollado el modelo matemático tanto para H1 y para H2, dando como resultado según la normativa de la EASA que ambos helicópteros cumplen con los parámetros necesarios.

**Tabla 9.8** Asignación de tareas a cada categoría de UAV

Tarea	Categoría A	Categoría B	Categoría C
Inspección Visual	■	■	■
Monitoreo del clima	■		
Vigilancia		■	■
Control fronterizo		■	■
Monitoreo de estructuras	■	■	
Comunicación móvil		■	■
Localización		■	■
Observaciones Terrestres			■

El UAV a desarrollar es capaz de monitorear el clima, esta tarea fue seleccionada debido a que se cuenta con los medios, la tecnología, y el tiempo para lograr la conversión de J hasta H. Para alcanzar el objetivo se está trabajando en adatar un circuito en H1 y H2 que tenga la capacidad de enviar la señal vía wireless a una mini estación terrena y que a su vez esta interpreta dicha información.

## 9.2 Resultados

Después de aplicar el modelo matemático a cada uno de los helicópteros seleccionados, se pudieron determinar las propiedades que poseen, se observa que ambos tienen lo mínimo necesario para lograr la conversión en UAV.

La tabla siguiente enlista las características de cada uno de los helicópteros seleccionados:

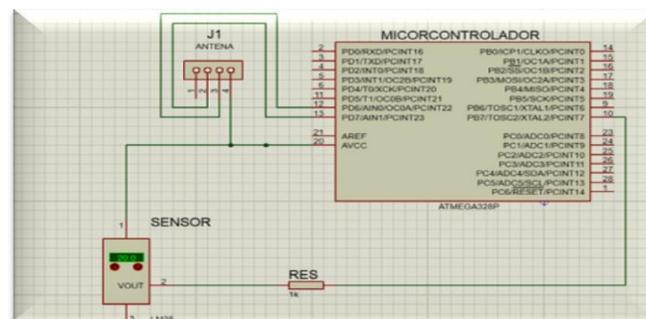
**Tabla 9.9** Características físicas de los helicópteros tomados como referencia

No.	Características	Helicóptero 1(H1)	Helicóptero 2(H2)
1	Masa	0,550 kg	0,564 kg
2	Peso	5,3995 N	5,5328 N
3	Vel. Rotor	19,99 m/s	24,255 m/s
4	Vel. Helicóptero	1,8m/s	2m/s
5	P. Inducida*	0,0740 hp	0,064 hp
6	P. Perfil*	0,1368 hp	0,1646 hp
7	P. Inducida	1,4597 hp	2,6802 hp

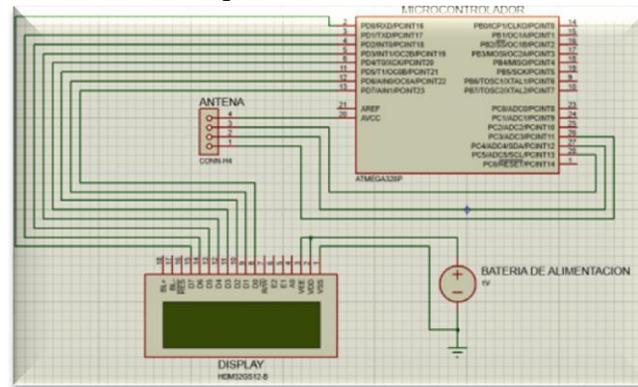
Además de ser montado en H1 y H2 en la estación terrena se usan los mismos aditamentos para hacer la recepción de señales.

Dichos circuitos fueron corroborados con el apoyo de un software computacional conocido como PROTEUS, los resultados fueron positivos, a continuación se muestran los esquemas de los circuitos tanto para H1 y H2 como para la estación terrena.

**Figura 9.11** Ilustración esquemática del circuito en la simulación virtual de los aditamentos implementados en el H1 y H2



**Figura 9.12** Ilustración esquemática del circuito de la estación terrena.



Acorde a los resultados del software computacional, el circuito funciona adecuadamente y es posible adaptarlo en la estructura del helicóptero, tarea en la cual ya se trabaja.

## 9.2 Conclusiones

El desarrollo y construcción de un Vehículo Aéreo no Tripulado trae consigo factores a considerar, con lo antes descrito se demostró que apegados a la normativa internacional ambos modelos de helicópteros pueden ser transformados en UAV. Sin embargo la tarea a la cual serán asignados puede variar, dependiendo de lo que se pretenda encontrar con esto.

Para el futuro se continuará realizando investigación por esta misma línea; se tiene la intención de lograr el desarrollo de tareas cada vez más complejas, con UAV más sofisticados y con mejor tiempo de respuesta.

A nivel mundial existen 2 principales agencias cuyas tienen una reglamentación más exacta en el desarrollo de vehículos Aéreos no Tripulados, sin embargo, en ambas se pueden encontrar lagunas pero si un seguimiento sistemático para desarrollar los mismos.

Con la metodología descrita en esta investigación si es posible transformar un vehículo radiocontrolado en un UAV acorde a la normativa de la EASA; pero para desarrollarlo es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Alcance.
- Techo de servicio Maniobrabilidad  $\updownarrow$  Autonomía de la aeronave
- Estructura de la misma

Considerando esos cuatro aspecto es viable lograr la modificación de vehículos radiocontrolados de ala rotativa.

## 9.6 Referencias

FAE. *Reporte sobre drones de la Real Federación de Aeronáutica Española*. 2009; Available from: <http://www.rfae.org/>

FAA., A.F.d.A. *Report of Federal Aviation Administration*. 1958; Available from: <http://www.faa.gov/>

Bastida, R.L., *"La Ingeniería Inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología"*. Simposio Internacional de Metrología, 2010: p. 1-6

Bastida, R.L., *"Aplicación de la ingeniería inversa y manufactura asistida por computadora en un contexto educativo"*. Memorias del XIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM y Congreso Internacional de Metal Mecánica, 2010: p. 311-119.

Aérea., A.E.d.S. *Report EASA*. 2012; Available from: <http://easa.europa.eu/>

Roca, C. F. (2008). *"Introducción a la formulación Lagrangiana y Hamiltoniana"*. Valencia, España: Universidad de Valencia, Open Course Ware.

García, R. G. (2007). *"Análisis de la dinámica de vuelo de un minihelicóptero de diseño y construcción nacional"*. México, Distrito Federal: Instituto Politecnico Nacional.

Luis Jesús Chavela Guerra, O. C. (2006). *"Cinemática de un sistema Coaxial Contrarotativo"*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional

## **Módulos de elasticidad y de ruptura de tres maderas angiospermas mexicanas**

Mariana Ramírez y Javier Sotomayor

M. Ramírez y J. Sotomayor  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
madera999@yahoo.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The Designer and Engineer who work with wood require physical-mechanical characteristics and indicators to orient the manufacture and performance of products and structures of this material. This research had the objective of determining the material indices of elasticity and flexural strength, both derived from static bending tests. For this, wood of tropical species from temperate weather was used: *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. and *Platymiscium dimorphandrum*. Previously, the density, moisture content, modulus of elasticity and modulus of rupture, were determined in normalized specimens of the three wood species in study. The results of the ANOVA analysis established that there is a statistically significant difference between the means of the three variables analyzed from the three species, with a confidence level of 95 %. This result suggests that the density and the moduli MOE and MOR are different from and to each of the three species.

## 10 Introducción

El diseño ingenieril con madera demanda cualidades específicas de las propiedades físicas de este material. Estos requisitos se expresan, por ejemplo, como baja densidad, alta elasticidad y conveniente resistencia mecánica. Con el objeto de solucionar estos requerimientos, se procede inicialmente a separar y clasificar un repertorio de materiales, en este caso un inventario de especies de maderas, que posean características físico-mecánicas específicas que las catalogue candidatas para satisfacer el proyecto de diseño (Ashby, 2003). Los aspectos relacionados a la disponibilidad del material, a los costos de manufactura y a la apreciación estética y comercial de la madera, los cuales son también de vital importancia en diseño, no se discutirán, dado que van más allá del alcance de esta investigación.

Dado el amplio espectro de la biodiversidad en México, esta primera selección de especies puede ser muy amplia. Para acotarla, se proponen límites a las propiedades, lo cual resulta en una segunda selección de maderas que satisfacen de forma cada vez más precisa los requerimientos de diseño. Finalmente, la selección se optimiza clasificando las especies preseleccionadas de acuerdo a su capacidad para maximizar su rendimiento.

El rendimiento de un material no está limitado solamente por una sola propiedad, sino por una combinación de varias. Estas combinaciones de parámetros son nombradas índices materiales, propiedades que cuando se maximizan, optimizan el rendimiento de un componente de ingeniería, en este caso, actuando en un sistema estructural. En el ámbito de la tecnología de la madera, un componente actuando en un sistema estructural, puede tratarse desde una pieza de un mueble, hasta un sistema estructural que soporte una edificación, pasando por tableros compuestos de madera reconstituída, maderas de ingeniería como lo son las vigas laminadas de madera, y viguetas con perfiles diseñados para aumentar su rigidez y al mismo tiempo disminuir su peso.

Una traviesa funcionando como elemento estructural en una edificación y solicitada principalmente en tensión a lo largo de su eje principal, requiere, por ejemplo, un valor alto en la relación rigidez- peso, la cual puede ser expresada por el módulo de elasticidad específico, que es definido por la relación,  $E/\rho$  donde  $E$  es el módulo de Young y  $\rho$  es la densidad. Para el caso de una viga resistiendo cargas en la dirección transversal a su eje principal, es decir, trabajando en flexión, el módulo de Young es sustituido por el módulo de elasticidad en flexión (MOE) y se habla del índice material de elasticidad (Imoe).

Otro ejemplo es el de una viga portante, cuyo diseño requiere un valor igualmente alto para la relación módulo de ruptura (MOR) versus su peso relacionado directamente con su densidad:  $MOR/\rho$ . Esta combinación de características se define como módulo de ruptura específico, el cual también se puede especificar como el índice material de resistencia en flexión.

Cada índice material es idóneo según la función, el objetivo y las restricciones prescritas por los criterios de diseño. La función de un componente responde a la pregunta ¿Qué hace el componente? Por ejemplo, ¿Soporta cargas o resiste esfuerzos? El objetivo se refiere al cuestionamiento de qué debe ser maximizado o minimizado: debe ser ligero y/o resistente, además de seguro. Las restricciones resuelven las incógnitas para definir las condiciones de seguridad y/o estabilidad que son deseables, y si es recomendable modificarlas. Por ejemplo, la viga no puede tener una relación de esbeltez mayor que 4 a 1 y al mismo tiempo una densidad superior a  $500 \text{ kg/m}^3$ , sean estos requisitos de diseño o de normatividad. La función, el objetivo y las restricciones definen, en el caso de un elemento estructural, los requerimientos límite para la selección de un material y la forma de su sección transversal.

De acuerdo con Ashby (2003), el índice material es la combinación de propiedades materiales que caracteriza su rendimiento para una aplicación prescrita. Un componente estructural realiza la función física de soportar cargas y de la misma forma, satisface requerimientos funcionales. Estos requerimientos funcionales son especificados por el proyecto de diseño: una viga debe soportar deformaciones de flexión, una columna debe soportar cargas axiales, una placa está sometida a deformaciones ocasionadas por esfuerzos de torsión, etcétera.

El diseño de un elemento estructural es específico a tres criterios: los requerimientos funcionales, la geometría y las propiedades del material del cual está hecho. De tal forma que la ecuación (1) (Ashby, 2003) describe el rendimiento del componente:

$$P \geq F, G, M$$

Donde:

- p = Rendimiento del componente
- F = Requerimientos funcionales
- G = Parámetros geométricos
- M = Propiedades materiales

En la ecuación (1), p describe algún aspecto del rendimiento del componente, por ejemplo, su masa, su volumen o su costo, y f se refiere a que es una “función de”, que “depende de”. El diseño óptimo es la selección del material y de la geometría que maximiza o minimiza p.

Los tres grupos de parámetros en la ecuación (1) son separables si esta se escribe:

$$p \geq F(G, M)$$

En la ecuación (2),  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  son funciones separables y pueden ser multiplicadas.

Cuando los grupos  $f(\cdot)$  son separables, la selección óptima de un material es independiente de los detalles del diseño, y esto aplica para cualquier geometría G y para todos los valores de los requerimientos funcionales F.

De tal forma, que el subconjunto de materiales candidatos posibles a resolver el diseño, en este caso las especies de maderas disponibles, puede ser identificado sin resolver el problema completo de diseño, o incluso, sin conocer todos los detalles de F y G.

Esta argumentación permite una enorme simplificación: el rendimiento de F y G se optimiza si se maximiza  $f_3(M)$ , lo que define un coeficiente de eficiencia también llamado índice material. Por contraste, las partes remanentes señaladas en la ecuación (2)  $f_1(F)$  y  $f_2(G)$ , se especifican como coeficientes de eficiencia estructural o índices estructurales. Cada combinación de función, objetivo y restricciones de un proyecto de diseño conducen a un índice material, el cual es una característica de dicha combinación.

La argumentación precedente, puede ser adaptada al material madera. Y la diversidad de materiales para el diseño de un producto en específico puede ser transpuesta a la selección de las especies de madera disponibles para el diseño de productos y estructuras de madera. Ésta es la hipótesis de trabajo de la investigación.

En México, existen bases de datos de características físicas y mecánicas de especies de maderas endémicas, esta información forma el cuerpo de conocimientos en ciencias y tecnología de la madera del país. Estas compilaciones reportan resultados experimentales (Torelli, 1982; Sotomayor-Castellanos, 2005; Silva-Guzmán y col. 2010 y 2012; Tamarit-Urias y López-Torres, 2007; Tamarit-Urias y Fuentes-Salinas, 2003) y otras presentan datos estimados empleando modelos teóricos de predicción (Hernández-Maldonado y Sotomayor-Castellanos, 2013). Complementando, Sotomayor-Castellanos, Guridi-Gómez y García-Moreno (2010); Sotomayor-Castellanos, Ramírez-Pérez y Suárez-Béjar (2013); Sotomayor-Castellanos, Banda-Cervantes, Ramírez-Pérez y Suárez Béjar (2013); Sotomayor-Castellanos, Reyes-Rodríguez, Rincón-González y Suárez-Béjar (2013), presentan características físico-mecánicas e índices materiales de maderas mexicanas determinados con métodos no destructivos: ultrasonido, ondas de esfuerzo y vibraciones. Durante la revisión bibliográfica, no se encontraron datos sobre índices materiales de maderas mexicanas derivadas de pruebas de flexión estática.

Considerando que el Diseñador y el Ingeniero en Tecnología de la Madera requieren de información de índices materiales de la madera para diseñar y calcular componentes estructurales que trabajan en flexión, esta investigación tuvo por objetivo determinar los índices materiales de elasticidad y de resistencia en flexión, ambos derivados de ensayos en flexión estática.

Para ello, se empleó madera de las especies gimnospermas: *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. Para lograr este propósito, previamente se determinó la densidad, el contenido de humedad, el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura, en probetas normalizadas de las tres maderas en estudio.

## 10.1 Materiales y métodos

A partir de piezas de madera aserrada de *Cedrela odorata* (Cedro rojo), *Quercus* spp. (Encino) y *Platymiscium dimorphandrum* (Hormiguillo), se recortaron al azar 32 probetas normalizadas de cada especie según la norma ISO 3129:2012 (ISO, 2012). Las probetas fueron almacenadas durante 24 meses en una cámara de acondicionamiento con una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire de 65 %, hasta lograr un peso constante.

Las dimensiones de las probetas fueron de 20 mm x 20 mm de sección transversal, por 320 mm de longitud, orientadas respectivamente en las direcciones radial, tangencial y longitudinal con respecto al plano leñoso. Las probetas se elaboraron solamente con madera de albura y se revisó que estuviesen libres de anomalías de crecimiento y de madera de duramen. Para cada probeta, se evaluó el contenido de humedad de la madera por el método de diferencia de pesos y se determinó la densidad básica de la madera.

El contenido de humedad de la madera se calculó con la fórmula (3) (Haygreen y Bowyer, 1996):

$$H = \frac{W - w}{w} \cdot 100 \quad (10)$$

Donde:

- CH = Contenido de humedad de la madera (%)
- wS = Peso de la probeta en estado saturado de agua (kg)
- wA = Peso de la probeta en estado anhidro (kg)

La densidad básica de la madera se calculó con la fórmula (4) (Haygreen y Bowyer, 1996):

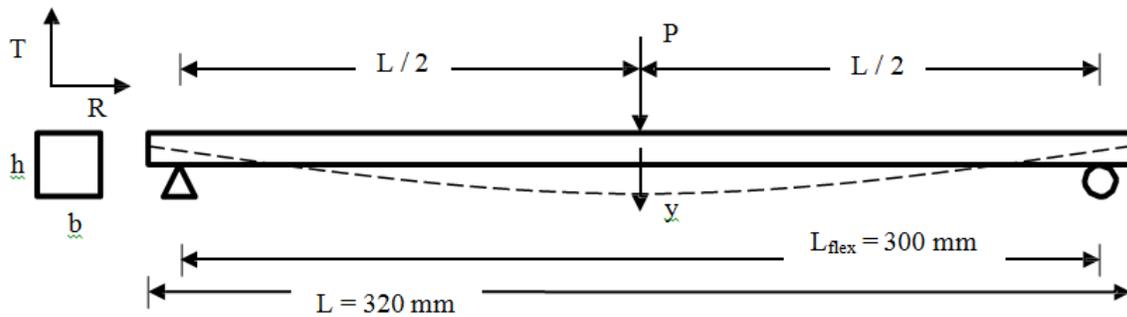
$$\rho_0 = \frac{w}{V_S} \quad (10.1)$$

Donde:

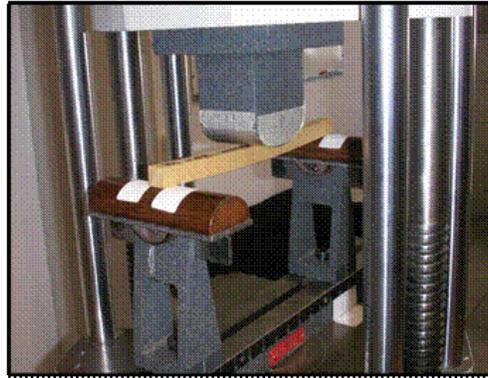
- $\rho_0$  = Densidad básica de la madera (kg/m<sup>3</sup>)
- wA = Peso de la probeta en estado anhidro (kg)
- V<sub>S</sub> = Volumen de la probeta en estado saturado de agua (m<sup>3</sup>)

Las pruebas de flexión estática consistieron en solicitar a la probeta en medio de su portada de flexión con una velocidad promedio de 0.002 mm/s hasta la ruptura (Figura 1). Para tal fin, se utilizó una máquina universal de ensayos mecánicos *Tinius Olsen*®. La Figura 10.1 presenta la configuración del ensayo en la máquina universal. Los parámetros que se midieron fueron la carga y la deformación (Figura 10.1). La pendiente  $\Delta P/\Delta y$  se midió en el intervalo elástico de 600 a 1,100 N, correspondiente aproximadamente al 50 % al interior del dominio lineal de la relación carga- deformación.

**Figura 10.** Configuración de las pruebas de flexión estática. P: Carga, L: Largo de la probeta en la dirección longitudinal, L<sub>flex</sub>: Portada entre apoyos, b: base de la probeta, a: altura de la probeta, R: Dirección radial, T: Dirección tangencial.



**Figura 10.1** Fotografía de un ensayo de flexión estática.



El módulo de elasticidad se calculó con la fórmula (5) (Bodig y Jane, 2008):

$$\text{MOE} = \frac{\Delta P}{\Delta y} \frac{L_{\text{flex}}^3}{48 I} \quad (10.2)$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad (Pa)

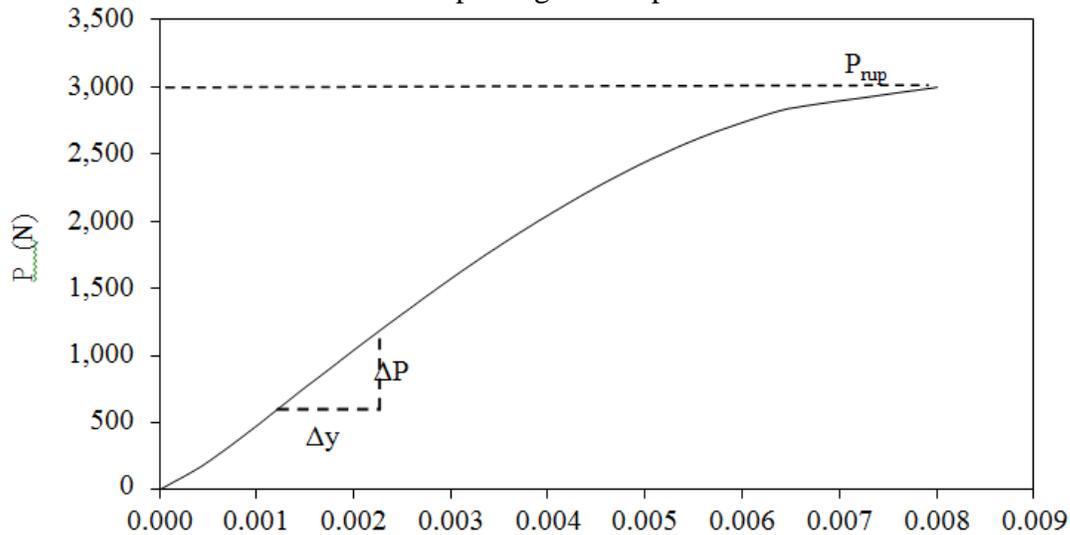
$\Delta P$  = Intervalo de carga en el dominio elástico (N)

L<sub>flex</sub> = Distancia entre apoyos (m)

$\Delta y$  = Intervalo de deformación en el dominio elástico (m)

I = Segundo momento de inercia de la sección transversal (m<sup>4</sup>)

**Figura 10.2.** Diagrama carga-deformación de una probeta de *Quercus* spp. P: Carga, y: deformación,  $\Delta P$ : Intervalo de carga en el dominio elástico,  $\Delta y$ : Intervalo de deformación en el dominio elástico,  $P_{rup}$ : Carga a la ruptura.



El módulo de ruptura se calculó con la fórmula (6) (Bodig y Jane, 2008):

$$MOR = \frac{3}{2} \frac{P_{rup} L_{flex}}{b h^2} \quad (10.3)$$

Donde:

- MOR = Módulo de ruptura (Pa)
- $P_{rup}$  = Carga a la ruptura (N)
- $L_{flex}$  = Portada entre apoyos (m)
- b = Base de la probeta (m)
- h = Altura de la probeta (m)

El índice material de elasticidad se calculó con la fórmula (7) (Ashby, 2003):

$$Imoe = \frac{\sqrt{MOE}}{\rho_0} \quad (10.4)$$

Donde:

- Imoe = Índice material de elasticidad (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)
- MOE = Módulo de elasticidad (Pa)
- $\rho_0$  = Densidad básica (kg/m<sup>3</sup>)

El índice material de resistencia en flexión se calculó con la fórmula (8) (Ashby, 2003):

$$Mf = \frac{\sqrt[2]{MOR^3}}{\rho_n} \quad (10.5)$$

Donde:

Mf = Índice material de resistencia en flexión (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

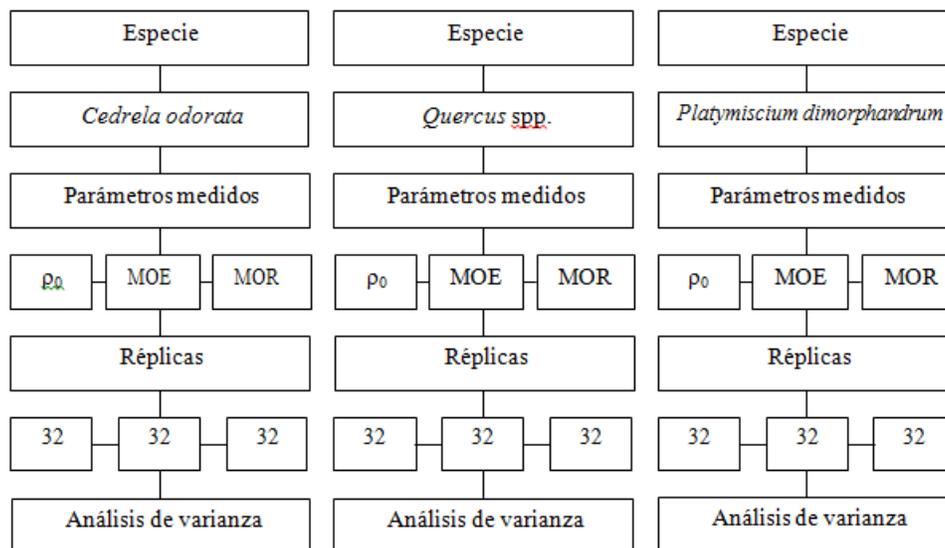
MOR = Módulo de ruptura (Pa)

ρ<sub>0</sub> = Densidad básica (kg/m<sup>3</sup>)

## Diseño experimental

Se diseñó un experimento siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar (2012). Para cada especie, se realizó un análisis de varianza para los parámetros densidad, módulo de elasticidad y resistencia a la ruptura. Para cada uno de los tres parámetros, se corrió una prueba *F* de Fisher, con 32 réplicas para cada una, totalizando 96 observaciones experimentales para cada variable.

**Figura 10.3** Diagrama del diseño experimental. ρ<sub>0</sub>: Densidad básica; E: Módulo de elasticidad en compresión; R: Resistencia a la compresión; r: Dirección radial; t: Dirección tangencial; l: Dirección longitudinal.



Suponiendo una distribución normal con media cero y varianza constante ( $\sigma^2$ ) e independientes entre sí, se verificó la hipótesis nula  $H_0: \sigma_r \sigma_t \sigma_l$ , y se contrastó con la hipótesis alterna

## 10.2 Resultados y discusión

La Tabla 10 presenta los resultados de la densidad, del contenido de humedad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la ruptura, así como de los índices materiales para la madera de *Cedrela odorata*, *Quercus spp.* y *Platymiscium dimorphandrum*.

**Tabla 10.** Densidad básica, contenido de humedad, módulo de elasticidad, módulo de ruptura e índices materiales.

Nombre botánico (Nombre común) Número de probetas		$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	CH (%)	MOE (MPa)	Imoe (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	MOR (Pa)	Mf (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
<i>Cedrela odorata</i> (Cedro rojo) 32	$\bar{x}$	489	11.23	9,279	0.20	89	1.74
	$\sigma$	44	0.57	729	0.02	11	0.33
	CV	0.09	0.05	0.08	0.09	0.13	0.19
<i>Quercus spp.</i> (Encino) 32	$\bar{x}$	715	10.54	16,286	0.18	143	2.42
	$\sigma$	52	0.67	2,712	0.02	29	0.69
	CV	0.07	0.06	0.17	0.10	0.20	0.28
<i>Platymiscium dimorphandrum</i> (Hormiguillo) 32	$\bar{x}$	786	9.84	13,575	0.15	149	2.33
	$\sigma$	36	0.54	1,542	0.01	25	0.50
	CV	0.05	0.05	0.11	0.04	0.17	0.22

$\bar{x}$  Media aritmética;  $\sigma$  Desviación estándar; CV Coeficiente de variación,  $\rho_0$ : Densidad básica; CH: Contenido de humedad, MOE: Módulo de elasticidad, Imoe: Índice material de elasticidad en flexión, MOR: Módulo de ruptura en flexión, Imor: Índice material de resistencia en flexión.

Los resultados del análisis ANOVA establecieron que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tres variables analizadas de las tres especies, con un nivel de confianza del 95 %. Este resultado propone que la densidad y los módulos MOE y MOR son diferentes entre y para cada una de las tres especies. En el mismo contexto, las magnitudes de los parámetros medidos y los coeficientes de variación se sitúan en el rango encontrado para las maderas gimnospermas mexicanas por los investigadores citados anteriormente.

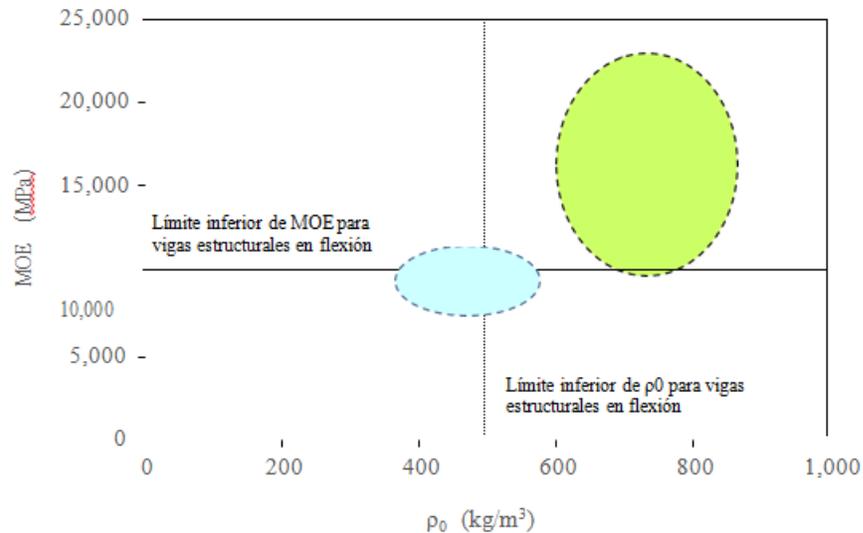
### Contenido de humedad

Los resultados de pruebas de comparación de medias, demostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95 % de confianza entre el contenido de humedad al interior de cada grupo de probetas de las tres especies. En consecuencia, el contenido de humedad es considerado uniforme y sin influencia en el análisis posterior de los resultados.

### Análisis comparativo

Un primer enfoque es analizar los valores del MOE en función de  $\rho_0$  (Figura 5). Los valores de la madera de las especies *Quercus spp.* y *Platymiscium dimorphandrum* se sitúan por arriba de los límites inferiores de MOE y  $\rho_0$ , indicadores propuestos aquí como recomendables para uso de la madera en vigas estructurales trabajando en flexión. En contraste, la madera de *Cedrela odorata*, con valores menores, se encuentra en la intersección entre estos límites. Aparentemente esta especie está en desventaja, desde el punto de vista de su selección para un empleo estructural. Este razonamiento, se aplica usualmente en la práctica de la Ingeniería en Tecnología de la Madera (Comisión Forestal de América del Norte, 1994 y Gobierno del Distrito Federal, 2004).

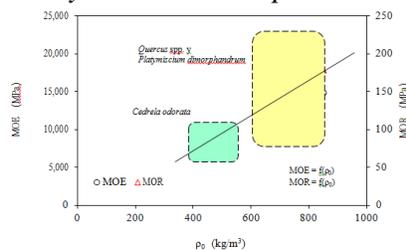
**Figura 10.4** Límites inferiores para el módulo de elasticidad (MOE y el de ruptura (MOR) y posición de los valores para las probetas de las tres especies estudiadas. Los puntos corresponden a 32 probetas ensayadas por cada especie. Como existen valores iguales o similares, por un efecto de escala, aparentemente en el gráfico no se muestran los 96 valores analizados.



Otro procedimiento de análisis en la caracterización mecánica de la madera, es proponer a la densidad como característica y/o variable explicativa de las propiedades mecánicas en correlaciones estadísticas (Bodig y Jane, 1982), del mismo tipo que la presentada en la Figura 6. Una vez más, la madera de *Cedrela odorata*, con bajos valores de densidad y de módulos de elasticidad y de ruptura, está en desventaja competitiva en comparación con las especies *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. Este enfoque es útil para validar métodos y resultados de laboratorio. Empero, es demasiado simple para seleccionar una especie de madera para una función específica en un proyecto de fabricación o constructivo.

A continuación, se propone un enfoque que considera en el análisis a los índices materiales de la madera.

**Figura 10.5** Distribución de los valores del módulo de elasticidad (MOE) y del módulo de ruptura MOR en función de la densidad  $\rho_0$  de la madera de *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*.

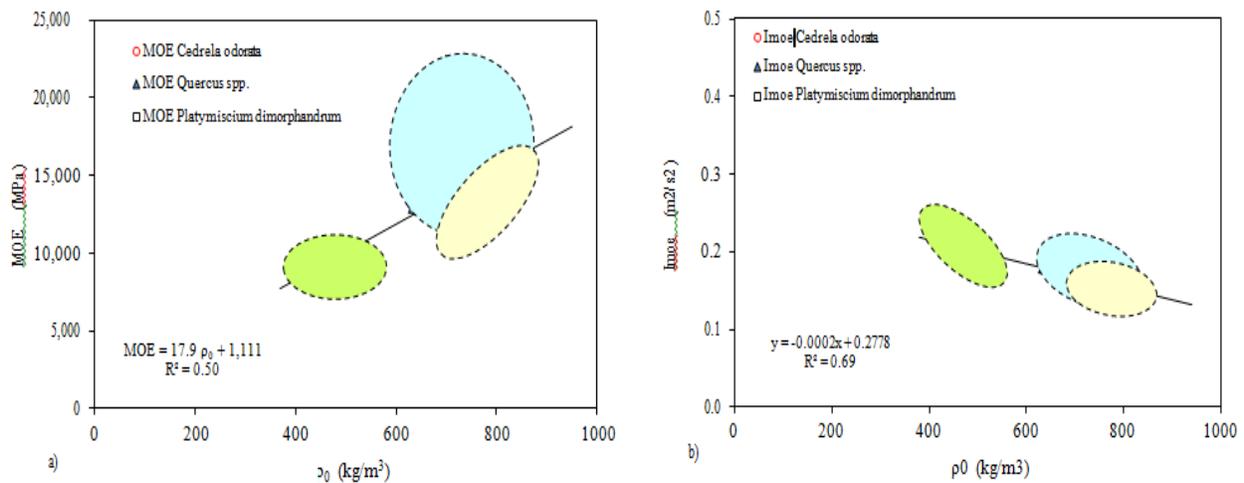


## Índices materiales

La Figura 10.6 presenta la distribuciones del módulo de elasticidad en flexión estática (MOE) y del índice material en flexión estática  $Imoe$ , en función de la densidad básica  $\rho_0$  de la madera de *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. Las líneas representan las regresiones entre MOE e  $Imoe$  y  $\rho_0$ , considerando las 96 probetas observadas.  $R^2$  es el coeficiente de determinación con un 95 % de confianza.

En las Figuras 10.6 y 10.7, los puntos corresponden a 32 probetas ensayadas por cada especie. Como existen valores iguales o similares, por un efecto de escala, aparentemente en el gráfico no se muestran todos los valores.

**Figura 10.6** Distribuciones y agrupamientos. a) del módulo de elasticidad (MOE) y b) del índice material de elasticidad en flexión ( $Imoe$ ), ambos parámetros en función de la densidad básica  $\rho_0$  de la madera de *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. Las líneas representan las regresiones entre MOE y  $\rho_0$  e  $Imoe$  y  $\rho_0$ , considerando las 96 probetas observadas.  $R^2$  es el coeficiente de determinación con un 95 % de confianza.



Si se correlaciona el índice material  $Imoe$  versus  $\rho_0$ , el valor del coeficiente  $R^2$  entre estos parámetros aumenta (Figura 7b). Este resultado se advierte en el agrupamiento aparente o en la disminución de la dispersión entre los puntos de los gráficos 7a y 7b.

Además, la intersección entre los conjuntos de los datos de *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum* aparentemente se mejora, y lo más importante, todos los datos se distribuyen alrededor de una línea guía, en este caso la regresión lineal, la cual puede ser propuesta como una tendencia que sirva como frontera, límite o criterio para la clasificación y/o selección de la madera para fines de diseño. En el mismo contexto, esta propuesta sugiere igualmente una agrupación de estas dos especies para aplicación práctica en diseño, acotando esta proposición únicamente al enfoque de las propiedades materiales de las especies en consideración.

Desde otro punto de vista, si se modifica la correlación simple por una correlación múltiple donde MOR y  $\rho_0$  son variables explicativas de  $Imoe$ , el coeficiente de determinación  $R^2$  aumenta a 0.83, con la ecuación:  $Imoe = 0.282 + 4.25 \times 10^4 MOR - 2.427 \times 10^4 \rho_0$ , resultado que sugiere una alta probabilidad de predicción del índice de material de elasticidad ampliando el número de variables explicativas.

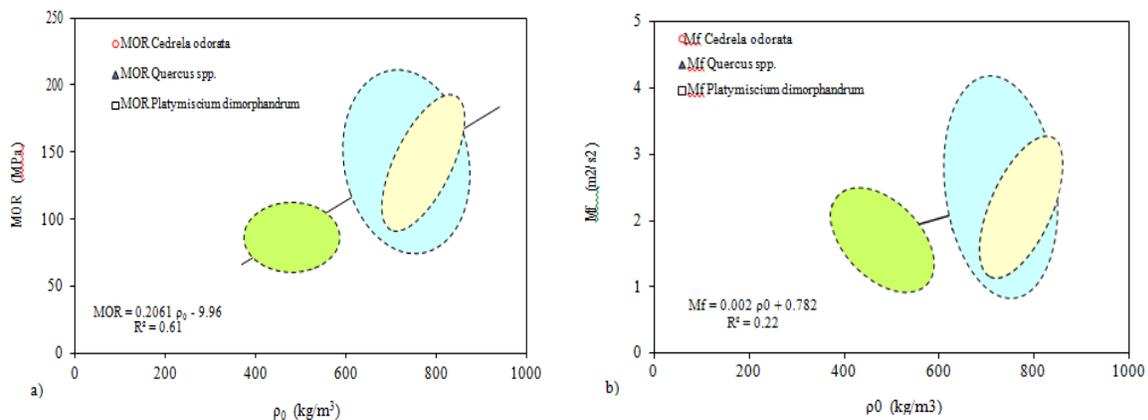
Empleando el índice material  $Imoe$ , los valores de *Cedrela odorata* se posicionan mejor que los de *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*, cuando el diseño requiere un valor alto para la relación módulo de ruptura (MOR) versus su densidad:  $MOR/\rho$ .

En otras palabras: la madera de *Cedrela odorata* tiene valores de resistencia (MOR) comparativamente menores que las maderas *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. No obstante, cuando se pretenda optimizar el requerimiento de diseño de máxima resistencia con mínimo peso, es la madera de *Cedrela odorata*, la que tendrá un mejor funcionamiento, considerando siempre los requerimientos funcionales y de geometría.

La densidad se propone como un predictor del módulo de ruptura MOR con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.61. Este resultado se puede mejorar si se incorpora el módulo de elasticidad en un análisis de correlación múltiple, de tal forma que el coeficiente  $R^2$  aumenta a 0.76, con una ecuación:  $MOR = -15.984 + 5.646 \times 10^3 MOE + 104.525 \times 10^3 \rho_0$ , donde MOR es función de MOE y  $\rho_0$ . Es decir, la predicción del MOR mejora si se incorporan el MOE y la densidad como variables explicativas.

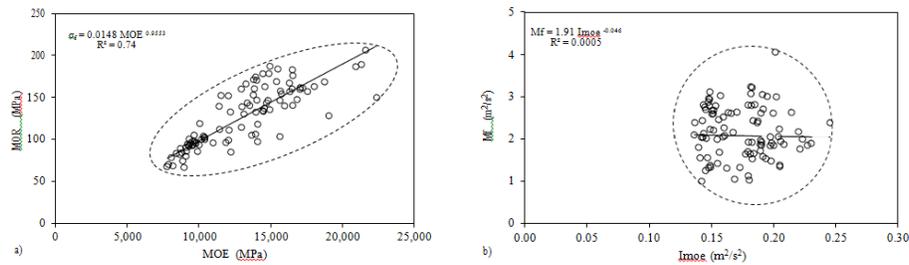
Con un procedimiento análogo al anterior, en este caso para el índice material  $M_f$ , si se incorpora el módulo de elasticidad en la correlación múltiple, da por resultado un coeficiente  $R^2$  de 0.54, con la ecuación:  $M_f = 0.624666 + 1.42883 \times 10^4 MOE - 4.90483 \times 10^4 \rho_0$ . En este caso, el coeficiente  $R^2$  disminuye y en consecuencia la predicción no se mejora.

**Figura 10.7** Distribuciones y agrupamientos. a) del módulo ruptura (MOR) y b) del índice material de resistencia en flexión  $M_f$ , ambos parámetros en función de la densidad básica  $\rho_0$  de la madera de *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*. Las líneas representan las regresiones entre MOR y  $\rho_0$  y  $M_f$  y  $\rho_0$ , considerando las 96 probetas observadas.  $R^2$  es el coeficiente de determinación con un 95 % de confianza.



Sugiere que el MOE es un buen predictor de MOR con un  $R^2$  de 0.74 en una correlación de tipo potencia ( $MOE = a MOR^b$ ). Resultado que coincide con las conclusiones de (biblio, 9999). Cuando se estandarizan estos parámetros convirtiéndolos en índices materiales (Figura 9b), la correlación entre las variables  $M_f$  e  $Imoe$  es prácticamente nula y la forma de la distribución se modifica.

**Figura 10.8** Correlaciones entre a) el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), y b) el índice material de la resistencia en flexión (Mf) y el índice material en flexión (Imoe). La línea representa la regresión entre las variables, considerando las 96 probetas observadas. R2 es el coeficiente de determinación con un 95 % de confianza.



### 10.3 Conclusiones

Se observó una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables densidad, módulo de elasticidad y módulo de ruptura de las especies *Cedrela odorata*, *Quercus* spp. y *Platymiscium dimorphandrum*.

La incorporación de los índices materiales de elasticidad y de resistencia en flexión en el diseño de productos y estructuras de madera es útil al Diseñador y al Ingeniero en la apreciación de una especie o grupo de especies.

### 10.4 Agradecimientos

La investigación estuvo patrocinada por la Coordinación de la Investigación Científica, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

### 10.5 Referencias

- Ashby, M.F. (2nd Ed.) (2003). *Materials selection in mechanical design*. England. Butterworth Heinemann.
- Bodig, J. & Jayne, B.A. (1982). *Mechanics of Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold, USA.
- Comisión Forestal de América del Norte (COFAN). (1994). *Manual de Construcción de Estructuras Ligeras de Madera*. México. Consejo Nacional de la Madera en la Construcción, A.C.
- Gobierno del Distrito Federal. (2004). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera. I: 103-BIS. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México.
- Gutiérrez-Pulido, H. & de la Vara-Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México. McGraw Hill.
- Haygreen, J.G. & Bowyer, J.L. (1996). *Forest Products and Wood Science. An Introduction*. USA. Iowa State University Press.
- Hernández Maldonado, S.A. & Sotomayor Castellanos, J.R. (2013). *Características elásticas de maderas mexicanas*. Base de datos. III Congreso Latinoamericano de IUFRO. Costa Rica.

International Organization for Standardization. (2012). ISO 3129: (2012). Wood - Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests. ISO Catalog 79 Wood technology; 79.040 Wood, sawlogs and saw timber. International Organization for Standardization. Brussels.

Silva Guzmán, J.A. & col. (2012). *Industrialización Comercialización y Manejo Sostenible de diez Especies Nativas Mexicanas*. Capítulo 3. Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera. Proyecto ITTO PD 385/05 Rev. 4 (I.F.). Organización Internación de Maderas Tropicales. Universidad de Guadalajara. Comisión Nacional Forestal, México.

Silva-Guzmán, J.A. & col. (2010). *Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas se México e importadas*. México. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional Forestal.

Sotomayor Castellanos, J.R. (2005). Características mecánicas y clasificación de 150 especies de maderas Mexicanas. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. UMSNH. 1(1):3-22. México.

Sotomayor Castellanos, J.R.; Banda Cervantes, Y.; Ramírez Pérez, M. & Suárez Béjar, G. (2013). Características dinámicas e indicadores de calidad de la madera de *Quercus* spp (encino) del Estado de Michoacán estudiada por métodos no destructivos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 9(2):14-29. México.

Sotomayor Castellanos, J.R.; Guridi Gómez, L.I. & García Moreno, T. (2010). Características acústicas de la madera de 152 especies mexicanas. Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad. Base de datos. *Investigación e Ingeniería de la Madera*. 6(1):3-32. México.

## **Análisis armónico de un sistema fotovoltaico operando bajo la modalidad tipo isla**

Ángel Marroquín, Juan Olivares, Elizabeth Ortiz, Diana Martínez, Brenda Ugalde y Gabriela Cervantes

Á. Marroquín, J. Olivares, E. Ortiz, D. Martínez, B. Ugalde y G. Cervantes  
Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Qro. División de Química Industrial y Energías Renovables, Cuerpo Académico de Mantenimiento Industrial, Av. La Palma no. 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del Río, Qro. C.P. 76800  
Tel. 01 427 129 2000 ext. 231.  
amarroquind@utsjr.edu.mx.

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## 11 Introducción

Desde los inicios de la existencia del hombre, su desarrollo ha estado determinado en gran medida por la utilización de las diferentes formas de energía según las necesidades y disponibilidades de cada momento y lugar. En un inicio las energías renovables eran utilizadas en forma de biomasa, viento, agua y sol, por lo que deben ser consideradas como la base energética del desarrollo humano. Sin embargo, con la aparición de los recursos energéticos fósiles el uso de la energía se convirtió en algo muy fácil, más eficiente y barato. Esto ha ocasionado un consumo indiscriminado de este tipo de energía hasta límites insostenibles que han ocasionado que todos los en vías de desarrollo y países desarrollados, realicen continuos esfuerzos en un intento de mejorar la eficiencia de la utilización de la energía y, en definitiva, reducir el consumo de recursos fósiles. Dentro de las energías renovables, la energía solar fotovoltaica es hoy en día y sin lugar a dudas, una forma limpia y fiable de producción de energía eléctrica a pequeña escala.

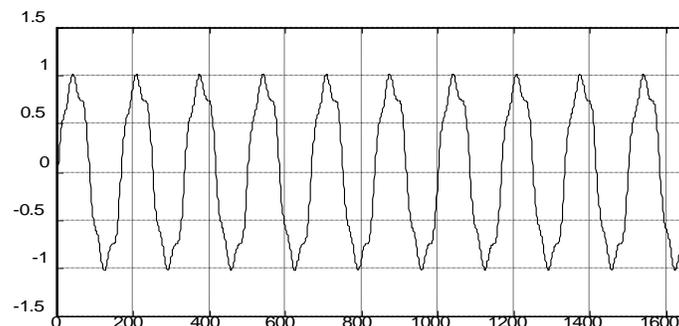
Se define como la tecnología utilizada para el aprovechamiento eléctrico de la energía solar que se deriva de las células fotovoltaicas. Mediante las células, la radiación se transforma directamente en electricidad aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. Normalmente se pueden distinguir tres elementos fundamentales en la estructura física de un sistema fotovoltaico:

- El campo fotovoltaico
- Sistema de acondicionamiento de la potencia
- Sistema de adquisición de datos.

### 11.1 Calidad de la energía

La calidad de la energía se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes. Una de las perturbaciones que se presentan en estado estable corresponden a las armónicas, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental así la armónica 1 corresponde a 60 Hz, la 2 a 120 Hz, la 3 a 180 Hz y así sucesivamente. Esta distorsión (periódica) de la forma de onda senoidal del voltaje o corriente, es causada por la operación de equipos no lineales tales como rectificadores, equipos que utilizan dispositivos de electrónica de potencia en su operación, lámparas fluorescentes, equipo de cómputo, hornos de arco eléctrico, entre otros. Este es un fenómeno en estado estable.

**Figura 11** Distorsión armónica



La tendencia en México, impulsada por la Comisión Federal de Electricidad, es de implantar el estándar IEEE-519 titulado “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, la tabla 2.1 muestra los límites de distorsión en voltaje.

**Tabla 11** Límites de distorsión de voltaje

Voltaje bus	del	Distorsión individual de voltaje (IHD)	Distorsión armónica total (THD)
<69 kV		3.0	5.0
69kV	<V <sub>bus</sub> <	1.5	2.5
161 kV			
>161 kV		1.0	1.5

La cantidad de distorsión que presenta una forma de onda de tensión o corriente se cuantifica mediante un índice llamado distorsión armónica total (THD), definido para tensiones y corrientes por las ecuaciones 1 y 2, donde V<sub>1</sub> y I<sub>1</sub> son las componentes fundamentales de tensión y corriente respectivamente, y V<sub>h</sub> y I<sub>h</sub> los armónicos h. Todos en términos eficaces.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (11)$$

## 11.2 Desarrollo

La Universidad Tecnológica de San Juan del Río, ofrece la carrera de Ingeniería en Energía Renovable, parte del equipamiento con el que se cuenta para la realización de prácticas consta de un sistema fotovoltaico conformado por tres paneles, un controlador de carga, baterías y un inversor, la fig. 3.1 muestra el sistema antes descrito.

**Figura 11.1** Sistema fotovoltaico

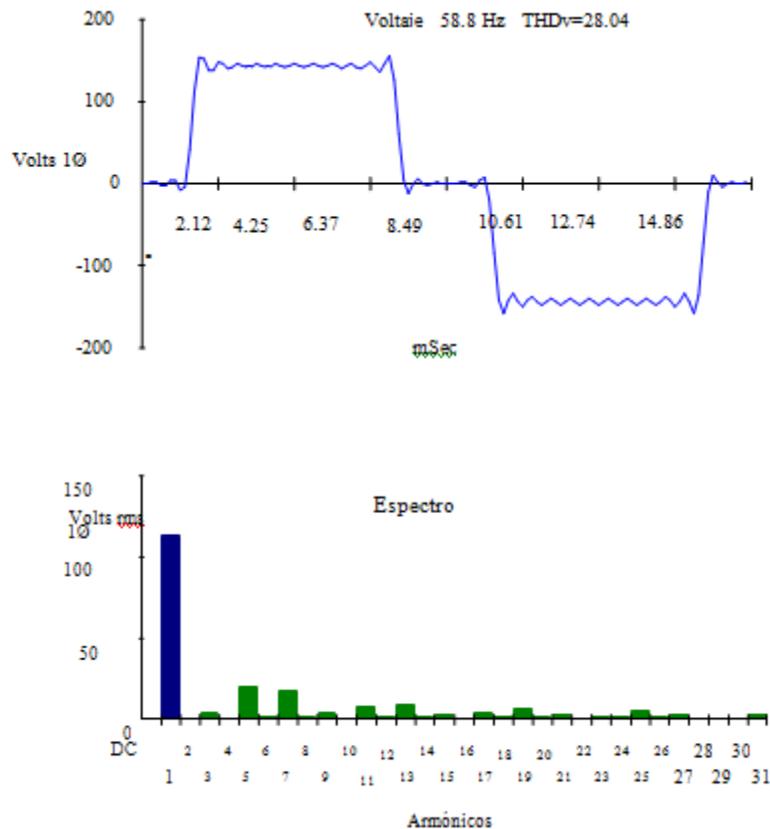


En el segundo cuatrimestre los alumnos cursaron la materia de instalaciones eléctricas, como parte de una práctica se construyó en un tablero la instalación eléctrica representando la que se puede tener en una casa habitación. La fig. 3.2 muestra los detalles de la instalación eléctrica construida de conformidad con la norma NOM 001-SEDE 2012.

**Figura 11.2** Instalación eléctrica construida

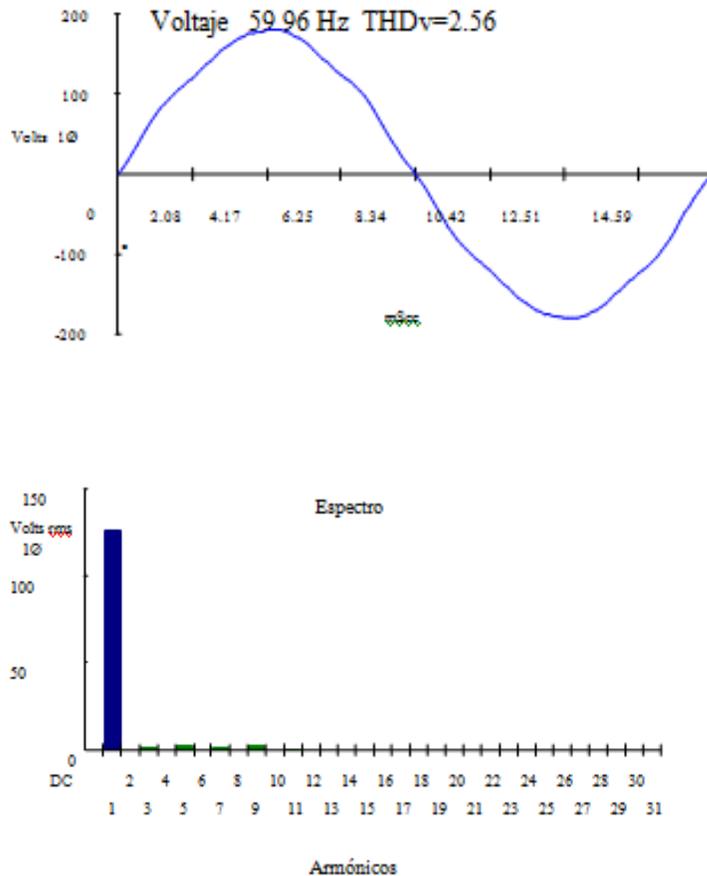
## Experimentación

Utilizando un medidor de armónicos Fluke® 41B, se midieron los parámetros eléctricos en terminales del inversor, la fig. 3.3 muestra los resultados, el voltaje generado por el sistema fotovoltaico, que más tarde se suministró a la instalación eléctrica mostrada en la Fig. 3.2 mediante un cable AWG Cal. 8, que pasa por la base del medidor y llega a un centro de carga QO2 marca Square D, donde se tienen instalados dos interruptores termomagnéticos de 15 Amp a 10 kA de capacidad interruptiva marca Square D, un interruptor controla el alumbrado y el otro los contactos existentes en la instalación.

**Figura 11.3** Forma de onda de voltaje medida en terminales del inversor de onda modificada

La figura muestra la forma de onda y el espectro armónico medidas en un tomacorriente ubicado en el laboratorio de termodinámica de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Qro., puede apreciarse que la forma de onda presenta una ligera deformación ocasionada por equipo de cómputo y lámparas de alumbrado, encontrándose magnitudes de los armónicos 3, 5, 7 y 9 respectivamente.

**Figura 11.4** Forma de onda de voltaje medida en un tomacorriente



Para conocer el comportamiento de diversos equipos electrodomésticos operando con un voltaje generado por un sistema fotovoltaico, se conectaron en los tomacorrientes de la instalación eléctrica diversos equipos entre ellos: ventilador, licuadora, tenazas para el cabello, televisor, reproductor de DVD, grabadora, batidora, incubadora de pollos, focos ahorradores, taladro, cargador de celular, plancha, sandwichera, entre otros.

Los equipos se conectaban y se dejaban operando durante cinco minutos en cada condición de alimentación de voltaje.

**Tabla 11.1** Parámetros eléctricos de la batidora alimentada por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	58.89	RMS	118.2	0.45
Potencia		Pico	156.5	0.58
Watts	53.19	DC Offset	0.69	-0.02
VA	52	Crest	1.32	1.29
Vars	3	THD Rms	27.05	21
W pico	91	THD Fund	28.1	21.47
Fase	4° lead	HRMS	31.92	0.09
F.P. Total	0.97	KFactor		3.33
DPF	1			
RED DE C.F.E				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	127.55	0.47
Potencia		Pico	180.1	0.67
Watts	59	DC Offset	-0.15	-0.03
VA	60	Crest	1.41	1.42
Vars	0	THD Rms	2.23	7.55
W pico	128	THD Fund	2.23	7.57
Fase	1° lead	HRMS	2.85	0.04
F.P. Total	1	KFactor		1.63
DPF	1			

Se observa una disminución en la frecuencia a 58.89 Hz, para cuando el electrodoméstico es alimentado por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, el dispositivo no desarrolla toda su potencia llegando tan solo a 53.19 W, el THD es del 27.05%, presenta una disminución de su velocidad y por consiguiente el dispositivo entrega poca potencia, comparada cuando es alimentada por la red de CFE, la potencia es de 59 W, se tiene una forma de onda con un THDv del 2.23%.

El equipo desarrolla toda su potencia. El voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 118.2 V se encuentra dentro del rango permisible del  $\pm 10\%$ .

**Tabla 11.2** Parámetros eléctricos de la licuadora alimentada por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	58.89	RMS	107.26	1.41
Potencia		Pico	134.35	2.63
Watts	107	DC Offset	- 0.52	-0.07
VA	151	Crest	1.25	1.87
Vars	78	THD Rms	25.1 1	42.36
W pico	357	THD Fund	25.9 4	46.76
Fase	37° lag	HRMS	26.7 4	0.59
F.P. Total	0.71	KFactor		3.62
DPF	0.8			
RED DE C.F.E				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	123.88	1.76
Potencia		Pico	177.03	3.02
Watts	0.2	DC Offset	- 0.18	-0.03
VA	0.22	Crest	1.43	1.71
Vars	0.07	THD Rms	3.09 1	23.64
W pico	0.53	THD Fund	3.09 1	24.33
Fase	18° lag	HRMS	3.83	0.42
F.P. Total	0.93	KFactor		1.74
DPF	0.95			

Se observa una disminución en la frecuencia para cuando el electrodoméstico es alimentado por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, el dispositivo no desarrolla toda su potencia llegando tan solo a 107 W, el THD es del 25.11%, presenta una disminución de su velocidad y por consiguiente el dispositivo entrega poca potencia, el voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 107.26 V se encuentra fuera del rango permisible del  $\pm 10\%$  de variación del voltaje.

Cuando es alimentada por la red de CFE, la potencia es de 200 W, se tiene una forma de onda con un THD<sub>v</sub> del 3.09%, el equipo desarrolla toda su potencia.

**Tabla 11.3** Parámetros eléctricos del taladro alimentado por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO			Volt aje	Corriente
Frecuencia	58.89	RMS	115.62	1.66
Potencia		Pico	148.29	2.22
Watts	181.31	DC Offset	0.72	-0.02
VA	191.41	Crest	1.28	1.34
Vars	40.07	THD Rms	26.15	12.02
W pico	308.17	THD Fund	27.09	12.1
Fase	13° lag	HRMS	30.2	0.2
F.P. Total	0.95	KFactor		1.89
DPF	0.98			
RED DE C.F.E			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	123.75	2
Potencia		Pico	176.86	3.26
Watts	0.24	DC Offset	-0.18	-0.03
VA	0.25	Crest	1.43	1.63
Vars	0.01	THD Rms	3.13	13.74
W pico	0.58	THD Fund	3.13	13.88
Fase	3° lag	HRMS	3.87	0.27
F.P. Total	0.99	KFactor		1.25
DPF	1			

Se observa una disminución en la frecuencia 58.89 Hz, para cuando el taladro es alimentado por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, el dispositivo no desarrolla toda su potencia llegando tan solo a 181.31 W, el THD es del 26.15%, presenta una disminución de su velocidad y por consiguiente el dispositivo entrega poca potencia, el voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 115.62 V, se encuentra dentro del rango permisible del  $\pm 10\%$  de variación del voltaje .

El consumo en corriente disminuye a 1.66 A. Cuando es alimentada por la red de CFE, la potencia es de 240 W, se tiene una forma de onda con un THDv del 3.09%, el equipo desarrolla toda su potencia, la corriente consumida por el equipo es de 2 A.

**Tabla 11.4** Parámetros eléctricos de una grabadora alimentada por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	58.89	RMS	118.52	0.12
Potencia		Pico	156.4	0.18
Watts	12.31	DC Offset	- 0.91	-0.01
VA	14.41	Crest	1.32	1.45
Vars	1.07	THD Rms	27	53.11
W pico	28.17	THD Fund	28.0 4	62.68
Fase	8° lag	HRMS	31.95	0.06
F.P. Total	0.82	KFactor		**OL**
DPF	0.99			
RED DE C.F.E				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	125.78	0.12
Potencia		Pico	179.61	0.17
Watts	11	DC Offset	0.06	0.02
VA	14	Crest	1.43	1.41
Vars	1	THD Rms	2.56	52.57
W pico	31	THD Fund	2.56	61.8
Fase	6° lead	HRMS	3.22	0.06
F.P. Total	0.81	KFactor		8.87
DPF	0.99			

Se observa una disminución en la frecuencia a 58.89 Hz, para cuando la grabadora es alimentada por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, el dispositivo desarrolla toda su potencia llegando a 12.311 W, el THD es del 27%, el voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 118.62 V, se encuentra dentro del rango permisible del  $\pm 10\%$  de variación del voltaje.

El consumo en corriente es de 0.12 A. Cuando es alimentada por la red de CFE, la potencia es de 11 W, se tiene una forma de onda con un THDv del 2.56%, el equipo desarrolla toda su potencia, la corriente consumida por el equipo es de 0.12 A.

**Tabla 11.5** Parámetros eléctricos de un televisor alimentado por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO			Volt aje	Corriente
Frecuencia	58.89	RMS	118.02	0.63
Potencia		Pico	156.74	2.72
Watts	53	DC Offset	- 1.06	-0.03
VA	74	Crest	1.33	4.29
Vars	24	THD Rms	27.2 5	69.67
W pico	412	THD Fund	28.3 2	97.12
Fase	28° lead	HRMS	32.1 3	0.44
F.P. Total	0.71	KFactor		**OL**
DPF	0.88			

RED DE C.F.E			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	127.47	0.66
Potencia		Pico	180.25	2.17
Watts	45	DC Offset	- 0.14	-0.03
VA	84	Crest	1.41	3.28
Vars	15	THD Rms	2.33 2.33	81.95
W pico	386	THD Fund	2.33 2.33	142.99
Fase	19° lead	HRMS	2.97	0.54
F.P. Total	0.54	KFactor		28.34
DPF	0.95			

Se observa una disminución en la frecuencia 58.89 Hz, para cuando el televisor es alimentado por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, el dispositivo desarrolla toda su potencia llegando a 53 W, el THD es del 27.25%, el voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 118.02 V.

Se encuentra dentro del rango permisible del  $\pm 10\%$  de variación del voltaje, el consumo en corriente es de 0.63 A. Cuando es alimentada por la red de CFE, la potencia es de 45 W, se tiene una forma de onda con un THDv del 2.56%, el equipo desarrolla toda su potencia, la corriente consumida por el equipo es de 0.66 A.

**Tabla 11.6** Parámetros eléctricos de un foco ahorrador alimentado por el sistema fotovoltaico y por la red de CFE

SISTEMA FOTOVOLTAICO				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.04	RMS	118.19	0.57
Potencia		Peak	157.77	2.72
Watts	30.31	DC Offset	1.08	-0.02
VA	67.41	Crest	1.33	4.76
Vars	9.07	THD Rms	27.2 4	88.26
W pico	339.17	THD Fund	28.3 1	187.72
Fase	20° lead	HRMS	32.1 6	0.47
F.P. Total	0.45	KFactor		**OL**
DPF	0.94			
RED DE C.F.E				
			Volt aje	Corriente
Frecuencia	59.96	RMS	124.19	0.32
Potencia		Peak	178.13	0.84
Watts	20.14	DC Offset	- 0.08	0
VA	39.42	Crest	1.43	2.64
Vars	18.39	THD Rms	3.19	68.66
W pico	123.61	THD Fund	3.2	94.43
Fase	41° lead	HRMS	3.97	0.22
F.P. Total	0.53	KFactor		20.08
DPF	0.76			

Se observa una disminución en la frecuencia 59.04 Hz, para cuando el foco ahorrador es alimentado por el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, la potencia desarrollada por el dispositivo es de 30.31W, el THD es del 27.24%, el voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico es de 118.19 V, se encuentra dentro del rango permisible del  $\pm 10\%$  de variación del voltaje, el consumo en corriente es de 0.57 A. Cuando el foco es alimentado por la red de CFE, la potencia es de 20.19 W, se tiene una forma de onda con un THDv de 3.19%, el equipo desarrolla toda su potencia, la corriente consumida por el equipo es de 0.32 A. Esto es debido a que el foco ahorrador tiene balastro electrónico.

### 11.3 Efectos y consecuencias de los armónicos

Cualquier señal que circule por la instalación eléctrica, ya sea de corriente o de tensión, y cuya forma de onda no sea senoidal, puede provocar daños en ella o en los equipos conectados a la misma, entre ellos destacan: Calentamiento de conductores, disparo de protecciones sin causa aparente, resonancia, vibraciones y acoplamientos, deterioro de la forma de onda de tensión (achataamiento), tensión entre neutro y tierra distinto de cero. Lo que trae como consecuencia el calentamiento de motores asíncronos, en cables y capacitores. De acuerdo con la especificación de la CFE G0100-04, relativa a Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW, los niveles de tensión deben de tener una tolerancia del  $\pm 10\%$  de la tensión eficaz nominal en la regulación de tensión de sistemas de distribución de baja tensión para sistemas menores o iguales a 1000 V. En el apartado de regulación de la frecuencia el nivel de control establecido es de 59.2 Hz a 60.8 Hz. Los límites de distorsión armónica de tensión en el punto común de acoplamiento (PAC) son los mostrados en la tabla 3.7.

**Tabla 11.7** Límites de distorsión armónica de tensión

Tensión en kV	Clasificación de tensión	Distorsión armónica total en %	Límite para armónicos individuales en %
V<1kV	Baja tensión	8.0%	6.0

### 11.4 Conclusiones

Se ha realizado el monitoreo de parámetros eléctricos en distintos electrodomésticos utilizando dos fuentes de voltaje: a) sistema fotovoltaico operando en la modalidad tipo isla y b) el suministrado por la red de la C.F.E., para los dispositivos que utilizan resistencias eléctricas en su funcionamiento no se observan problemas, por otro lado electrodomésticos tales como: licuadora, batidora, taladro, televisor, foco ahorrador, grabadora, presentan una disminución en la potencia, el inversor está entregando una frecuencia por debajo de lo permitido por la especificación CFE-G0100-04 en todos los casos, el inversor es de onda senoidal modificada, el valor de la distorsión armónica total en voltaje THDv que se midió en terminales en la mayoría fue de 27%, este valor rebasa lo establecido en la especificación antes mencionada, la variación de voltaje está relacionada con las condiciones de radiación solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos, los equipos que utilizan motores al ser alimentados con un bajo voltaje, estos demandan más corriente lo que se traduce en un sobrecalentamiento lo cual incide directamente en un envejecimiento acelerado de su aislamiento sólido.

La solución al problema de los armónicos es eliminar los síntomas y no el origen, ya que los aparatos que crean los armónicos generalmente constituyen una pequeña parte de la carga y eliminar su uso no es posible, además de que modificar esos equipos para que no causen armónicos tampoco es factible. Lo que queda es reducir los síntomas incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, y atrapar o bloquear los armónicos con filtros. En casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño inapropiado, estas causas que generan armónicos pueden ser corregidas, modificando o reemplazando dichos equipos.

### **11.5 Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, por el apoyo brindado para la presentación del presente trabajo, de igual manera al cuerpo académico de mantenimiento industrial y energía por las observaciones realizadas que contribuyeron al mejoramiento del mismo y a los estudiantes del grupo ER02SM-12 de la Carrera de Energías Renovables de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río.

### **11.6 Referencias**

Especificación CFE G0100-04 (2009). “Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta de 30 kW” Sandoval, Rodrigo.

Iyo Horikoshi (2009). Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior. Proyecto de Fin de Carrera.

Std IEEE 519 (1992). “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”

Especificación CFE L0000-45 (2005). “Perturbaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica”

Ángel Marroquín de Jesús (2011). “Calidad de la energía en sistemas eléctricos industriales” Editorial Académica Española. ISBN: 978-3846560945.

Ángel Marroquín de Jesús (2013). “Notas del curso energía renovable” tercer cuatrimestre Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Qro.

Manual del equipo Fluke 41 B (2000).

## **Análisis bayesiano para la evaluación del nivel de riesgo en carreteras y uso del análisis de jerarquía de procesos (ahp) en la elección de rutas**

José Rodríguez, Gerardo Grijalva, Olegario Martínez, Arturo Soto y Sara Rodríguez

J. Rodríguez, G. Grijalva, O. Martínez, A. Soto y S. Rodríguez  
Universidad Politécnica de Durango, México, Carretera Durango-México Km. 9.5 C.P. 34300  
Instituto Tecnológico de Durango, Felipe Pescador 1830 Oriente, Nueva Vizcaya, 34080 Durango  
Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos, Alberto M. Alvarado Lote 1 Manzana 258 Z II, Guadalupe  
Victoria, 34700 Guadalupe Victoria, Durango  
jlra2014@yahoo.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

Decision making in the choice of routes to follow for general trucking in Mexico, depends on the level of risk, cost, delivery time and rates of violence in the region. The trucking business in general has always been an activity which naturally turns out to be very risky for any investor, however it is demonstrated that this factor carries little weight in decision-making on route to be followed by general trucking. This paper shows an application of Bayesian analysis to assess the level of risk that exists in each of the two routes by which one could travel from Durango, Durango to Monterrey, Nuevo Leon. Furthermore, it is show that the methodology of Analysis Hierarchy Process (AHP) can be used as a decision making tool to determine what the path to follow (free road or toll road) between the two cities.

## 12 Introducción

El auto-transporte de carga, es un sector que requiere de mucho apoyo gubernamental para ser competitivo y por otro lado, todos los participantes deben de desarrollar estrategias adecuadas en todas las áreas para sobrevivir, desarrollarse, crecer y poder ubicarse al nivel de sectores de transporte internacionales como los de Estados Unidos y Europa. Para poder competir financieramente, la administración de las empresas de autotransporte de carga deberá desarrollar nuevos modelos financieros y de igual forma, para ahorrar costos, deberán incorporar nuevas tecnologías operativas y administrativas que permitan el fortalecimiento de estas empresas (Desarrollo de Estrategias Empresariales, 2013).

Un factor importante en la administración y operación de empresas de transporte es la adecuada toma de decisiones en el problema de ruteo de los vehículos. En la actualidad existe una gran diversidad de software comercial Hall (2004) para resolver este problema, pero son muchas las empresas que no tienen acceso a esta tecnología por los altos costos que involucra: adquisición, adaptación y operación.

Es así que se siguen ocupando técnicas rudimentarias, como son basarse en la experiencia práctica de algún operario para resolver el problema. Considerando que el transportista constantemente toma decisiones de tipo cualitativo, es importante que éstas sean respaldadas en métodos comprobados. Un método que puede ser utilizado para estos casos es el Análisis de Jerarquía de Procesos (AHP), la cual es una metodología que permite el uso de atributos o factores cualitativos en las evaluaciones de alternativas, en donde la intuición y experiencia del decisor son fundamentales.

l AHP, es un método que ha recibido especial atención en la literatura y ya ha sido documentado en la solución de problemas en amplias áreas y con la excepción de unos cuantos casos, esta técnica no ha sido usada ampliamente en la toma de decisiones en el ruteo de vehículos. El negocio del auto-transporte de carga en México ha sido por años un negocio de mucho riesgo, por lo que resulta importante hacer una estimación del nivel de riesgo para cada ruta, con el objeto de agregarlo como factor que junto al costo, tiempos de entrega e índices de violencia, generalmente inciden en la decisión sobre la ruta a seguir para cualquier transportista.

## 12.1 Revisión de literatura

### Análisis Bayesiano

La inducción bayesiana consiste en usar recursos probabilísticos para actualizar (cambiar) nuestra asignación probabilística inicial o previa (haya sido esta “objetiva” o “subjetivamente establecida”) a la luz de nuevas observaciones; es decir, computar nuevas asignaciones condicionadas por nuevas observaciones.

El teorema de Bayes es el puente para pasar de una probabilidad a priori o inicial,  $P(H)$ , de una hipótesis  $H$  a una probabilidad a posteriori o actualizada,  $P(H|D)$ , basado en una nueva observación  $D$ . Produce una probabilidad conformada a partir de dos componentes: una que con frecuencia se delimita subjetivamente, conocida como “probabilidad a priori”, y otra objetiva, la llamada verosimilitud, basada exclusivamente en los datos. A través de la combinación de ambas, el analista conforma entonces un juicio de probabilidad que sintetiza su nuevo grado de convicción al respecto. Esta probabilidad a priori, una vez incorporada la evidencia que aportan los datos, se transforma así en una probabilidad a posteriori.

La regla, axioma o teorema de Bayes (se le ha denominado de todas esas formas) es en extremo simple, y se deriva de manera inmediata a partir de la definición de probabilidad condicional. Esta dice: si se tienen dos sucesos  $A$  y  $B$  (donde  $A$  y  $B$  son ambos sucesos posibles), entonces la probabilidad condicional de  $A$  dado  $B$ , como es bien conocido, se define del modo siguiente, Montgomery y Runger (1996).

$$P(A \setminus B) = \frac{P(B \setminus A)P(A)}{P(B)} \quad (12)$$

### Análisis de Jerarquía de Procesos (AHP)

La técnica denominada AHP fue desarrollada por Thomas Saaty (1992) y es una metodología de toma de de decisiones multicriterio, la cual descompone un problema complejo en jerarquías, en la cual cada nivel es descompuesto en elementos específicos. El objetivo principal se coloca en el primer nivel, los criterios, sub-criterios y alternativas de decisión se listan en los niveles descendientes de la jerarquía, Alphonce (1997).

Una vez que el modelo jerárquico ha sido estructurado para el problema específico, el decisor debe realizar comparaciones apareadas para cada nivel de la jerarquía, con la finalidad de obtener el peso del factor de cada elemento en ese nivel con respecto a un elemento en un nivel más elevado. Este peso del factor provee una medida de la importancia relativa de estos elementos para el decisor. Las comparaciones se realizan en una escala del 1 al 9; dicha escala está compuesta por los siguientes números:

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\} \quad (12.1)$$

La tabla 12 muestra la escala de 9 puntos para las comparaciones apareadas, la cual se muestra a continuación.

**Tabla 12** Escala de 9 puntos para comparaciones apareadas

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.

La comparación apareada del elemento  $i$  con el elemento  $j$  es colocado en la posición de  $a_{ij}$  de la matriz  $A$  de comparaciones apareadas, como se muestra a continuación:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{21} & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (12.2)$$

Los valores recíprocos de estas comparaciones son colocadas en la posición  $a_{ji}$  de  $A$ , con la finalidad de preservar la consistencia del juicio. Si se dan 9 elementos, el decisor participante deberá comparar la importancia relativa de un elemento con respecto a un segundo elemento, usando la escala de 9 puntos mostrada en la tabla 2.1. Por ejemplo, si el elemento uno fue calificado con fuerte dominancia sobre el elemento 2, entonces en la posición  $a_{12}$  se coloca un 5 y recíprocamente en la posición de  $a_{21}$  se coloca 1/5. Narasimhan (1983) identifica las siguientes tres ventajas del uso de la técnica de AHP:

- Se permiten evaluaciones en las que existen factores de orden cualitativo.
- Se obtienen pesos asignados a cada uno de los elementos, los cuales son usados como criterio de decisión.
- El uso de computadoras permite conducir análisis de sensibilidad en los resultados.

Otra de las ventajas del uso de AHP que manifiesta Haker y Vargas (1987), es que esta técnica facilita el consenso entre las personas que actúan como decisores cuando se trabaja en grupos, ya que facilita la comunicación entre ellos. Además AHP permite identificar y tomar en cuenta las inconsistencias de los decisores, ya que rara vez son consistentes en sus juicios con respecto a factores cualitativos.

Así, AHP incorpora en el análisis un Índice de Consistencia (IC) y un Radio de Consistencia (RC), (Condon et. al 2002); este RC, puede ser usado para medir la calidad de los juicios emitidos por un decisor.

Se considera que un RC menor a 0.10 es aceptable, es caso de que sea mayor se deberá pedir al decisor que haga sus valoraciones ó juicios nuevamente. Otra gran ventaja de AHP es su capacidad para manejar problemas complejos de la vida real y con una gran facilidad. Comparado con cinco modelos para determinar pesos y prioridades, se encontró que AHP produjo los resultados más confiables de todos los modelos probados, Shoemaker y Waid (1982).

AHP analiza además los diferentes factores que intervienen en el proceso de decisiones sin requerir que estos se encuentren en una escala común, lo que la ha convertido en una de las técnicas de decisión multi-criterio más empleada cuando se manejan problemas socioeconómicos; esto es debido principalmente porque permite incorporar factores sociales, culturales y otras consideraciones no económicas en el proceso de toma de decisiones.

## **12.2 Metodología**

Para apoyar la toma de decisiones sobre la ruta que deben seguir los camiones de las personas cuyo negocio es el transporte (y que son considerados como pequeños transportistas), y que comúnmente circulan por la carretera de Durando a Monterrey, en el presente trabajo se muestra una aplicación del Análisis de Jerarquía de Procesos (AHP).

El procedimiento que se siguió fue:

- Determinar los tipos de accidente que se presentan con mayor frecuencia en las carreteras de México.
- Determinar la frecuencia de accidentes en general por la carretera libre y por la carretera de cuota.
- Hacer una estimación del riesgo que existe de sufrir un percance al transitar un camión por cada una de las carreteras por las que se puede transitar entre los puntos de Durango a Monterrey.

Aplicar la metodología de Análisis de Jerarquía de Procesos (AHP), que indique la ruta que en teoría deberá seguir el camión cuando transita entre los puntos de Durango a Monterrey.

## **12.3 Aplicación del procedimiento**

### **Estimación del riesgo**

La estimación de riesgo se obtiene al combinar la información sobre frecuencia, probabilidades y consecuencias de los resultados de un incidente. El riesgo de todos los incidentes seleccionados en el análisis se estiman de manera individual, para posteriormente sumarse y obtener el riesgo total, AICHe (1989).

Las consecuencias (severidad) y las probabilidades de los accidentes deben calcularse de manera separada y después multiplicarse.

## Evaluación del Riesgo

En el análisis de riesgo debido al transporte, el proceso inicia con la determinación del conjunto de los tipos de accidentes que pueden ocurrir, este conjunto puede estar integrado por una gran variedad de subconjuntos: por lo cual es necesario descartar del análisis aquellos eventos que son altamente improbables, Rivera (2002).

En la tabla 12.1 se muestran los tipos de accidentes más comunes, así como también el promedio de eventos anual para cada una de estas categorías y considerando todo el territorio nacional (PFP México). También se pudo determinar que el porcentaje de accidentes que suceden en la ruta Durango a Monterrey corresponde al 7.2% del total de los accidentes. De información proporcionada por las oficinas de la PFP Durango, mencionan que aproximadamente el 65% de los accidentes se presentan en la carretera libre y un 35% por la carretera de cuota, y basado en esta información podemos deducir que el 4.5% de los accidentes se presentan en la carretera libre y el 2.5% en la carretera de cuota. A continuación se muestra el procedimiento para obtener la probabilidad de que haya un choque (accidente) dado que hubo un accidente en la carretera libre y de manera similar se hace para todos los tipos de accidente y para las dos rutas, los resultados se muestran en la tabla 12.1.

Sean Ch: la probabilidad de que haya un choque, y AL: la probabilidad de que haya un accidente en la carretera libre. La probabilidad de que haya un choque dado que hubo un accidente en la carretera libre es

$$P(Ch \setminus A_L) = \frac{P(A_L \setminus Ch)P(Ch)}{P(A_L)} \quad (12.2)$$

$$P(Ch \setminus A_L) = \frac{8797}{15212} = 0.578 \quad (12.3)$$

Por tanto la probabilidad de que haya un accidente en la ruta de Durango a Monterrey por la carretera libre es  $(0.045 * 0.578) = 0.0269$ , es decir el 2.69%.

**Tabla 12.1** Tipos de Accidente

Simbología	Tipo de Accidente	Promedio Anual	Carretera Libre		Carretera de Cuota	
			Teorema de Bayes	Ruta (Dgo-Mty)	Teorema de Bayes	Ruta (Dgo-Mty)
Ch	Choque	13534	0.578	0.027	0.578	0.015
SC	Salida de Camino	7484	0.320	0.015	0.320	0.008
V	Volcadura	1253	0.054	0.002	0.054	0.001
A	Atropellamiento	618	0.026	0.001	0.026	0.001
I	Incendio	154	0.007	0.000	0.007	0.000
DR	Desprendimiento de Remolque	103	0.004	0.000	0.004	0.000
DN	Desprendimiento de Neumático	93	0.004	0.000	0.004	0.000
CC	Caída de Carga	50	0.002	0.000	0.002	0.000
O	Otros	116	0.005	0.000	0.005	0.000
Estimación de Severidad						

El objetivo del análisis de consecuencias es cuantificar el impacto negativo de un evento, y éste se puede estimar de una manera cuantitativa o cualitativa o en ambas. Los procedimientos cualitativos a menudo utilizan categorías relativas como son: severo, moderado o insignificante, dependiendo de la severidad del incidente. Los procedimientos cuantitativos estiman el nivel esperado de severidad en términos del número de muertos, heridos, etc., AICHe (1989).

La estimación de la severidad para nuestro caso se hace en forma cuantitativa, pero a diferencia de lo que dice AICHe (1989), en este caso la estimación es en términos del costo que puede ocasionar al transportista cuando se presenta un incidente. En la tabla 3 se muestra una estimación de la severidad en pesos mexicanos para cada categoría de accidente que comúnmente se presenta en México. La información está basada en una cotización proporcionada por AXA Seguros México. El deducible que se considera es: daños materiales del 5%, robo de la unidad del 10% y el valor factura de la mercancía del 1%. Los cálculos mostrados en la tabla son basados en un camión Kenworth T600 de costo aproximado de \$MX400,000.

**Tabla 12.2** Estimación de severidad

Causas	Valor Camión (5%)	Comercial	Deducible Fijo	Mercancía (1%+iva)	Severidad (pesos mexicanos)
Choque			26255	1044	27299
Salida de Camino			26255		26255
Volcadura	20000			1044	21044
Atropellamiento			26255		26255
Incendio	20000			1044	21044
Desprendimiento de Remolque			26255	1044	27299
Desprendimiento de Neumático			26255		26255
Caída de Carga				1044	1044
Otros			40000	1044	41044

Por último es necesario hacer una estimación total del riesgo para la carretera libre y para la carretera de cuota. El riesgo total resulta de multiplicar la probabilidad de accidente por la severidad y por último hacer la suma. El resultado se muestra en la tabla 4 y representa el costo que generaría para el transportista en caso de existir un evento (accidente).

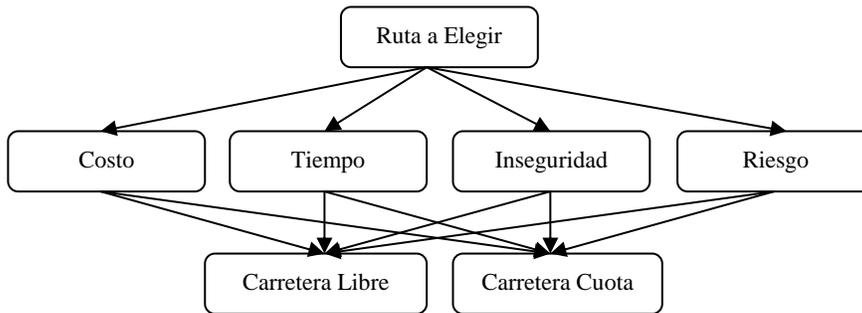
**Tabla 12.3** Estimación del riesgo

Causas	Riesgo Libre	Riesgo Cuota
Choque	735.9	396.2
Salida de Camino	391.4	210.7
Volcadura	52.5	28.3
Atropellamiento	32.3	17.4
Incendio	6.4	3.5
Desprendimiento de Remolque	5.6	3.0
Desprendimiento de Neumático	4.8	2.6
Caída de Carga	0.1	0.1
Otros	9.5	5.1
Total	1238.5	666.9

## Elección de Ruta

El primer paso en AHP es la construcción de una representación gráfica del problema en términos del objetivo perseguido, los criterios, sub-criterios y alternativas de decisión. La figura 1 muestra la jerarquía y sus niveles para el problema del transportista.

**Figura 12** Jerarquías y niveles



Para el uso de AHP, el decisor deberá de especificar mediante sus juicios la relativa importancia que tiene cada uno de los criterios en el alcance del objetivo programado, Barzilai y Golany (1987). La evaluación será realizada mediante preguntas como por ejemplo, dados los criterios de costo y tiempo. ¿Cuál es más importante en el alcance de la determinación de la ruta a seguir? Similares comparaciones se deben realizar para los otros criterios, para así generar la matriz de comparaciones apareadas, Saaty (1992).

El transportista cree, por ejemplo, que el tiempo es mucho menos importante que el costo, por lo que le asigna un  $1/7$ . Como resultado de esta asignación, automáticamente concluimos que los tiempos de entrega son  $1/7$  de importante con respecto al costo de transporte, por lo tanto la comparación inversa quedará evaluado como  $7$  al hacer la misma comparación, tal y como se indica en la matriz.

	Costo	Tiempo	Inseguridad	Riesgo
<i>Costo</i>	1	7	3	5
<i>Tiempo</i>	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{3}$	2
<i>Inseguridad</i>	$\frac{1}{3}$	3	1	3
<i>Riesgo</i>	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1

$$(12.4)$$

Ahora se normalizará la matriz anterior, para la cual se hace uso de la técnica sugerida por Saaty (1992), en la cual se suman cada uno de los renglones de la matriz, dividiendo estos resultados entre la suma de todos ellos, la tabla 5 muestra los resultados.

**Tabla 12.4** Normalización del segundo nivel de jerarquía

	Costo	Tiempo	Inseguridad	Riesgo	Suma	Normalización
Costo	1.00	7.00	3.00	5.00	16.00	0.554
Tiempo	0.14	1.00	0.33	2.00	3.47	0.120
Inseguridad	0.33	3.00	1.00	3.00	7.33	0.254
Riesgo	0.20	0.50	0.33	1.00	2.03	0.070

Así el vector  $W$  es igual a,

$$W = \begin{bmatrix} 0.554 \\ 0.120 \\ 0.254 \\ 0.070 \end{bmatrix} \quad (12.5)$$

La relación de consistencia (CR) que se obtuvo al hacer las comparaciones pareadas para estos aspectos es de 0.087, y de acuerdo a lo establecido por (Condon et. al 2002) este valor es aceptable.

El siguiente paso es realizar las comparaciones apareadas para cada una de las alternativas de decisión con respecto a cada uno de los criterios. En la siguiente matriz se ilustra solamente el cálculo con respecto al riesgo.

$$\begin{array}{l} \text{Libre} \\ \text{Cuota} \end{array} \begin{bmatrix} \text{Libre} & \text{Cuota} \\ 1 & \frac{1}{7} \\ 7 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W_R = \begin{bmatrix} 0.125 \\ 0.875 \end{bmatrix} \quad (12.6)$$

Comparaciones similares se realizan para cada uno de los otros tres criterios. El conjunto de pesos o ponderaciones para alternativas con respecto a cada uno de los criterios se resume en la siguiente matriz.

$$\begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{Tiempo} \\ \text{Inseguridad} \\ \text{Riesgo} \end{array} \begin{bmatrix} \text{Libre} & \text{Cuota} \\ 0.900 & 0.100 \\ 0.166 & 0.833 \\ 0.333 & 0.666 \\ 0.125 & 0.875 \end{bmatrix} \quad (12.7)$$

Finalmente, la proporción de utilización de la carretera libre y la carretera de cuota se obtienen multiplicando los pesos o ponderaciones asignadas.

$$\begin{matrix} \text{Libre} \\ \text{Cuota} \end{matrix} = 0.554 \begin{bmatrix} 0.900 \\ 0.100 \end{bmatrix} + 0.120 \begin{bmatrix} 0.166 \\ 0.833 \end{bmatrix} + 0.254 \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0.666 \end{bmatrix} + 0.070 \begin{bmatrix} 0.125 \\ 0.875 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} \text{Libre} \\ \text{Cuota} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.612 \\ 0.383 \end{bmatrix} \quad (12.8)$$

## 12.4 Conclusiones

El análisis bayesiano puede ser utilizado como herramienta para estimar el nivel de riesgo al cual se enfrenta en cada viaje un transportista que transita por la ruta de Durango a Monterrey en la región norte de México. Y al relacionar la severidad con la probabilidad de suceso de un evento en particular (accidente), entonces podemos obtener el riesgo total representado como una pérdida económica medida en pesos mexicanos cuando se presenta un accidente. De la tabla 4, podemos ver que el riesgo de sufrir un percance disminuye un 50% aproximadamente al decidir transitar por la carretera de cuota en lugar de transitar por la carretera libre.

Basados en la experiencia e intuición del transportista, podemos ver que el 61.2% deciden transitar por la carretera libre y solo un 38.3% lo hacen por la carretera de cuota.

Por experiencia propia y de acuerdo a las consultas con colegas, el transportista está consciente de que el riesgo de transitar por la carretera libre es muy alto en comparación con la carretera de cuota, sin embargo a la fecha el criterio del costo sigue predominando sobre los otros tres criterios ya que al transitar por la carretera de cuota trae como consecuencia una disminución significativa de las utilidades.

La decisión de dar prioridad al tránsito por la carretera libre también se ve influenciada por las bajas tarifas que se tienen por concepto de transporte y los precios altos del combustible y esto en conjunto hacen que el transportista tome decisiones basadas solo en el costo y considerar en menor grado al riesgo e inseguridad que se vive en las carreteras del norte de México.

## 12.5 Referencias

Alphonse, C. (1997). Application of the Analytic Hierarchy Process in Agriculture in Developing Countries. *Agricultural Systems*, 53, p97-112.

American Institute of Chemical Engineers, AIChE (1989). "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis". AIChE. Centers for Chemical Process Safety.

AXA Seguros México. <http://axa.mx/Personas/AxaSeguros/default.aspx>

Barzilai, J and Golany, B. (1987). Consistent weights for judgements matrices of the relative importance of alternatives. *Operations Research Letters*, 6, p131-134.

Condon E, Golden B, Lele S, Raghavan S, Wasil E. (2002). A visualization model based on adjacency data. *DecisionSupport Systems*, 33, , p349-62.

Desarrollo de Estrategias Empresariales. Instituto de Especialización Para Ejecutivos. Java: Java Home Page. <http://blog.iee.com.mx/wordpress/?p=227>. Revisado en Junio 2013.

Hall R. 2004. Change of Direction: Vehicle Routing Software Survey. *OR/MS Today* 31 (3).

Harker, P. T. and Vargas L. G. (1987). The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 33, p1383-1403.

Montgomery Douglas C. y Runger George C. (1996). *Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería*. Ed. Mc Graw Hill.

Narasimhan, R. (1983). An analytical approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 19, p27-32.

PFM México. Java: Java Home Page.

[http://www.ssp.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=portals\\_portal\\_page\\_m2p1p2&content\\_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=810277](http://www.ssp.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?_nfpb=true&_pageLabel=portals_portal_page_m2p1p2&content_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=810277). Revisado en Junio 2013.

Rivera Balboa 2002. *Metodologías Para la Evaluación del Riesgo en el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*.

Saaty, T. (1992). *Decisión Making for Leaders*. RWS Publication, Pittsburgh, USA.

Shoemaker P. J., Waid C. C., (1982). An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models, *Management Science*, 28 (2), 182-196.

## **Análisis comparativo de la implementación de planes de manejo de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en México**

María Bautista, René Cabrera, Julio Rolón, Roberto Pichardo y Ricardo Tobías

M. Bautista, R. Cabrera, J. Rolón, R. Pichardo y R. Tobías  
División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”. Universidad Autónoma de Tamaulipas, C.P. 89138  
rcabreracruz@yahoo.com.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The national waste law establishes environmental policy instruments to regulate waste management plans that require it. The Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) classified as Special Waste Management (SWM) should be considered in a management plan. In this work, a comparative analysis of the implementation of management plans for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) of the States of the Mexican Republic was performed. To this end, a comparison matrix was developed to identify the relevant criteria for the implementation of management plans for waste electrical and electronic equipment on technical, social and institutional aspects. It was possible to identify the elements for the implementation of management plans REEE, also determined that the states of the northern border and northeast, and the Federal District, and some states of central Mexico have generated elements for the development of plans REEE handling. Finally, the results show the legal criteria that represent management plans and the implications of the technical, social and institutional aspects that need to integrate for implementation.

## 13 Introducción

El manejo inteligente de los residuos sólidos es el énfasis de disponer correctamente de los mismos, la jerarquía de una gestión integral de los residuos implica la reducción en el origen, el tratamiento y la disposición (Tchobanoglous y Kreith, F., 2002).

La Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) establece instrumentos de política ambiental para regular planes de manejo de residuos que así lo requieran, con el fin de establecer una responsabilidad compartida en las acciones para la revalorización de los mismos desde los aspectos técnicos - ambientales, económicos y sociales. Por lo cual se generan Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que contengan los criterios para el desarrollo de dichos planes (Cortinas y Rosillo, 2014; Cortinas, 2006).

La LGPGIR clasifica a los Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos (REEE) como Residuos de Manejo Especial (RME) definiéndolos como aquellos Residuos Tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos y otros, que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico. (DOF 2003).

La NOM-161-SEMARNAT-2011, establece a los REEE como Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo y presenta una clasificación en la cual incluye computadoras personales de escritorio y sus accesorios, computadoras personales portátiles y sus accesorios, teléfonos celulares, monitores con tubos de rayos catódicos (incluyendo televisores), pantallas de cristal líquido y plasma (incluyendo televisores), reproductores de audio y video portátiles, cables para equipos electrónicos, impresoras, fotocopiadoras y multifuncionales. (DOF, 2013). Por lo tanto, la LGPGIR y la NOM-161-SEMARNAT-2011 establecen la necesidad de elaborar Planes de Manejo para los REEE considerando los elementos de un sistema de manejo integral desde su generación, recolección, revalorización y disposición final.

Para el desarrollo de Planes de manejo se debe conocer la generación, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático han llevado a cabo actividades para desarrollar esta primera etapa. En el 2006 se realiza el primer Diagnóstico nacional sobre la generación de REEE en México, en el año 2007 llevan a cabo el Diagnóstico regional en el Noreste de México, elaboran el Diagnóstico regional en la frontera Norte en el 2009 y en el 2010 obtienen los diagnósticos de la Zona Metropolitana del Valle de México y Baja California (INECC, 2011).

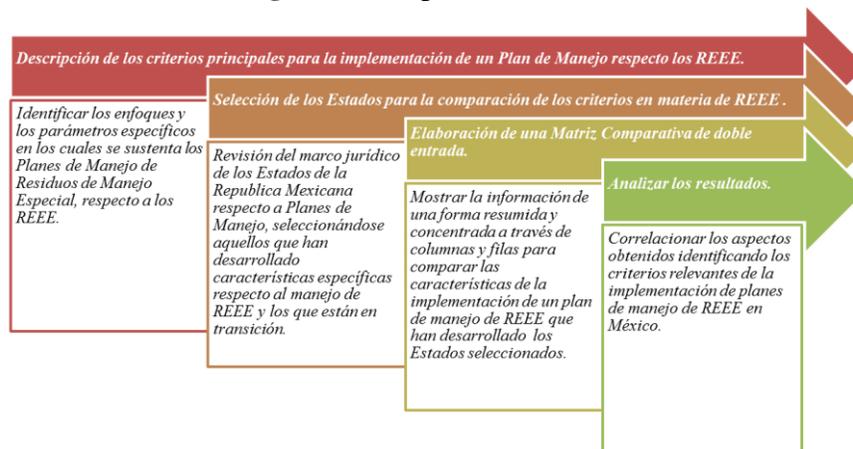
Existen los reglamentos de la LGPGIR donde los Estados realizan planteamientos de las estrategias que llevarán a cabo en cada una de las etapas del sistema de plan de manejo y los programas de ejecución. Actualmente no se sabe con certeza si existen programas de seguimiento de los Planes de Manejo de cada Estado de la República Mexicana y se desconoce la eficacia o eficiencia de estos instrumentos que deben de considerar a los REEE. En algunos casos es difícil el acceso al público, y en algunos otros todavía no han sido elaborados. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es el contrastar la implementación de planes de manejo de REEE en los diferentes Estados de la República Mexicana, mediante el análisis de los principales elementos técnicos, económicos y sociales que debe de comprender un instrumento de esta naturaleza, los resultados del estudio permitirán hacer una evaluación de la efectividad de los planes de manejo de REEE en lo que respecta a los aspectos técnicos - ambientales, económicos y sociales.

### 13.1 Método

En el presente trabajo se utilizó la herramienta de Matriz Comparativa para poder analizar el enfoque de los criterios para la implementación de planes de manejo de REEE, contrastando con los aspectos técnicos, económicos y sociales que implica dicho instrumento desde la perspectiva de los diferentes Estados de la República Mexicana México. Las etapas de desarrollo (Fig. 1) consistieron en:

- Descripción de los criterios principales para la implementación de un Plan de Manejo respecto los REEE, identificando los enfoques en los cuales se sustenta y los parámetros específicos en materia de manejo de REEE.
- Selección de los Estados para la comparación de los criterios en materia de REEE. Se realizó una revisión del marco jurídico de los estados de la República Mexicana respecto a Planes de Manejo, seleccionándose aquellos que han desarrollado características específicas respecto al manejo de REEE y los que están en transición.
- Elaboración de una Matriz Comparativa de doble entrada que muestre la información de una forma resumida y concentrada a través de columnas y filas, principalmente para comparar las características de la implementación de un plan de manejo de REEE que han desarrollado los Estados seleccionados (Arandia et al., 2010)
- Analizar los resultados correlacionando los aspectos obtenidos identificando los aspectos relevantes de la implementación de planes de manejo de REEE en México.

**Figura 13** Etapas de desarrollo



## 13.2 Resultados

### Descripción de los criterios principales para la implementación de un Plan de Manejo

Los Planes de Manejo son Instrumentos cuyo objetivo es el minimizar la generación y maximizar la valorización de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos De Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) específicos, en los criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Los Planes de Manejo de Residuos están diseñados bajo el principio de responsabilidad compartida y manejo integral, los cuales consideran el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres órdenes de gobierno (SEMARNAT, 2014).

La LGPGIR en su artículo 27 establece que los fines y objetivos de un Plan de Manejo son la prevención y valorización de los residuos, el establecimiento de modalidad de manejo de acuerdo a las características del residuo así como establecer esquemas que apliquen la responsabilidad compartida, para alcanzar el manejo integral de los residuos (DOF 2003).

Los elementos clave que comprenden los Planes de Manejo son:

- Procedimientos técnicos en sus tres etapas: generación, valorización y disposición final.
- Estrategias de difusión a los usuarios de las acciones de disposición de los productos al final de su vida útil.
- Difusión de procedimiento de prevención de riesgos en el manejo de los residuos.
- El involucrar a los actores correspondientes para la determinación de responsabilidades, formulación y ejecución de la parte correspondiente.

La LGPGIR clasifica a los REEE como RME por lo cual deben desarrollarse planes de manejo específicos. Esta clasificación enfrenta dificultades en su aplicación, pues un REEE puede ser un RP por sus componentes tóxicos, un RSU por su origen además de un RME por sus características de ensamblado. Los componentes tóxicos que contienen los REEE están estimados alrededor del 2% de su peso total, causando afectaciones a la salud y al ambiente. En la Tabla 1, se identifican algunas de las sustancias y daños que causan los REEE.

Dentro de las afectaciones se incluyen desde cáncer hasta daños acumulativos en el ser humano, por medio de bio-acumulación de sustancias, daños a los ecosistemas, emisión de gases como dioxinas, furanos y GEI (Wu *et al.*, 2012; Kiddee *et al.*, 2013; Ojeda-Benitez *et al.*, 2013).

**Tabla 13.1** Daños a la Salud y al Medio Ambiente por las sustancias y materiales contenidos en un RE.

Materiales	Daños a la Salud	Daños al medio ambiente
Materiales ignífugos bromados	Cancerígenos y neurotóxicos; pueden interferir asimismo con la función reproductora.	En los vertedores son solubles, en ciertas medidas volátiles, bio-acumulativos y persistentes. Al incinerarlos se generan dioxinas y furanos.
Cadmio (Cd)	Posibles efectos irreversibles en los riñones; provocan cáncer o inducen a la desmineralización ósea.	Bio-acumulativo, persistente y tóxico para el medio ambiente.
Cromo VI (Cr)	Provoca reacciones alérgicas; en contacto con la piel, es cáustico y genotóxico.	Las células lo absorben muy fácilmente; efectos tóxicos.
Plomo (Pb)	Posibles daños en el sistema nervioso, endocrino y cardiovascular; también en los riñones.	Acumulación en el ecosistema; efectos tóxicos en la flora, la fauna y los microorganismos.
Níquel (Ni)	Puede afectar a los sistemas endocrinos e inmunológicos, a la piel y a los ojos.	Efectos tóxicos en la flora, la fauna y los microorganismos. Disuelto en el agua, se va acumulando en los organismos vivos.
Mercurio (Hg)	Posibles daños cerebrales; impactos acumulativos.	Disuelto en el agua, se va acumulando en los organismos vivos.

Fuente: SEMARNAT 2009; Skinner et al., 2010; Zhang *et al.*, 2012.

La Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 establece los criterios para clasificar a los RME y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo (DOF, 2013). Dichos criterios son:

- En base a un Diagnostico Básico Estatal o un Estudio Técnico – económico.
- Determinar el volumen de generación que represente al menos el 10% del total de los Residuos de Manejo Especial.
- Que los componentes pueden ser revalorizados y económicamente factibles a terceros.

Además presenta el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado los cuales corresponden al Estado la solicitud de inclusión o exclusión de un Residuo de Manejo Especial al listado de la norma. Lo cual es con el fin de mejorar el control o aprovechamiento de un residuo específico, a través de los Planes de Manejo.

Los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo son:

- Elementos Generales. Los elementos generales que debe contener el Plan de Manejo independientemente de su modalidad son Información general, Modalidad del Plan de Manejo y su ámbito de aplicación territorial, Residuo(s) objeto del plan, Diagnóstico del Residuo.
- Formas de manejo integral propuestas para el residuo.
- Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo.
- Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional.

- Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los
- mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo.
- De ser aplicable, especificar los participantes del plan y su actividad.
- De ser aplicable indicar los mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general.
- Elementos Adicionales.

Tanto en la LGPGIR como en la norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, se establece la necesidad de que los REEE cuenten con un Plan de Manejo, entendido como un instrumento regulatorio de política ambiental capaz de inducir una revalorización en este tipo de residuos (DOF 2003; DOF, 2013). En la Tabla 2, se identifican los criterios que manejan la Ley y la norma referente a un plan de Manejo de residuos. Se determina que los criterios se basan en los aspectos técnicos-ambientales, económicos y sociales.

**Tabla 13.2** Criterios de un Plan de Manejo de Residuos.

**LGPGIR**

1. Procedimientos técnicos en sus tres etapas: generación, valorización y disposición final.
2. Estrategias de difusión a los usuarios de las acciones de disposición de los productos al final de su vida útil.
3. Difusión de procedimiento de prevención de riesgos en el manejo de los residuos.
4. El involucrar a los actores correspondientes para la determinación de responsabilidades, formulación y ejecución de la parte correspondiente.

**NOM-161-SEMARNAT-2011**

- a) Elementos Generales. Los elementos generales que debe contener el Plan de Manejo independientemente de su modalidad son Información general, Modalidad del Plan de Manejo y su ámbito de aplicación territorial, Residuo(s) objeto del plan, Diagnóstico del Residuo.
- b) Formas de manejo integral propuestas para el residuo.
- c) Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo.
- d) Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional.
- e) Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los
- f) mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo.
- g) De ser aplicable, especificar los participantes del plan y su actividad.
- h) De ser aplicable indicar los mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general.
- i) Elementos Adicionales.

Fuente: DOF 2003, DOF 2013.

**Selección de los Estados para la comparación de los criterios en materia de REEE.**

Se realizó una revisión del marco jurídico de los Estados de la República Mexicana de los cuales se detectaron los Estados en los que cuentan con la ley, reglamento, programa y plan de manejo de Residuos y aquellos que cuentan con iniciativas de manejo de REEE. En la Tabla 3, se muestran las leyes, reglamentos, programas y planes que manejan los 32 Estados referente a residuos. Se encontró que hay algunos estados que no tienen reglamento y plan estatal como es el caso Campeche, Tlaxcala y Zacatecas.

**Tabla 13.3** Revisión del marco jurídico de residuos de los Estados de la Republica.

Estados	Ley	Reglamento	Programa	PLAN	Sitio Web
Aguascalientes	Ley de Protección ambiental del Estado de Aguascalientes		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos de Aguascalientes (documento para revisión)	Manual de integración y funcionamiento del comité de adquisiciones y enajenaciones del organismo público intermunicipal, sistema intermunicipal de manejo de residuos sólidos "SIMAR"	<a href="http://www.aguascalientes.gob.mx/gobierno/leyes.aspx">Http://www.aguascalientes.gob.mx/gobierno/leyes.aspx</a>
Baja California	Ley de prevención y gestión integral de residuos para el Estado de Baja California	Reglamento de la ley de equilibrio ecológico y protección al ambiente del estado de baja california	Programa para la prevención y gestión integral de residuos de manejo especial del estado de baja california	Aplicación de un plan de manejo de residuos electrónicos en ensenada baja california	<a href="http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/index.jsp">Http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/index.jsp</a>
Baja California Sur	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del Estado de Baja California Sur.		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos para el estado de baja california sur		<a href="http://www.bcs.gob.mx/">Http://www.bcs.gob.mx/</a>
Campeche	Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.			Plan de acción ambiental	<a href="http://www.campeche.gob.mx/">Http://www.campeche.gob.mx/</a>
Coahuila	Ley para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Coahuila		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Coahuila de Zaragoza	Manejo integral de Residuos Eléctricos / electrónicos (iniciativa)	<a href="http://coahuila.gob.mx/">Http://coahuila.gob.mx/</a>
Colima	Ley de los Residuos Sólidos del Estado de Colima		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del estado de colima		<a href="http://www.colima-estado.gob.mx/">Http://www.colima-estado.gob.mx/</a>
Chiapas	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al medio Ambiente para el Estado de Chiapas		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del municipio de Chiapas		<a href="http://www.chiapas.gob.mx/">Http://www.chiapas.gob.mx/</a>
Chihuahua	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el Edo. De Chihuahua		<a href="http://www.chihuahua.gob.mx/">Http://www.chihuahua.gob.mx/</a>
Distrito Federal	Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	Reglamento de la ley de residuos sólidos del distrito federal.	Programa de gestión integral de los residuos sólidos del Distrito Federal	Iniciativa de reforma de la ley de residuos sólidos del distrito federal respecto a REEE	<a href="http://www.df.gob.mx/">Http://www.df.gob.mx/</a>

Durango	Ley Estatal de equilibrio Ecológico y protección al ambiente		Programa de prevención y gestión integral de residuos del estado de Durango		<a href="http://www.durango.gob.mx/">Http://www.durango.gob.mx/</a>
Estado de México	Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos		Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del estado de México	Plan de manejo de residuos solidos	<a href="http://portal2.edomex.gob.mx/edomex/inicio/index.htm?Sssourcenodeid=498&amp;sssourceiteid=edomex">Http://portal2.edomex.gob.mx/edomex/inicio/index.htm?Sssourcenodeid=498&amp;sssourceiteid=edomex</a>
Guanajuato	Ley para la Gestión Integral de Residuos del Estado y los Municipios de Guanajuato y sus municipios.		Programa Estatal para el reciclaje de Residuos Tecnológicos (Reciclón)		<a href="http://www.guanajuato.gob.mx/">Http://www.guanajuato.gob.mx/</a>
Guerrero	Ley para el Aprovechamiento y gestión integral de los residuos Sólidos del Estado de Guerrero		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos de guerrero		<a href="http://guerrero.gob.mx/">Http://guerrero.gob.mx/</a>
Hidalgo	Ley de prevención y gestión integral de residuos para el Estado de Hidalgo		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial		<a href="http://www.hidalgo.gob.mx/">Http://www.hidalgo.gob.mx/</a>
Jalisco	Ley de Gestión Integral de los Residuos del Estado de Jalisco		Programa para la prevención y gestión de residuos sólidos del estado de Jalisco (propuesta) Programa de gestión integral de residuos sólidos de puerto Vallarta Jalisco		<a href="http://www.jalisco.gob.mx/">Http://www.jalisco.gob.mx/</a>
Michoacán	Reglamento para la Gestión Integral Sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos (varios municipios)		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos en Michoacán de Ocampo	Manejo de los residuos eléctricos y electrónicos de la universidad michoacana de san Nicolás de hidalgo	<a href="http://www.michoacan.gob.mx/">Http://www.michoacan.gob.mx/</a>
Morelos	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Morelos	Reglamento de la ley de residuos sólidos para el estado de Morelos	Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos para el estado de guerrero		
Nayarit	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente para el Estado de Nayarit		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos para el estado de Nayarit		<a href="http://www.nayarit.gob.mx/">Http://www.nayarit.gob.mx/</a>
Nuevo León	Ley Ambiental de Nuevo León		Programa estatal de gestión integral de residuos de nuevo león	Plan de manejo ambiental "corredor de transporte publico Lincoln-Ruiz Cortines"  Diagnostico de impacto de residuos electrónicos en nuevo Laredo	<a href="http://www.nl.gob.mx/">Http://www.nl.gob.mx/</a>

Oaxaca	Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos		Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del estado de Oaxaca		<a href="http://www.oaxaca.gob.mx/">Http://www.oaxaca.gob.mx/</a>
Puebla	Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla	Reglamento para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla	Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Puebla		<a href="http://www.puebla.gob.mx/">Http://www.puebla.gob.mx/</a>
Querétaro	Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Querétaro	Reglamento de la ley de prevención y gestión integral de residuos del estado de Querétaro	Programa para la prevención y gestión integral de residuos del estado de Querétaro		<a href="http://www.queretaro.gob.mx/">Http://www.queretaro.gob.mx/</a>
Quintana Roo	Ley para la prevención y la gestión integral de residuos del Estado de Quintana Roo		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos en el estado de Quintana Roo		<a href="http://www.qroo.gob.mx/qroo/index.php">Http://www.qroo.gob.mx/qroo/index.php</a>
San Luis Potosí	Ley para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	Reglamento de ecología para el municipio de san Luis Potosí, S.L.P.			<a href="http://www.sanluispotosi.gob.mx/">Http://www.sanluispotosi.gob.mx/</a>
Sinaloa	Ley del Equilibrio Ecológico y protección al ambiente del Estado de Sinaloa				<a href="http://www.sinaloa.gob.mx/">http://www.sinaloa.gob.mx/</a>
Sonora	Ley de equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para el Estado de Sonora		Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos de sonora		<a href="http://www.sonora.gob.mx/swb/">Http://www.sonora.gob.mx/swb/</a>
Tabasco	Ley para la prevención y gestión integral de los residuos del Estado de Tabasco				<a href="http://www.tabasco.gob.mx/">Http://www.tabasco.gob.mx/</a>
Tamaulipas	Ley de protección ambiental para el desarrollo sustentable del Estado de Tamaulipas	Reglamento de prevención y gestión integral de los residuos de manejo especial para el estado de Tamaulipas	Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos en Tamaulipas Programa de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y Manejo Integral de Residuos.		<a href="http://tamaulipas.gob.mx/">Http://tamaulipas.gob.mx/</a>

Tlaxcala	Ley de Ecología y de protección al ambiente del Estado de Tlaxcala				<a href="http://www.tlaxcala.gob.mx/">Http://www.tlaxcala.gob.mx/</a>
Veracruz	Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave		Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial del estado de Veracruz		<a href="http://www.veracruz.gob.mx/">Http://www.veracruz.gob.mx/</a>
Yucatán	Ley de Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Yucatán	Reglamentos (RESIDUOS SÓLIDOS VARIOS MUNICIPIOS)	Programa estatal para la prevención y gestión de los residuos		<a href="http://www.yucatan.gob.mx/">Http://www.yucatan.gob.mx/</a>
Zacatecas	Ley de equilibrio ecológico y Protección al ambiente				<a href="http://www.zacatecas.gob.mx/">Http://www.zacatecas.gob.mx/</a>

La selección de los estados fue en base a que tengan una ley, reglamento, programa y plan de residuos y acciones referentes a REEE. Además de incluir los Estados que han realizado el Diagnóstico de REEE. Con la información anterior se obtuvo (Tabla 4) de los cuales fueron seleccionados 18 Estados.

**Tabla 13.4** Selección de los Estados de la República Mexicana.

Estados	Ley	Reglamento	Programa	Acciones referentes a REEE	Diagnóstico Nacional 2006	Diagnóstico Regional: Región Noreste, 2007	Diagnóstico Regional: Frontera Norte, 2009	Diagnóstico de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2010	Empresas Recicladoras de REEE
Baja California	si	si	si	Aplicación de un plan de manejo de residuos electrónicos en ensenada baja california	si	no	si	no	2
Coahuila	si	no	si	Manejo integral de Residuos Eléctricos / electrónicos (iniciativa)	no	si	no	no	1
Chiapas	si	no	si	no	no	no	no	no	1
Chihuahua	si	no	si		si		si		3

Distrito Federal	si	si	si	Iniciativa de reforma de la ley de residuos sólidos del distrito federal respecto a REEE	si	no	no	si	12
Estado de México	si	no	si	Plan de manejo de residuos solidos	si	no	no	si	6
Guanajuato	si		si	Programa Estatal para el reciclaje de Residuos Tecnológicos (Reciclón)	no	no	no	no	4
Guanajuato	si	no	si	no	no	no	no	no	4
Jalisco	si	no	si	no	si				2
Michoacán	si	no	si	Manejo de los residuos eléctricos y electrónicos de la universidad michoacana de san Nicolás de hidalgo	no	no	no	no	1
Morelos	si	si	si	no	no	no	no	no	4
Nuevo León	si	no	si	Diagnóstico de impacto de residuos electrónicos en nuevo Laredo	si	si	no	no	5
Oaxaca	si	no	si	no	no	no	no	no	1
Puebla	si	si	si	no	no	no	no	no	2
Querétaro	si	si	si	no	si	no	no	no	4
San Luis Potosí	si	si		no	no	no	no	no	3
Tamaulipas	si	si	si	no	si	si	no	no	
Veracruz	si	n	si	no	no	no	no	no	1

## Elaboración de una Matriz Comparativa

Para la elaboración de una Matriz Comparativa la información se debe de presentar de forma resumida y concentrada a través de columnas y filas, (Roscoe y McKeown, 1984; Arandia *et al.*, 2010). Principalmente se identificaron los Criterios de un Plan de Manejo de Residuos los cuales se describieron en la Tabla 2. Lo anterior se comparó con la información recabada de los Estados seleccionados (Tabla 4), manejando una escala de valores de “1” si cumple y con “0” si no se cumple con el aspecto a comparar. Realizándose al final una sumatoria de los puntos de cada Estado, para contrastar los resultados obtenidos.

En la Tabla , se muestra los criterios que se deben de contar para el desarrollo de un plan de manejo y la ponderación de cada Estado Seleccionado. Se manejó los criterios que marca la ley, el reglamento y la norma respecto a un plan de manejo en los cuales consistieron en los aspectos técnicos – ambientales en sus tres etapas, acciones de estrategias respecto a los REEE, procedimientos de prevención a la población y el involucramiento de los actores por medio de la Responsabilidad compartida.

**Tabla 13.5** Matriz de comparación.

Estados	Ley	Reglamento	Programa	Acciones respecto a REEE	Generación y traslado		Revalorización		Disposición final		Difusión a los usuarios		Prevención de riesgos en el manejo de los residuos.	Responsabilidad compartida	Total por Estado
					Diagnóstico de generación	Programas de recolección masiva de RE	programas de reciclado	Empresas recicladoras de RE	Sitio de transferencia	Sitio de disposición	Separación de los RE en fuente	Difusión de la ubicación de los centro de confinamiento			
Baja California	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	12
Coahuila	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	12
Chiapas	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	7
Chihuahua	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Distrito Federal	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13
Estado de México	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	12
Guanajuato	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Jalisco	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Michoacán	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9

Morelos	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Nuevo León	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	10
Oaxaca	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	8
Puebla	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Querétaro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	13
San Luis Potosí	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	9
Tamaulipas	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	10
Veracruz	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	8

### 13.3 Discusión

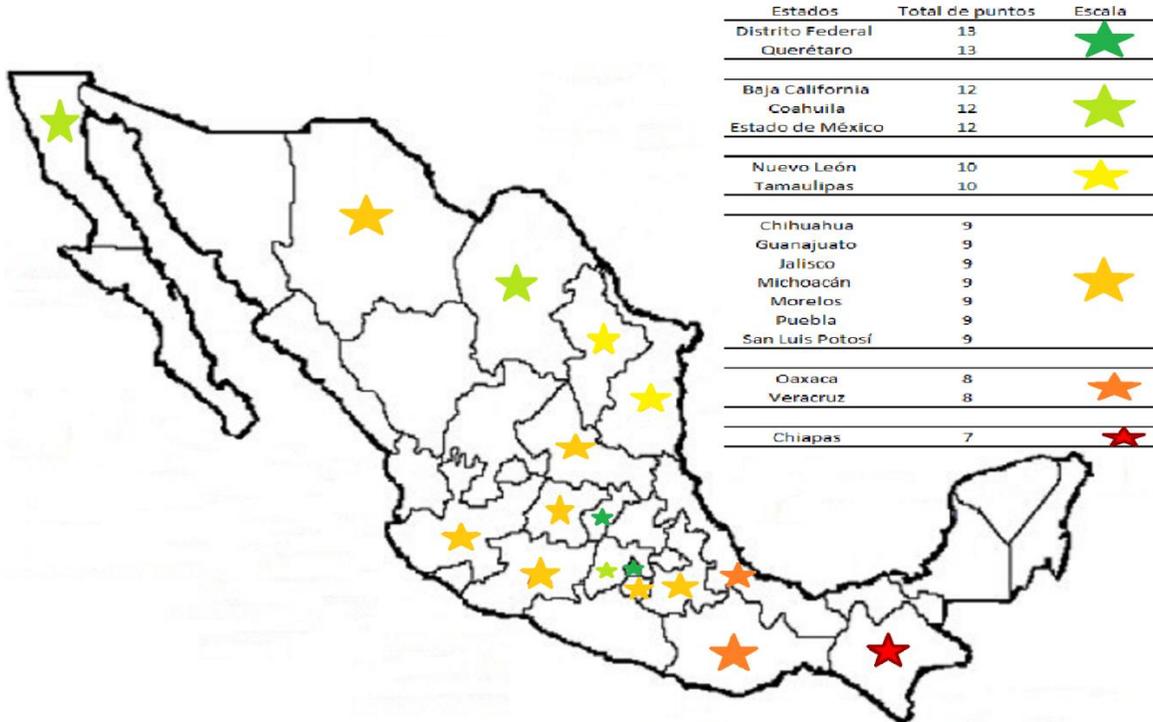
De los resultados obtenidos se puede observar que los Estados de Querétaro y el Distrito Federal (D.F.) obtuvieron 13 puntos, ambos Estados ya tienen un diagnóstico de generación de REEE, el D.F. cuenta con 12 empresas reciclaje de REEE y con una Iniciativa de reforma de la ley de residuos sólidos respecto a REEE y Querétaro tiene 4 empresas en su zona.

Baja California, Coahuila y el Estado de México obtuvieron 12 puntos, los tres estados cuentan con un diagnóstico de generación. El Estado de Baja California cuenta con dos empresas de tratamiento de REEE, además el municipio de Ensenada elaboro un plan de manejo municipal para el manejo de los REEE. En el Estado de México junto con el D.F. tienen una Iniciativa de reforma de la ley de residuos sólidos respecto a REEE y Coahuila hay una empresa de reciclaje, también está promoviendo una iniciativa de Manejo integral de Residuos Eléctricos / Electrónicos.

Nuevo León y Tamaulipas obtuvieron 10 puntos ambos estados tienen un diagnóstico de generación, solo Nuevo León tiene 5 empresas que dan tratamiento a REEE, Tamaulipas realiza más acciones de acopio y difusión.

Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla y San Luis Potosí alcanzaron 9 puntos la mayoría cuentan con programas de recolección y por lo menos una empresa recicladora de REEE, solo Jalisco y Chihuahua cuentan con un diagnóstico de generación. Oaxaca y Veracruz obtuvieron 8 puntos ambos cuentan con acciones de difusión y mínimo una empresa recicladora de REEE. El Estado de Chiapas solo obtuvo 7 puntos tiene una empresa de recicladora de REEE.

En la Fig. 2, se puede apreciar por medio de una escala de colores los Estados que tienen poseen acciones para la implementación de un plan de manejo de REEE. Los Estados del centro de la República donde se concentra más población son los que han realizado más acciones para la implementación de igual manera le siguen los de la frontera noreste y norte por su cercanía a la frontera con Estados Unidos.

**Figura 13.1** Resultados de la comparación entre Estados de la República Mexicana

### 13.4 Conclusiones

El análisis realizado en este estudio se logró describir los criterios de un Plan de Manejo de acuerdo a la LGPGIR y la NOM 161. Ambos establecen la necesidad de realizar planes de manejo a los RME, donde se encuentran los REEE. Se identificó los enfoques técnico-ambiental, económico y social en los cuales se sustentan los parámetros específicos en materia de planes de manejo. Logrando revisar el marco jurídico de los Estados de la República Mexicana respecto a residuos sólidos. Con la información que se recabo, se pudo excluir aquellos Estados que no contemplan un marco jurídico de manejo de residuos ni tuvieran acciones respecto a los REEE.

La elaboración de la Matriz Comparativa permitió principalmente comparar las acciones que han realizado los Estados seleccionados respecto a los criterios que establecen la ley y la norma, respecto a planes de manejo y las acciones que han llevado para el desarrollo de un plan de manejo de REEE.

El análisis comparativo de los resultados obtenidos muestra que México se encuentra en transición respecto a los REEE. El 56% de los Estados ya han realizado mínimo una acción para el manejo de REEE, lo cual permite fijar las áreas de oportunidad para el desarrollo de planes de manejo específicamente de REEE. Cabe mencionar que una de limitantes fue la dificultad acceso a la información de los Estados, en algunos casos por la falta de actualización de la misma.

Las perspectivas de este trabajo aportar las bases para el desarrollo de un plan de manejo para los REEE integrando los aspectos técnicos, económicos, sociales, legales e institucionales. Es recomendable la continuación de la investigación con el fin de poder detallar los aspectos de un plan de manejo para los REEE a nivel municipal. Se podría mencionar que existen áreas de oportunidad que todavía faltan de explorar respecto a los REEE.

### 13.5 Referencias

- Arandia I.; LODE, M.; Ledezma, J. L.; Piana, R. S., Ortiz, E. E.; Fernández, J. J.; Villegas, A.; Nieme, V.; Arcudia, C. E.; Bazó, A.; Alconcé, J.; Romero, M. y Peñaranda, Y. (2010). Estructuras de administración de justicia en Estados compuestos: un estudio comparativo. *Órgano Judicial; Instituto de la Judicatura de Bolivia*; Dirección de Información, Investigación y Documentación Jurídica. ISBN: 978-99954-0-946-3. Sucre, Bolivia. 598 p.
- Cortinas D. N., C. (2006). La gestión integral de Residuos de Manejo Especial (Residuos Electrónicos, Llantas, Pilas y Baterías Usadas). Memorias. *Foro Internacional "Hacia la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos"* del 23 al 25 de Mayo de 2006.
- Cortinas D. N., C. y Rosillo, I. (2014). El estado actual de los residuos y el reciclaje en México Historia de la legislación en la materia. Memorias. *Foro para el "Manejo Sustentable de los Residuos y de los Materiales Reciclables en México"*. Palacio Legislativo de San Lázaro el 04 de abril de 2014.
- DOF (2003). *Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada. México D.F. 07 de junio del 2013.
- DOF (2013). *NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011*. Diario Oficial de la Federación. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. México D.F. 01 de febrero de 2013
- INECC (2011). Elaboración de un documento integrado de la información generada de los proyectos nacionales y la experiencia en otros países en materia de residuos electrónicos. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Contrato No. INE/ADA-004/2011
- Kiddee, P., Naidu, R., y Wong, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33(5), 1237-1250.
- Ojeda-Benitez, S., Cruz-Sotelo, S. E., Velázquez, L., Santillán-Soto, N., Nuñez, M. Q., Cueto, O. R. G., y Markus, W. (2013). Electrical and Electronic Waste in Northwest Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 4, 405-410.
- Roscoe D., K. y McKeown P. (1984). *Quantitative Models for Management*. Second Edition. Kent Publishing Company. USA. 758p.
- SEMARNAT (2009). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 – 2012. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Gobierno Federal, México. 174pp.
- SEMARNAT (2014). Planes de Manejo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>
- Skinner, A.; Dinter, Y.; Lloyd, A. y Strothmann, P. (2010). The Challenges of E-Waste Management in India: Can India draw lessons from the EU and the USA?. *ASIEN*, 117, 7-26.

Tchobanoglous G. y Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. Second Edition. McGraw-Hill. 834pp.

Wu, J., Zhang, Y., Luo, X., She, Y., Yu, L., Chen, S., & Mai, B. (2012). A review of polybrominated diphenyl ethers and alternative brominated flame retardants in wildlife from China: Levels, trends, and bioaccumulation characteristics. *Journal of Environmental Sciences*, 24(2), 183-194.

Zhang, K.; Schnoor, J. y Zeng E. (2012). E Waste Recycling: Where Does It Go from Here?. *American Chemical Society; Environmental Science & Technology*, 46(20), 10861–10867.

## **Análisis de la capacidad de producción de energía por medio de tratamiento biológico de los residuos generados en los rastros del estado Guanajuato**

Miriam Medina, Oscar Vargas, Claudia Bustamante, Vicente Cisneros, Alberto Vázquez

M. Medina, O. Vargas, C. Bustamante, V. Cisneros y A. Vázquez  
Universidad Tecnológica de Salamanca, 204  
mmedina@utsalamanca.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The estimation of the capacity of production of useful energy within town slaughterhouse of Guanajuato State is of great importance, since there is no appropriate management of waste generated by the slaughter and dressing of animals causing severe environmental damage so it is important to find a viable alternative that not only remedy the problem but also provide an input and is biogas which can be converted into electricity and heat through a heat and power co-generator to be utilized within the same slaughterhouse. The results of statistical analysis on the number of animals that are slaughtered annually in Guanajuato State show that biological treatment would generate enough electricity to supply a slaughterhouse and even a surplus biogas would be generated by setting the self-sustainability of the process.

## 14 Introducción

El Estado de Guanajuato esta localizado en la mesa central y al sur de la altiplanicie mexicana; posee una extensión territorial de 30,628.17 Km<sup>2</sup> (1.6% del territorio nacional) y una población de 5'486,372 habitantes y con una tasa de crecimiento poblacional del 1.6% (INEGI, 2010a), lo que lo coloca en el sexto estado mas poblado a nivel nacional. Con los datos anteriores se puede establecer que satisfacer la necesidad de alimento para todos los habitantes del Estado, específicamente carne no es una tarea sencilla.

La producción de carne en condiciones sanitarias adecuadas es una necesidad colectiva de suma importancia, la industria encargada de satisfacer dicha necesidad en nuestro país es conocida como rastro.

Un rastro o matadero es todo aquel establecimiento donde se lleva a cabo el sacrificio y faenado de animales para abasto (NOM-194-SSA1-2004).

Los rastros pueden ser municipales, privados y tipo inspección federal (TIF). El número total de rastros en México es de 1,151 de los cuales 54 pertenecen al Estado de Guanajuato siendo 37 municipales, 10 privados y 7 tipo TIF (SAGARPA, 2013).

**Figura 14** Residuos generados dentro de los rastros: estiércol, contenido ruminal y sangre y vísceras colectadas



Fuente: Elaboración propia

Todos los Rastros generan, en las diferentes etapas del proceso de obtención de carne, un importante volumen de aguas residuales que son vertidas directamente a cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagunas) o al drenaje municipal, recibiendo tratamiento posterior un pequeño porcentaje del total de las aguas vertidas, y una gran cantidad de residuos sólidos como el contenido estomacal e intestinal de los animales, sangre o carne rechazada (figura 14).

La cantidad y composición de los residuos líquidos y sólidos generados en los procesos de sacrificio dependen del tipo de animal que se sacrifique, de los métodos de sacrificio y del tipo de equipo utilizado. En la Tabla 1 se presentan las principales fuentes de generación de residuos dentro de un rastro típico (Medina, 2010). Estos residuos generan un grave problema ambiental y de salud pública.

**Tabla 14** Fuentes de generación de los residuos dentro del rastro

PROCESO	RESIDUO GENERADO
Encorralamiento de animales	Animales muertos, estiércol, paja y forraje
Matanza (desangrado)	Sangre
Remoción de pieles (desollado)	Sangre y pelo
Inspección de carne	Carne rechazada
Manejo de canales	Residuos de corte, carne rechazada y grasa
Manejo de vísceras	Contenido estomacal o intestinal
Limpieza general	Trozos de carne, coágulos de sangre
Curado de pieles	Aguas residuales con alto contenido de sales
Servicios (oficinas y sanitarios)	Papel, residuos de oficin, aguas residuales

Fuente: Medina, 2010

Durante el 2013, el Estado de Guanajuato fue uno de los principales productores del país de carne en canal de los cuatro tipos de ganado (bovino, porcino, ovino y caprino). Con respecto a la producción de carne en canal de ganado bovino y porcino se encuentra en el tercer lugar con un 7.7% y 8.2% del total de la producción a nivel nacional, respectivamente. Para la producción de carne de ganado ovino se encuentra en sexto lugar con un 7.4% de la producción nacional, y con respecto a la producción de carne de ganado caprino se encuentra en primer lugar con un 26.3% de la producción total nacional. El número de cabezas sacrificadas en los rastros municipales (incluye ganado bovino, porcino, ovino y caprino) en Guanajuato fue de 577,112 lo que representa el 7.94% a nivel nacional, generando una producción de carne en canal de 72,027 toneladas, la cual se distribuyó de la siguiente manera: 61.79% de carne bovina, 37.43% porcina, 0.3% ovina y el restante 0.48% de caprina (INEGI, 2014), contribuyendo a la generación de residuos.

Estudios previos han demostrado que los residuos tanto líquidos como sólidos que se generan en los rastros pueden ser tratados por digestión anaerobia para la producción de biogás, algunos de los estudios se muestran en la tabla 2. La digestión anaerobia es un proceso biológico donde un conjunto de diferentes microorganismos en ausencia de oxígeno son capaces de degradar la materia orgánica produciendo una mezcla de gases principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), llamada biogás, y sólidos estabilizados. Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad de residuos orgánicos, ya sean vegetales o animales como los estiércoles, aguas residuales municipales.

El biogás es producido en la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, es por ello que es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, constituido principalmente por 50 – 70% de CH<sub>4</sub> y entre un 30 – 40% de CO<sub>2</sub>, también puede tener fracciones de vapor de agua, trazas de H<sub>2</sub>S e H<sub>2</sub>, y posiblemente otros contaminantes (Deublin y Steinhäuser, 2008). Hay cuatro rutas básicas para la utilización del biogás: producción de calor y vapor, generación/cogeneración de electricidad, como combustible para vehículos, y para producir químicos (Apples *et al*, 2008).

La implementación de sistemas de tratamiento de residuos de rastros óptimos, sustentables y amigables con el medio ambiente es hoy en día una necesidad inminente. El presente estudio proporcionará datos sobre la capacidad de producción de energía útil (eléctrica y calorífica) por medio de la implementación de sistemas de tratamiento biológico de los residuos generados dentro de los rastros del Estado de Guanajuato con la finalidad de dar solución a la problemática ocasionada por el manejo inadecuado de los residuos y a su vez generar energía por medio del aprovechamiento del biogás producido. La energía puede ser utilizada dentro del mismo rastro disminuyendo gastos directos del proceso y al aprovechar el biogás que se genera por la descomposición de los residuos se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y disminuyen los daños ocasionados al suelo y a los sistemas acuáticos, sin embargo la evaluación económica y ambiental será la continuidad al presente trabajo.

**Tabla 14.1** Resumen de estudios previos realizados al biogás

AUTOR (ES)	AÑO	RESIDUO GENERADO
Marcos <i>et al</i>	2010	Realizaron un estudio con residuos sólidos de rastro (con una proporción de 6% sólidos, 10% purines y 84% sangre y agua de limpieza) en un reactor de mezcla completa en continuo en donde se obtuvieron eficiencias de remoción de materia orgánica del 22% así como rendimientos de biogás de 7.84 L por kg de residuo añadido
Álvarez	2004	Realizó una codigestión entre residuos provenientes de rastro y residuos de mercado, comparó diferentes cargas de 15 sólidos donde determinó que la concentración más adecuada fue de 4% de SV obteniendo una productividad de 557 L de metano por kg de SV alimentado. Posteriormente, se llevó el proceso a escala laboratorio, se investigó el efecto en la producción de biogás y la reducción de sólidos volátiles sobre los siguientes factores: temperatura, composición de la mezcla, tiempo de retención y porcentaje de SV en la alimentación. De aquí se determinó que la temperatura más adecuada fue de 36 °C, con una proporción del 17% residuos de mercado, 67% de la mezcla de rumen / sangre y 17% de estiércol. El rendimiento del metano fue de 634 L por kg de SV adicionado.
Flores	2008	Estudió a la digestión anaerobia como tratamiento de residuos de rastro, realizó pruebas en lote y continuo obteniendo eficiencias de 58 y 81% para la remoción de DQO, respectivamente, así como rendimientos de biogás de 16.4 L por kg de residuo alimentado. Al final concluyo, que este tratamiento disminuye la cantidad de los contaminantes orgánicos presentes en este tipo de residuos, biogás y se obtiene un producto estabilizado, susceptible de ser empleado como fertilizante o mejorador de suelos.
Medina	2010	Consistió en comparar el proceso en una y dos etapas, con lo cual se obtuvo que la remoción de materia orgánica es la misma (56% de DQOt) pero la productividad de biogás (0.376 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> * d) es mayor para el proceso de dos etapas con respecto al de una etapa (0.278 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> * d) indicando que en este proceso se maximiza la producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia

## 14.1 Método

El presente proyecto se realizó bajo un esquema metodológico de análisis cuantitativo de tipo deductivo con datos estadísticos proporcionados en instituciones gubernamentales libres al público; a fin de conocer las condiciones actuales en cuanto al impacto de la implementación de sistemas de tratamiento anaerobio de residuos generados en el proceso de matanza y faenado en los Rastros para la obtención de biogás y su conversión a energía eléctrica y/o calorífica.

El estudio se estructuró en dos fases: La primera denominada como fase de investigación y documentación, la cual implica la búsqueda y recolección de información verás para el arranque del proyecto. Entre la información que se obtuvo están las Estadísticas de sacrificio de ganado en rastros municipales por entidad federativa 2008-2013 del INEGI y algunos artículos sobre el rendimiento total de las canales de los diferentes ganados. En la segunda fase se estableció el sistema de tratamiento de los residuos para un rastro, conforme a los diferentes digestores estudiados en la bibliografía. Con los datos obtenidos en la primera fase y el diagrama del sistema de tratamiento se desarrolló una hoja de cálculo (figura 14.1).

Mediante el cual se puede determinar la cantidad de biogás que es posible producir a partir de los residuos alimentados al tren de tratamiento dentro del rastro, los datos utilizados para esta hoja de cálculo son datos teóricos como la energía en el biogás suponiendo una composición de 55% de CH<sub>4</sub> que es el valor medio de lo reportado hasta el momento cuando el biogás no se purifica, el valor energético del metano, también se utilizaron los datos experimentales reportados por Medina (2010) y Medina *et al* (2013), y lo datos calculados en la fase 1 del presente trabajo. También calcula la cantidad de energía térmica / eléctrica que se produciría con dichos residuos, mediante el uso de un cogenerador de calor y potencia (CHP), el cual tiene una eficiencia de 35 y 40% para energía eléctrica y térmica, respectivamente (Murphy et al, 2004). La producción de residuos diaria dentro del rastro es un parámetro que varía dependiendo de la demanda de carne que se tenga en cada municipio, por lo cual se tomo como dato base el obtenido en la primera fase del proyecto de residuo por día como flujo del tren de tratamiento propuesto para correr el programa

**Figura 14.1** Hoja de cálculo para la determinación de la cantidad de biogás y la conversión del mismo en energía eléctrica y calorífica mediante el uso de un cogenerador de calor y potencia (CHP)

A		B		C		D		E		F		G		H		I	
Parámetros		Parámetros		Valor		Parámetros		Valor		Parámetros		Valor		Parámetros		Valor	
14	C4 (m3/día)	2.090	X1% de agua en U1	100	S14	90	Rd.Nf(m) biogas/KgDQ01(alimentada)	0.045	entada)	2.223							
15	S16 g/Kg	174.6	S13	0	%Rem S12	1.51	%Rem S16	10.10	%Rem S18	55.71							
16	S16 g/Kg	123.60	S05	0	%Rem S02	2.21	%Rem S06	3.63	%Rem S08	27.60							
17	DQ010 g/L. Kg/m3	232.32	DQ013	0	%Rem DQ012	2.23	%Rem DQ016	3.72	%Rem DQ018	52.8							
18	DQ050 g/L. Kg/m3	131.09	DQ053	0	%Rem DQ052	-64.77	%Rem DQ056	7.20	%Rem DQ058	53.9							
19	Densidad sustrato (ton/m3)	1.95	Densidad agua (ton/m3)	1	Temperatura residuo, °C		Temperatura Pretratamiento, °C	60									
Nota: El valor que se agrupa en las celdas de cálculo debe estar por debajo de 50 g ST - Kg.																	
20	Parámetros	C8	C4	C3	C4	C5	C6	C7	C8								
21	Flujo (m3/día)	4.32	2.07	2.07	2.07	2.07	14.41	2.07	2.09								
22	Flujo (ton/día)	1.82	1.82	1.82	2.07	2.07	3.89	3.89	3.89								
23	Densidad (ton/m3)	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95								
24	ST	174.60	174.60	174.60	49.00	60.00	44.95	44.95	44.95								
25	S0	123.60	8327.34	1888.34	29.00	88.98	87.28	87.28	87.28								
26	DQ01	232.32	15034.57	14540.48	35.00	152.97	138.10	138.10	138.10								
27	DQ05	131.09	8794.11	13110.82	20.00	130.63	121.14	121.14	121.14								
<b>Datos para balance energético</b>																	
28	Biomasa totala (ton/año)																
29	Producción de biogas(m3/año)																
30	Volumen RA, m3 (TRH-3daa)																
31	Volumen RD, m3 (RM-10daa)																
32	Días de operación al año																
33	Valor energético del metano (MJ/m3)																
34	Composición de CH4 en el biogás%																
35	Composición de CO2 en el biogás%																
36	Valor energético del biogás (MJ/m3)																
37	Energía en el biogás (MJ/año)																
38	Energía en el biogás (KW)																
39	Producción de electricidad KW (35% art. Murphy)																
40	Producción de electricidad KW/año																
41	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio HP																
42	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio KW																
43	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio KW/año																
44	Cap de residuos agredistribuidos, KJ/kg °C																
45	Producción de termal, KW(40% art. Murphy)																
46	Producción termal, KW/año																
47	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KJ/día)																
48	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KW)																
49	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KW/año)																
50	Excedente de energía termal Q (KW) a/a																

Fuente : Elaboración propia

## 14.2 Resultados y discusión

En la primera fase se realizó un análisis de aproximación sobre la cantidad de residuos generados en los rastros del Estado de Guanajuato en los últimos seis años, para esto primeramente se obtuvo el número de cabezas sacrificadas para cada tipo de ganado y la producción de carne en canal en el periodo establecido los datos se obtuvieron del INEGI (tabla 3). Para determinar la cantidad aproximada de residuos generados por la matanza de los animales se buscaron datos sobre el rendimiento en canal y subproductos de los diferentes ganados, estos datos se muestran en la tabla 4.

**Tabla 14.2** Número de cabezas sacrificadas y canal producida en el Estado de Guanajuato

TIPO DE GANADO	AÑO						MEDIA
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
	Número de cabezas sacrificadas						
Bovino	182700	192740	192427	201676	198910	182388	191807
Porcino	373008	332600	333608	327570	338973	365849	345268
Ovino	13900	12712	11945	10780	9489	9409	11373
Caprino	29969	26449	24164	21136	19826	19466	23501
Total	599577	564501	562144	561162	567198	577112	571949
	Producción de carne en canal en toneladas						
Bovino	41847	42807	44195	47257	45420	44504	44338
Porcino	27182	23772	23639	23903	24970	26959	25071
Ovino	307	285	272	240	216	220	257
Caprino	522	461	425	382	357	344	415
Total	69858	67325	68531	71782	70963	72027	70081

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014)

Con los datos de rendimiento se puede calcular peso vivo de los animales (ecuación 1), ya que el porcentaje del rendimiento corresponde al peso en canal del ganado.

Por lo tanto, se puede obtener primeramente el peso vivo aproximado de los animales sacrificados y posteriormente con la diferencia del rendimiento en canal y del rendimiento de los subproductos se puede obtener el porcentaje de los residuos o desperdicios, estos análisis se muestran en la tabla 4.

$$\text{Peso vivo (toneladas)} = \frac{\text{Peso en canal (toneladas)}}{\% \text{ Rendimiento}} \times 100 \% \quad (14)$$

**Tabla 14.3** Cálculo de la cantidad de residuos generados anualmente por ganado y animal

TIPO DE GANADO	RENDIMIENTO EN CANAL %	RENDIMIENTO DE LOS SUB-PRODUCTOS %	POCENTAJE DE RESIDUOS GENERADOS %	PESO DE LA CANAL PROMEDIO PRODUCIDA POR AÑO (ton)	PESO VIVO PROMEDIO POR GANADO SACRIFICADO ANUALMENTE (ton)	CANTIDAD DE RESIDUOS PROMEDIO GENERADOS POR GANADO ANUALMENTE (ton)	NUMERO DE CABEZAS SACRIFICADAS PROMEDIO ANUALMENTE	PESO VIVO PROMEDIO POR ANIMAL SACRIFICADO (kg)	CANTIDAD DE RESIDUOS PROMEDIO GENERADOS POR ANIMAL SACRIFICADO ANUALMENTE (kg)
Bovino	60	30	10	44338	73897	7390	191807	385	39
Porcino	80	5	15	25071	31339	4701	345268	91	14
Ovino	90	3	7	257	286	20	11373	25	2
Caprino	90	3	7	415	461	32	23501	20	1
TOTAL	NA	NA	NA	70081	105982	12143	571949	521	55

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2014), Rebollar et al (2007), Frías et al (2011), Rosas (2010), Hernández et al (2010)

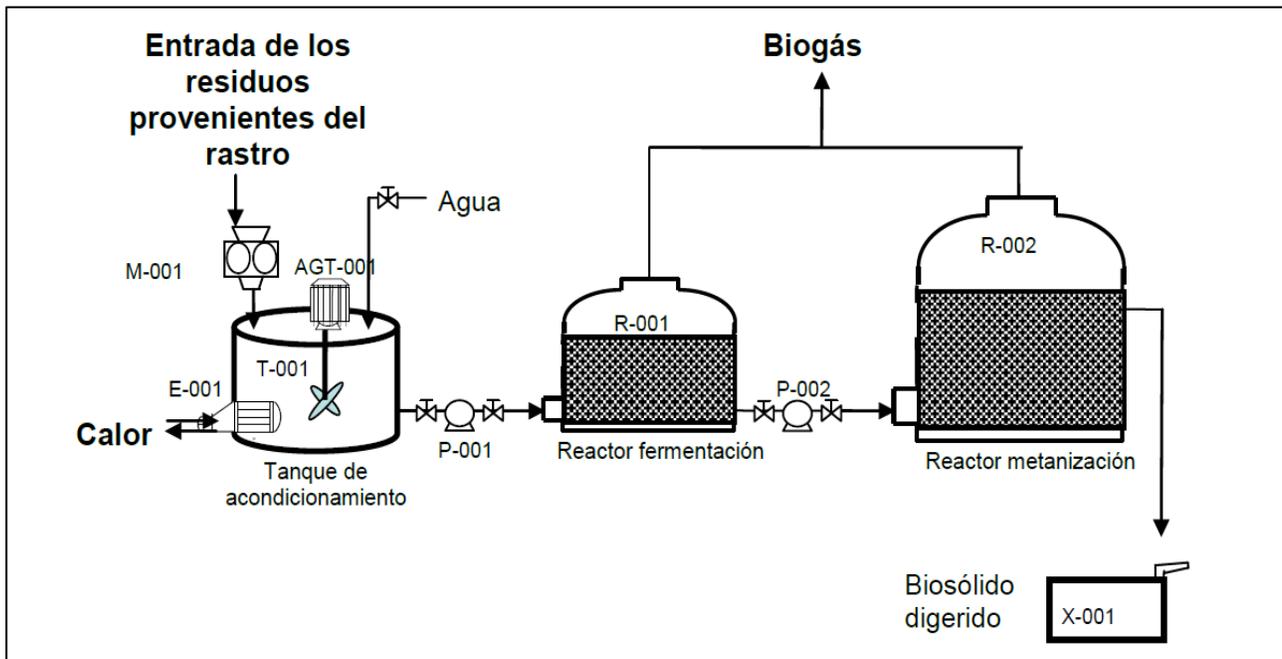
Los rastros municipales laboran alrededor de 300 días al año, por lo cual se dedujo que la generación promedio diaria de residuos es de 40.47 ton/día. El número de rastros municipales del Estado de Guanajuato es de 37, por lo tanto se realizó el cálculo de aproximación para la generación de residuos por rastro obteniendo como resultado 1.1 ton/día de residuos sólidos generados en los rastros. Castillo y colaboradores en el 2012 establecieron que en los rastros municipales en México se tiene un gasto diario de agua de 2,500 L con elevado contenido de materia orgánica. Lo que implica 2 toneladas de aguas residuales, dando un total de 3.5 toneladas de residuos líquidos y sólidos por día generados en un rastro.

El tren de tratamiento para los residuos que se propone se muestra en la Figura 3, consta de las siguientes etapas: triturado de los residuos sólidos (M – 001), acondicionamiento (T – 001, aquí se lleva a cabo un pretratamiento térmico mediante un intercambiador de calor, E – 001, y posteriormente la dilución y homogenización del residuo) es importante reducir el tamaño de partícula y acondicionar los residuos sólidos antes de mezclarlos con las aguas residuales, y el proceso anaerobio se realizaría en dos etapas, fermentación (R-001) y metanización (R-002).

Es importante aclarar que el proceso propuesto se basa en el trabajo realizado por Medina (2010), donde realizó la comparación del proceso de digestión anaerobia en una o dos etapas, obteniendo mayor producción de biogás en el proceso de dos etapas.

En estudios posteriores se estableció que el pretratamiento térmico al sustrato de la digestión anaerobia aumenta la producción de biogás, se estableció que la temperatura óptima de tratamiento es de 60 °C con un rendimiento de 60 mL de CH<sub>4</sub>/g de DQOt removida (Medina *et al*, 2013).

**Figura 14.2** Diagrama del sistema propuesto para el tratamiento de los residuos generados en los rastros municipales



Fuente: Elaboración propia

Con el uso del programa diseñado para el sistema de tratamiento se llevó a cabo el análisis entre la energía que se produciría y la que requeriría el sistema de tratamiento para tratar el flujo calculado de 3.5 ton de residuos de rastro/ día, durante un año de operación del rastro (suponiendo que el rastro trabaja los 300 días del año), para verificar si el sistema puede ser auto - sustentable.

En la tabla 5, se muestra que en un año se produciría alrededor de 24,467.44 m<sup>3</sup>/año de biogás al tratar 1,080 ton/año de residuos de rastro. Con la cantidad de biogás mencionada mediante un CHP se producirían 49,428.65 y 56,489.88 kW-h por año, de energía eléctrica y energía térmica, respectivamente. También se muestra el resultado del cálculo de la energía necesaria para el sistema de tratamiento de residuos tanto de energía eléctrica como térmica siendo 13,410 y 22,233.75 kW-h por año, respectivamente.

Con los datos mencionados se puede determinar un excedente de energía eléctrica y térmica de 36,018.65 y 34,256.13 kW-h por año. La producción de biogás del proceso es suficiente para abastecer el sistema de tratamiento, además se tiene un remanente de energía tanto térmica como eléctrica que puede ser utilizada para otros fines dentro del rastro.

**Tabla 14.4** Análisis de capacidad de producción de energía útil (térmica y eléctrica) al año

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
Residuos totales por tratar (ton/año)	1080.00	Valor energético del metano (MJ/Nm <sup>3</sup> )	37.78
Producción de biogás (m <sup>3</sup> /año)	24467.44	Composición de CH <sub>4</sub> en el biogás, %	55.00
Volumen RA, m <sup>3</sup> (TRH = 3 días)	6.27	Composición de CO <sub>2</sub> en el biogás, %	40.00
Volumen RM, m <sup>3</sup> (TRH = 9 días)	18.81	Valor energético del biogás (MJ/Nm <sup>3</sup> )	20.78
Días de operación al año	300.00	Energía en el biogás (kW)	19.61
Producción de electricidad, kW (35%; Murphy 2004)	6.87	Producción de termal, kW (40%, Murphy 2004)	7.85
Producción de electricidad, kW-h/año	49428.65	Producción termal, KW-h/año	56489.88
Requerimiento de electricidad en el sitio, kW-h/año	13410.00	Requerimiento de energía termal en el sitio, Q, kW-h/año	22233.75
Energía eléctrica remanente, kW-h/año	36018.65	Energía termal remanente, kW-h/año	34256.13

Fuente: Elaboración propia

### 14.3 Conclusiones

El análisis de capacidad de producción de energía realizado permite concluir que el tratamiento por digestión anaerobia de los residuos generados en los rastros municipales del Estado de Guanajuato es una opción viable, ya que con los residuos que produce actualmente no sólo es capaz de producir la energía necesaria para su auto – abastecimiento, sino que también existe un excedente de energía que puede ser utilizado en otras áreas de los rastros con una finalidad diferente al tratamiento de los residuos generados dentro de éste.

En conclusión el sistema de tratamiento propuesto además de estabilizar la materia orgánica presente en el residuo generaría la producción de un combustible limpio como lo es el biogás el cual puede ser convertido a energía eléctrica y térmica para su aprovechamiento dentro de los establecimientos, y es importante mencionar que también genera un subproducto sólido estabilizado que puede ser utilizado como bioabono.

#### 14.4 Referencias

- Álvarez R. (2004). “Producción anaerobia de biogás – aprovechamiento de los residuos del proceso anaerobio. Monografía. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- Apples L., Baeyens J., Degreve J. y Dewill R. (2008). “Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge”. *Progress in Energy and Combustion Science*. 34:755-781.
- Castillo B. R.E., Bolio R. A., Méndez N. R. I., Osorio R. J. H. y Pat. C. R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, vol. 16, no. 2, pp. 83 – 91.
- Deublein D. y Steinhauser A. (2008). “Biogas from waste and renewable resources, an introduction”. WILEY-VCH.
- Flores J. C.R. (2008). “Tratamiento de Residuos Sólidos Provenientes de rastro mediante Digestión Anaerobia”. Tesis de maestría. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.
- Frías J. C., Aranda E. M., Ramos J. A., Vázquez C. y Díaz P. (2011). Calidad y rendimiento en canal de corderos en pastoreo suplementados con caña de azúcar fermentada. *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 15, no. 3, pp. 33 – 44.
- Hernández B. J., Gómez V. A., Núñez G. F. A., Ríos R. F. G., Mendoza M. G. D., García M. J. A., Villegas, A. Y. Hernández S. y Joaquín T. B. M. (2009). Yield of carcass and non-meat components of brown swiss x zebu bullocks in the three feeding systems in a humid tropical climate. *Universidad y Ciencia*, vol. 25, no. 2, pp. 173 – 180.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía, INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Sistema Nacional Estadística y Geográfica, SNIEG. Información de Interés Nacional. Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía, INEGI (2014). Estadística de sacrificio de ganado de rastros municipales por entidad federativa durante 2003 – 2008.
- Marcos A., Al-Kassir A., Mohamad A. A., Cuadros F. y López-Rodríguez F. (2010). Combustible gas production (methane) and biodegradation of solid and liquid mixtures of meat industry wastes', *Applied Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1729-35.
- Medina H. M. R. (2010). Optimización del tratamiento de residuos provenientes de rastro mediante digestión anaerobia para maximizar la producción de biogás. Tesis de maestría no publicada, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica de Querétaro (CIDETEQ), México.
- Medina M., Vargas O., Cisneros V., Bustamante C. y Vázquez R. (2013). Incremento en la solubilidad y producción de biogás al pretratar térmicamente el sustrato. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*. ECORFAN, vol. II, pp. 199 – 204.
- Murphy J.D., McKeogh E. y Kiely G. (2004). “Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization”. *Applied Energy*, vol. 77, pp. 407-427.

Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004, Productos y servicios. Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Rebollar R. S., Hernández M. J., García S. J. A., García M. R., Torres H. G., Bórquez G. J. L. y Mejía H. P. (2007). Canales y márgenes de comercialización de caprinos en Tejupilco y Amatepec, Estado de México. *Agrocien*, vol. 41, no. 3, pp. 363 - 370.

Rosas V. J. C. (2010). Análisis del rendimiento y magrez de la canal de cerdo en una institución educativa. Tesis de licenciatura publicada. Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo, México. Disponible en:  
<http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/293/1/ANALISISDELRENDIMIENTOYMAGREZDELACANALDECERDOENUNAINSTITUCIONEDUCATIVA.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2013). Capacidad instalada para sacrificio de especies pecuarias. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP.

Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/opt/estadistica/pecuaria/int\\_rastros2013.pdf](http://www.siap.gob.mx/opt/estadistica/pecuaria/int_rastros2013.pdf)

## **Análisis del comportamiento de las variables de estado del vsc-hvdc con un esquema ptp cuando transfiere potencia activa entre sistemas de potencia asíncronos**

José García, Francisco Ortega y María González

J. García, F. Ortega y M. González  
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao, km. 12.5, C. P. 36821, Irapuato, Gto.  
migarcia@itesi.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

In this research work is proposed an optimization model based on the formulation Optimal Power Flow (OPF), through which it is carried out an analysis of the behavior of the state variables of the Voltage Source Converted-High Voltage Direct Current(VSC-HVDC) when it is used to transfer active power between two electric power systems asynchronous. The model of VSC-HVDC device considering a Point-to-Point (PtP) scheme is implemented in an OPF formulation with active power transfer through the VSC-HVDC link as objective function. The analysis of the state variables of the controller is done using two case studies considering the IEEE two-area benchmark power system. In each study case it is considered a different resistance of the DC link and the maximum active power transferred between power systems is computed, in order to establish the operating range of the device in which the behavior of the state variables of the VSC-HVDC is studied.

## 15 Introducción

Los sistemas de transmisión están bajo continuos cambios, principalmente aquellos asociados con la transferencia de potencia entre SEPs, con lo cual se ha dado lugar a una apertura del mercado para suministrar energía más económica a los consumidores, mientras se satisfacen restricciones económicas y ecológicas, las cuales retrasan la construcción de nueva infraestructura de transmisión. Debido a que la construcción de las líneas de transmisión no puede ir a la par con el incremento de la capacidad de generación y demanda, los operadores de los sistemas de potencia están buscando distintas formas para utilizar la infraestructura de transmisión de la manera más eficiente, operando la red de formas que originalmente no se tenían previstas (Pizano et al, 2007). La necesidad de operar los sistemas eléctricos de potencia en forma más eficiente y el rápido desarrollo de la electrónica de potencia, basada en nuevos dispositivos semiconductores, han dado lugar a nuevas tecnologías, tales como los controladores FACTS basados en Fuentes de Voltaje Conmutadas (VSC, por sus siglas en inglés) (Hingorani & Gyugyi, 2000).

Entre los controladores basados en VSC comisionados e instalados en diversos sistemas de transmisión alrededor del mundo, los Enlaces de Corriente Directa en Alta Tensión Basados en Fuentes de Voltaje Conmutadas (VSC-HVDC, por sus siglas en inglés), también llamado HVDC-Light® o HVDC-Plus®, es una tecnología reciente que ha demostrado ser exitosa en la mejora de la controlabilidad de los sistemas de potencia (Asplund, 2001). En contraste al HVDC tradicional, el VSC-HVDC puede controlar, además del flujo de potencia activa, la magnitud de voltaje en forma independiente en cada nodo del sistema de CA en el que se conecta y el flujo de potencia reactiva, siempre y cuando no se controle la magnitud de voltaje en el nodo donde se controla dicha potencia.

El primer proyecto de instalación de la tecnología HVDC tuvo lugar entre Suecia y la isla de Gotland, el cual comenzó su operación en Noviembre de 1999. A este proyecto le han seguido otros que utilizan la tecnología VSC-HVDC alrededor del mundo, entre los cuales se encuentran los desarrollados en Australia, Estados Unidos y Noruega (Asplund, 2001).

Actualmente se han publicado algunos artículos de investigación donde se abordan aspectos clave sobre la operación y características de la tecnología VSC-HVDC, tales como (Bahrman et al, 2003) y (ABB, 2005), mientras que en otros estudios (Ángeles et al, 2003; Zhang, 2004) se trata el modelado matemático adecuado para el análisis en estado estacionario de sistemas de potencia a gran escala. Los estudios de FPO están siendo más y más utilizados por los ingenieros de la industria .

Desde el punto de vista de planeación de sistemas de potencia, el FPO puede ser utilizado para determinar características óptimas, tamaños, tipos, costo y ubicación óptimas de equipos, tales como generadores, líneas de transmisión y controladores.

Desde un punto de vista de operación y control del sistema de potencia, una solución de FPO proporciona una respuesta de como los controles disponibles deberían ajustarse para satisfacer la demanda de energía de la manera más económica mientras se satisfacen las restricciones de operación impuestas por el sistema (Pizano et al, 2007). Por lo tanto, la incorporación del modelo del VSC-HVDC en una formulación de FPO brinda una oportunidad de explotar completamente las capacidades del dispositivo en todas aquellas aplicaciones de optimización relacionadas con dicho controlador.

Es importante mencionar que en muchas de las publicaciones asociadas con la tecnología VSC-HVDC y con la formulación de FPO, los investigadores han utilizado distintos lenguajes de programación que permiten implementar los modelos matemáticos, lo cual puede resultar complejo. En otras publicaciones con el fin de resolver el modelo de FPO y a su vez agilizar la investigación en el área de optimización, los investigadores han puesto atención en los paquetes comerciales de optimización comerciales, tales como AMPL (KNITRO, 2014) y GAMS (Drud, 1996). Por ejemplo, AMPL y GAMS han sido empleados para: resolver un modelo de FPO con restricciones complementarias (Rosehart et al, 2005), identificar y analizar bifurcaciones en sistemas de potencia (Ávalos, 2009), resolver modelos de FPO con restricciones de estabilidad transitoria (Zarate et al, 2010) y más recientemente para resolver un modelo de FPO que considera restricciones de estabilidad de voltaje para seguridad de sistemas de potencia (Gutiérrez,2010) y para encontrar la ubicación óptima de controladores FACTS para la planeación óptima de la operación de sistemas de potencia (Lashkar, 2012), entre otras aplicaciones.

Otra herramienta computacional que permite la solución del problema de FPO con relativa facilidad y que no ha sido muy utilizada es la herramienta de optimización de Matlab (MathWorks, 2014). Este software fue utilizada por Pizano et al.(2010) para implementar y resolver un modelo de FPO convencional, posteriormente García et al.(2013) adoptó esta propuesta para desarrollar un modelo en el que se implementó y resolvió el problema de FPO con el modelo del VSC-HVDC. En este artículo se propone un modelo de optimización que permite llevar a cabo el análisis de las variables de estado del VSC-HVDC cuando se conecta en el sistema para transferir potencia entre enlaces débiles o entre sistemas de potencia asíncronos.

Además, se utiliza la función `fmincon` de Matlab como una aplicación innovadora de dicha función de optimización en la solución de modelo propuesto en este trabajo, con el fin de mostrar la capacidades y ventajas que tiene, ya que Matlab es un software ampliamente utilizado por estudiantes e investigadores de las distintas áreas de la ingeniería.

## **15.1 Materiales y métodos**

### **Modelado del Sistema Eléctrico de Potencia y del VSC-HVDC**

#### **A. Modelado del Sistema Eléctrico de Potencia**

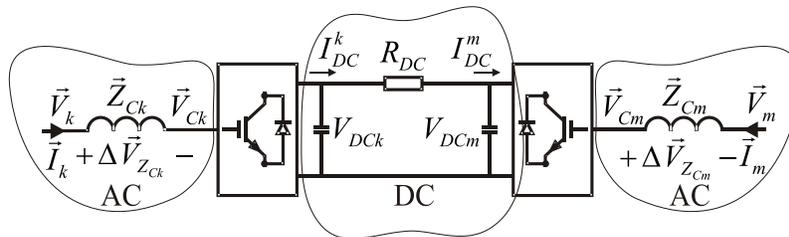
Los generadores, cargas, elementos de compensación en paralelo, líneas de transmisión y transformadores son considerados los principales elementos del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).

Los modelos de flujo de potencia de estado estacionario de los componentes antes mencionados son dados a detalle en (Acha et al, 2004).

## B. Modelado del VSC-HVDC

La tecnología VSC-HVDC consiste de dos convertidores controlados por Modulación de Ancho de Pulso (PWM, por sus siglas en inglés), los cuales, de acuerdo a su aplicación, pueden ser conectados en esquemas Back-to-Back (BtB) en la misma subestación o a través de un enlace de Corriente Directa (CD) en un esquema Point-to-Point (PtP), tal como se muestra en la Figura 1 (ABB, 2005).

**Figura 15** Enlace de transmisión VSC-HVDC

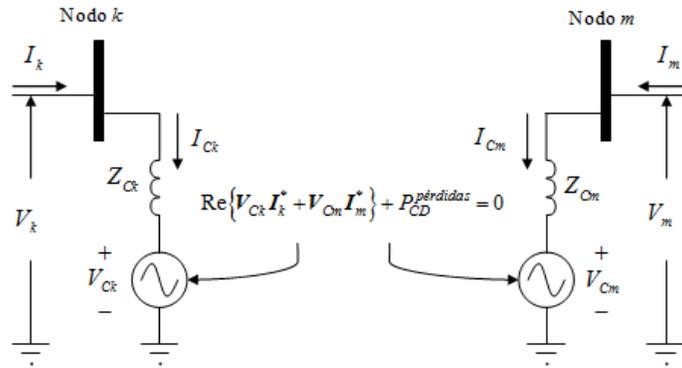


El control PWM hace posible tener un ajuste simultáneo de la amplitud y del ángulo de fase del voltaje de salida en el convertidor de Corriente Alterna (CA) con un voltaje de corriente directa constante. Este control permite representar el voltaje de salida de ambos convertidores del VSC-HVDC en el lado  $i$  ( $i=k,m$ ) por una fuente de voltaje conmutada  $V_{Ci} = V_{Ci} \angle \theta_{Ci}$ , con límites de amplitud y ángulo de fase  $V_{Ci}^{\min} \leq V_{Ci} \leq V_{Ci}^{\max}$  and  $0 \leq \theta_{Ci} \leq 2\pi$ , respectivamente. Por lo tanto, el VSC-HVDC puede ser representado por un modelo basado en fuentes de voltaje conmutadas, mostrado en la Figura 2, en el que están conectados dos sistemas eléctricos de potencia síncronos o asíncronos; el SEP que envía la potencia se conecta en el nodo  $k$  y el SEP receptor en el nodo  $m$ . La impedancia del transformador de acoplamiento es dada por  $\vec{Z}_{Ci}$  (Pizano et al, 2007). Basado en el circuito equivalente mostrado en la Figura 2, los flujos de potencia del nodo  $i$  al nodo  $j$  ( $i=k,m; j=k,m; i \neq j$ ) son (Pizano et al, 2007),

$$P_{ij}^{inj} = V_i^2 G_{Ci} - V_i V_{Ci} [G_{Ci} \cos(\theta_i - \theta_{Ci}) + B_{Ci} \sin(\theta_i - \theta_{Ci})] \quad (15)$$

$$Q_{ij}^{inj} = -V_i^2 B_{Ci} - V_i V_{Ci} [G_{Ci} \sin(\theta_i - \theta_{Ci}) - B_{Ci} \cos(\theta_i - \theta_{Ci})] \quad (15.1)$$

donde  $G_{Ci} + jB_{Ci} = 1/\vec{Z}_{Ci}$ . Las ecuaciones de flujos de potencia en el convertidor conectado al nodo  $i=k,m$ , se obtienen intercambiando los subíndices  $i$  por  $Ci$  y viceversa en todas las variables de las ecuaciones, excepto en la conductancia y la susceptancia.

**Figura 15.1** Circuito equivalente del VSC-HVDC

La magnitud del voltaje en el lado de CA del convertidor conectado en el nodo  $i$ ,  $V_{Ci}$ , es relacionado con la amplitud del índice de modulación del control PWM y con el promedio del voltaje del capacitor en el lado de CD,  $V_{CDi}$ , por la siguiente expresión (Acha et al, 2004),

$$V_{Ci} = M_{Ci} V_{DCi} / 2\sqrt{2} \quad M_{Ci} \in [0,1] \quad (15.2)$$

Las restricciones operacionales consideradas en el modelo del controlador VSC-HVDC son:  $V_{Ci}^{\min} \leq V_{Ci} \leq V_{Ci}^{\max}$ ,  $M_{Ci}^{\min} \leq M_{Ci} \leq M_{Ci}^{\max}$  and  $V_{DCi}^{\min} \leq V_{DCi} \leq V_{DCi}^{\max}$ . Debe ser notado que la última restricción solo se aplica cuando el voltaje  $V_{DCi}$  no es controlado en un valor específico. La ecuación de restricción relacionada con el intercambio de potencia activa entre los convertidores para un esquema BtB ( $R_{DC} = 0$ ) es dada por  $\text{Re}\{V_{Ck}I_{Ck}^* + V_{Cm}I_{Cm}^*\} = 0$ ; mientras que para un esquema PtP con una resistencia diferente de cero ( $R_{DC} > 0$ ) en el conductor del enlace de CD es dada por  $\text{Re}\{V_{Ck}I_{Ck}^* + V_{Cm}I_{Cm}^*\} + P_{CD} = 0$ .

Los modos de control PQ y PV son definidos en el VSC-HVDC en (Pizano et al, 2007), sin embargo, en este trabajo solamente se utiliza el control de magnitud de voltaje en el nodo  $i$  del sistema eléctrico receptor, el cual corresponde al lado inversor del controlador, para calcular la máxima transferencia la potencia activa a través del enlace y con ello establecer el rango de operación del VSC-HVDC. Además, se controla el flujo de potencia activa para obtener los datos del comportamiento de las variables de estado del dispositivo en el rango establecido. De esta manera, las ecuaciones que deben satisfacerse para tales casos son,

$$V_i - V_i^{esp} = 0 \quad (15.3)$$

$$P_{ij}^{inj} - P_{ij}^{esp} = 0$$

En ambos casos, el convertidor  $i$  controla el voltaje en el lado de CD en un valor  $V_{CDi}^{spec}$ . Por lo tanto, las pérdidas de potencia activa en el enlace de CD son  $P_{CD} = (P_{Ci}^2 R_{CD}) / (V_{CDi}^{spec})^2$ .

### Modelo de Optimización para la Determinación de la Máxima Transferencia de Potencia Activa a través del VSC-HVDC

### - Función objetivo

La función objetivo  $f(y)$  para el modelo de optimización propuesto representa la transferencia de potencia activa a través del dispositivo VSC-HVDC, la cual corresponde al flujo de potencia activa en el convertidor conectado en el nodo  $i$  ( $i=k,m$ ) y representado por el subíndice  $C_i$ .

$$f(y) = V_{C_i}^2 G_{C_i} - V_{C_i} V_i [G_{C_i} \cos(\theta_{C_i} - \theta_i) + B_{C_i} \sin(\theta_{C_i} - \theta_i)] \quad (15.4)$$

Es importante mencionar que esta función objetivo se implementa en forma negativa para poder maximizar su valor. Lo anterior es debido a que el algoritmo fuente de la función de optimización  $fmincon$  siempre minimiza la función objetivo.

### - Restricciones de igualdad

Para representar el estado de operación de estado estacionario, el balance energético del SEP debe satisfacerse incondicionalmente. Esto es logrado por medio del conjunto de restricciones de balance de potencia activa y reactiva en cada bus del sistema como sigue,

$$h(y) = \left\{ \begin{array}{l} P_{g_i} - P_{l_i} - \sum_{j \in i} P_{in_j} - \sum_{j \in i} P_{j\_inj\_VSC-HVDC} = 0, \\ Q_{g_k} - Q_{l_k} - \sum_{j \in k} Q_{in_j} - \sum_{j \in k} Q_{j\_inj\_VSC-HVDC} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} i=1,2,\dots,N_b \\ k=1,2,\dots,N_b | k \notin N_g \end{array} \quad (15.5)$$

donde  $N_b$  es el número total de buses del SEP. La potencia activa y reactiva del generador  $j$  ( $j=i,k$ ) son  $P_{g_j}$  y  $Q_{g_j}$ , respectivamente. Las demandas de potencia activa y reactiva son representadas en forma respectiva por  $P_{l_j}$  y  $Q_{l_j}$ .  $\sum_{j \in i,k}$  es el conjunto de nodos adyacentes al nodo  $j$ , mientras que  $P_{in_j}$  y  $Q_{in_j}$  son la potencia activa y reactiva inyectadas en el bus  $i$  y  $k$  a través del  $j$ -ésimo elemento del SEP. La inyección de flujo de potencia activa y reactiva del controlador son, respectivamente,  $P_{inj\_jVSC-HVDC}$  y  $Q_{inj\_jVSC-HVDC}$ . Las restricciones de igualdad asociadas a la operación del VSC-HVDC son incluidas mediante las siguientes ecuaciones,

$$h_1(y) = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=k,m} (V_{C_i} - M_{C_i} V_{CDi} / 2\sqrt{2}) = 0 \\ \sum_{i=k,m} (V_{CDi} - V_{CDi}^{esp}) = 0 \\ P_{C_k} + P_{C_m} + P_{CD} = 0 \end{array} \right\} \quad (15.6)$$

La primera ecuación está relacionada con (3), la segunda es el control de  $V_{CDi}$ , mientras que la tercera ecuación corresponde a las restricciones de potencia activa del VSC-HVDC para un esquema de conexión PtP.

Como se mencionó antes, el rango de operación del controlador se establece una vez que se calcula la máxima transferencia de potencia activa. Para ello es necesario controlar la magnitud del voltaje en el nodo  $i$  ( $i=k,m$ ) del SEP receptor, lo cual se efectúa mediante la primera restricción de igualdad del conjunto de restricciones representado por la Ecuación (9).

El control de flujo de potencia activa a través del VSC-HVDC se lleva a cabo mediante la segunda restricción de dicha ecuación. Esta restricción se activa después de que se ha determinado la potencia activa máxima.

$$h_2(y) = \left\{ \begin{array}{l} V_i - V_i^{esp} = 0 \\ P_{ij}^{inj} - P_{ij}^{esp} = 0 \end{array} \right\} \quad (15.7)$$

El nodo  $i$  en el que se controla la magnitud de voltaje corresponde al nodo del sistema eléctrico receptor, por lo tanto, con la restricción de igualdad (9) es posible establecer la dirección de flujo de potencia activa entre los dos sistemas de potencia conectados a través del VSC-HVDC. Las Ecuaciones (7)-(9) forman el conjunto de restricciones de igualdad del modelo de optimización propuesto.

### - Restricciones de desigualdad

Los límites físicos y operacionales de los generadores y subestaciones son matemáticamente descritos por los siguientes conjuntos de restricciones de desigualdad,

$$Y = \left\{ \begin{array}{l} \underline{P}_{gi} \leq P_{gi} \leq \bar{P}_{gi}, \quad i=1,2,\dots,N_g \\ \underline{V}_j \leq V_j \leq \bar{V}_j, \quad j=1,2,\dots,N_b \end{array} \right\}$$

$$g(y) = \left\{ \underline{Q}_{gi} \leq Q_{gi} \leq \bar{Q}_{gi}, \quad i=1,2,\dots,N_g \right\} \quad (15.8)$$

Debe mencionarse que la generación de potencia activa  $P_{gi}$  y los límites de magnitud de voltaje  $V_j$  son simplemente restricciones de desigualdad a variables, mientras que los límites de generación de potencia reactiva son modelados como un conjunto de restricciones de desigualdad funcional, ya que dependen de  $V_j$ . En el modelo de optimización desarrollado para este trabajo, los límites de las variables de estado del controlador VSC-HVDC son incluidos como restricciones de desigualdad como sigue,

$$Y_1 = \left\{ \begin{array}{l} V_{Ci}^{\min} \leq V_{Ci} \leq V_{Ci}^{\max} \\ \theta_{Ci}^{\min} \leq \theta_{Ci} \leq \theta_{Ci}^{\max} \\ M_{Ci}^{\min} \leq M_{Ci} \leq M_{Ci}^{\max} \\ V_{DCi}^{\min} \leq V_{DCi} \leq V_{DCi}^{\max} \end{array} \right\} \quad (15.9)$$

Se debe notar que el conjunto completo de restricciones de desigualdad es formado por las Ecuaciones (10)-(12).

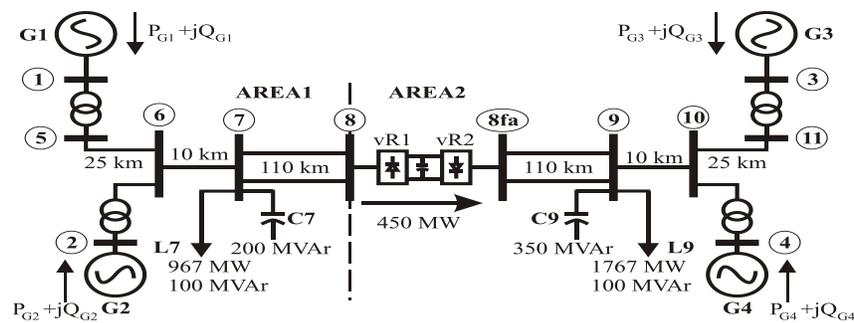
## 15.2 Resultados y discusión

El modelo propuesto es utilizado en un caso de estudio para determinar la máxima transferencia de potencia activa entre las dos áreas del sistema eléctrico de potencia de 11 nodos-dos áreas del IEEE, mostrado en la Figura 3, a través del dispositivo VSC-HVDC. El sistema está constituido de dos áreas idénticas (Área 1 y Área 2) conectadas a través de una línea de transmisión de doble circuito.

Los parámetros y las características de este sistema eléctrico de potencia son dados con detalle en (Xu et al, 1998). Sin el VSC-HVDC conectado al sistema, se transfieren 320.84 MW de potencia activa del Área 1 al Área 2. La red ha sido modificada para incluir el controlador en un esquema PtP para determinar la máxima potencia activa que puede transferirse del Área 1 al Área 2 a través del VSC-HVDC.

Los límites de las magnitudes de los voltajes nodales del sistema de potencia se han fijado en  $0.95 \leq V_i \leq 1.05$  pu. Las impedancias de los transformadores de acoplamiento son  $Z_{C8} = Z_{C8-fa} = 0.001 + j0.01$  pu. Los límites máximo y mínimo asociados con la magnitud de voltaje de las fuentes son 0.97 y 1.04 pu, respectivamente. Los límites de amplitud del índice de modulación y su condición inicial son  $0.5 \leq M_{ci} \leq 1.0$  y 0.9, en forma respectiva, mientras que el voltaje en el lado de CD del convertidor se penaliza en 3.0 pu. El VSC-HVDC solo controla la magnitud de voltaje en 1 pu en el nodo en el que se encuentra conectada la fuente en el lado inversor y no efectúa ninguna otra acción de control. La tolerancia de convergencia considerada en los casos de estudio es de  $1 \times 10^{-9}$ . Es importante mencionar que el tiempo de cómputo empleado para la determinación de la máxima transferencia de potencia activa entre las dos áreas del sistema eléctrico a través del VSC-HVDC varía para cada caso.

**Figura 15.2** Sistema eléctrico de potencia de 11 nodos y dos áreas



En los casos de estudio se consideran dos valores de la resistencia del enlace de CD del dispositivo sobre una base común de 100 MVA, esto con la finalidad de visualizar como es la afeción de tal resistencia en el valor de la máxima transferencia de potencia activa y por tanto en las variables de estado del VSC-HVDC en un esquema PtP. En la Tabla 1 se muestra la máxima potencia activa transferida y las variables de estado con tres valores de la resistencia del enlace. Los datos de la Tabla 1 muestran que con el aumento de la resistencia en el enlace de CD del VSC-HVDC disminuye la transferencia de potencia activa máxima en el dispositivo, lo cual es debido a la existencia de pérdidas en el conductor del enlace. Se debe mencionar que el análisis de las variables de estado del controlador se realiza solo con los valores de 0.001 pu y 0.00334 pu de la  $R_{CD}$  porque en este trabajo se está enfocando a una conexión PtP.

**Tabla 15** Máxima transferencia de potencia activa a través del VSC-HVDC con la variación de la  $R_{CD}$

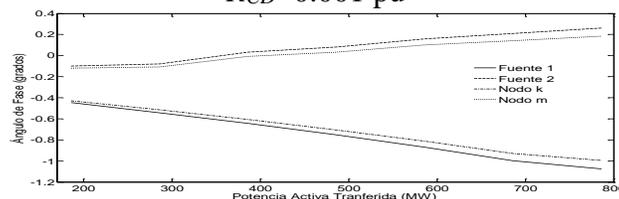
Potencia máxima transferida y variables de estado	Resistencia del enlace de CD $R_{CD}$ (pu)		
	0	0.001	0.00334
Potencia máxima transferida (MW)	786.7784	786.087	784.4907
Voltaje inicial de la fuente 1 (pu)	1.040	1.040	1.040
Voltaje inicial de la fuente 2 (pu)	1.0158	1.0162	1.0161
Ángulo inicial de la fuente 1 (grados)	-1.0759	-1.0759	-1.0759
Ángulo inicial de la fuente 2 (grados)	0.3374	0.2731	0.2781
Índice de Modulación inicial de la fuente 1	0.9805	0.9805	0.9805
Índice de Modulación inicial de la fuente 2	0.9577	0.9581	0.9580
Ángulo en nodo k (grados)	-0.9957	-0.9957	-0.9957
Ángulo en nodo m (grados)	0.2603	0.1962	0.2014

En los casos de estudio se consideraron siete valores distintos de potencia activa transferida, con un determinado valor de resistencia del enlace de CD, para analizar el comportamiento de las variables de estado y conocer cómo es su comportamiento en función de la potencia activa que se transfiere a través del enlace. Para una mejor apreciación del comportamiento de cada una de las variables de estado del dispositivo en función de la potencia activa transferida, estos resultados se muestran gráficamente.

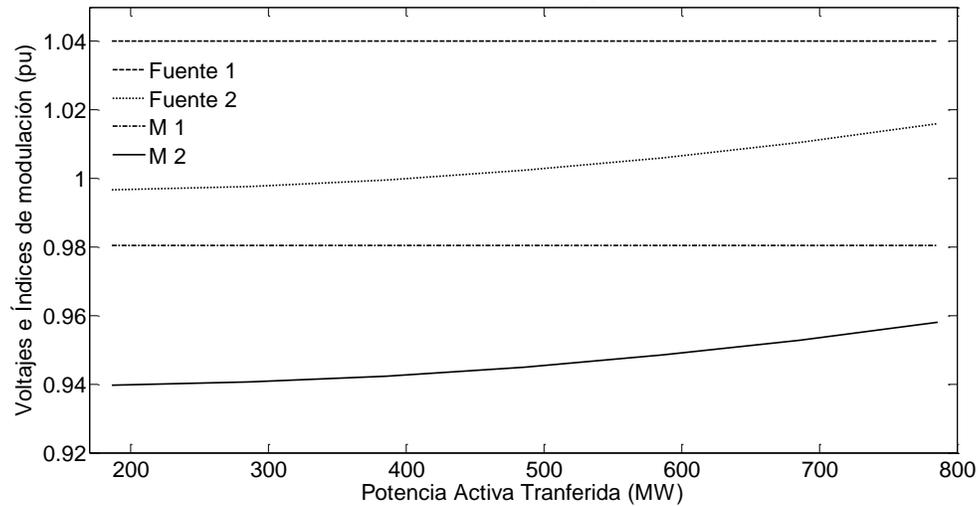
La Figura 15.3 muestra los ángulos de fase de las fuentes del VSC-HVDC y de los nodos en los cuales se encuentra conectado el controlador en función de la potencia activa transferida con una  $R_{CD}=0.001$  pu. La potencia activa transferida máxima se calculó en 786.09 MW. De acuerdo al análisis de flujos de potencia, la dirección de flujo de la potencia activa transferida se toma en relación a la diferencia entre los ángulos de las fuentes interconectadas. En la figura se observa el sentido de flujo de la potencia transferida por medio de las fuentes interconectadas, ya que los ángulos de fase de los voltajes de las fuentes proporcionan la dirección de flujo de la potencia activa. Si la diferencia entre los ángulos es negativa, el flujo de potencia va de la fuente 1 a la fuente 2, si la diferencia es positiva, el flujo de potencia va de la fuente 2 a la fuente 1. Lo anterior es contrario al análisis de flujos de potencia, ya que para este análisis se consideró una función objetivo negativa debido a que se está maximizando la misma. En la Figura 5 se muestran los resultados de la variación de los índices de modulación y las magnitudes de voltaje de las fuentes conmutadas del VSC-HVDC en función de la potencia transferida. En este caso, los índices de modulación tienen una relación directa con los voltajes, puesto que si el índice se ve afectado de manera creciente, el voltaje tendrá la misma afectación.

La figura muestra que al aumentar la potencia activa transferida aumenta el índice de modulación y la magnitud de voltaje de la fuente 2, mientras en la fuente 1 estos valores se mantienen constantes.

**Figura 15.3** Ángulos de fase de las fuentes y nodos en función de la transferencia de potencia con una  $R_{CD}=0.001$  pu

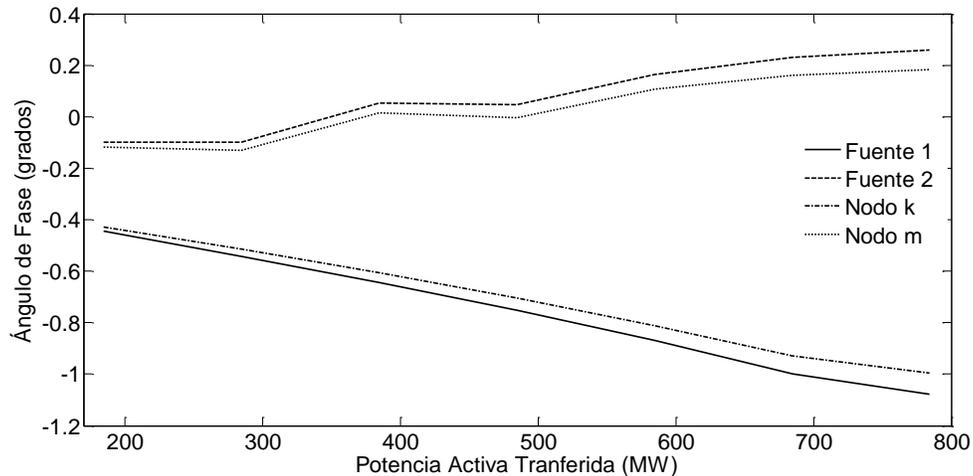


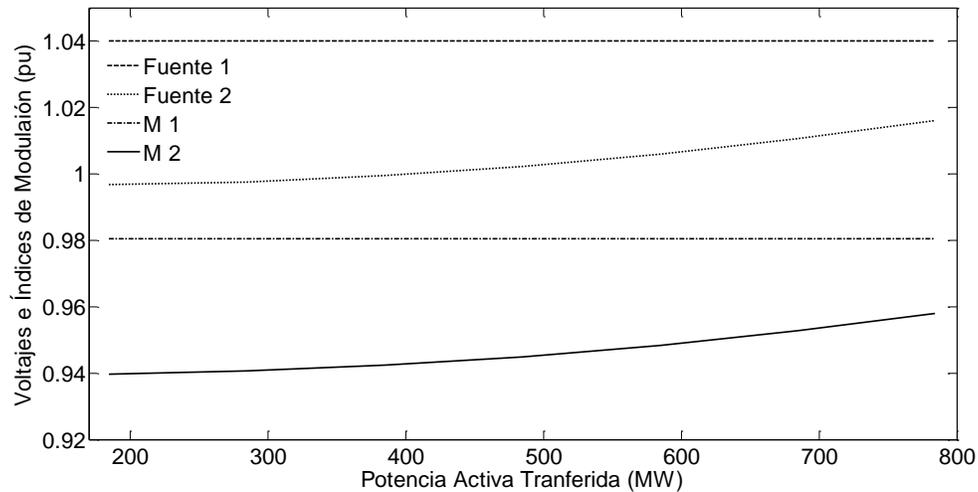
**Figura 15.4** Voltajes e índices de modulación en función de la potencia activa transferida con una  $R_{CD}$  de 0.001 pu



Las Figuras 15.3 y 15.4 muestran el comportamiento de los ángulos, voltajes e índices de modulación en función de la potencia activa transferida, tomando una resistencia  $R_{CD} = 0.00334$  pu. En este caso, la magnitud de voltaje de la fuente 2 es menor que la magnitud de la misma fuente considerando una  $R_{CD} = 0.001$  pu. De manera similar la diferencia de los ángulos de fase de las fuentes conmutadas es mayor cuando se considera una  $R_{CD} = 0.001$  pu, lo cual es debido a que con una menor resistencia se transfiere mayor potencia activa, tal como se ilustró en la Tabla 15.

**Figura 15.3** Ángulos de fase de las fuentes y nodos en función de la transferencia de potencia activa



**Figura 15.4** Voltajes e índices de modulación en función de la potencia activa transferida

### 15.3 Conclusiones

En este trabajo se presentó un modelo de optimización para la determinación de la máxima transferencia de potencia activa entre dos Sistemas Eléctricos de Potencia asíncronos a través del dispositivo VSC-HVDC.

El modelo por medio del cual se determina la transferencia de potencia es basado en la formulación de FPO, considerando como función objetivo a la máxima transferencia de potencia a través de dicho dispositivo.

El modelo propuesto fue probado mediante diversos casos de estudio considerando el sistema de prueba del IEEE de 11 nodos y dos áreas, en los que se consideraron dos valores de la resistencia del enlace de CD en un esquema PtP del VSC-HVDC.

Los casos de estudio mostraron que el valor de la resistencia del enlace de CD tiene efecto en el valor de las variables de estado del controlador, excepto en el índice de modulación y en la magnitud del voltaje de la fuente conmutada en el lado rectificador, los cuales no cambian su valor numérico al cambiar la resistencia del enlace de CD porque el VSC-HVDC controla la magnitud de voltaje a un valor especificado en el nodo en el que se conecta la fuente conmutada que opera como inversor. Los casos de estudio también mostraron que la diferencia entre los ángulos de fase de las fuentes conmutadas y de los nodos donde se conectan dichas fuentes es mayor conforme se aumenta la potencia activa transferida, además, con el aumento de esta potencia también se incrementa la magnitud de voltaje y el índice de modulación de la fuente en el lado inversor del controlador.

Por último, se demostró que cuando la resistencia del enlace de CD se incrementa, la máxima potencia activa transferida a través del VSC-HVDC disminuye y viceversa, lo cual es debido a la existencia de pérdidas en el conductor de CD en un esquema PtP del controlador, por tanto en un esquema BtB se transferirá la mayor potencia activa a través del enlace, puesto que no existen pérdidas a través de este.

## 15.4 Referencias

- ABB Power Systems AB. *Technical Description of HVDC Light® Technology Technical Report, 2005*. Zürich: Suiza, Recuperado de <http://www.abb.com>
- Acha, E., Fuerte, C. R., Ambriz, H., & Ángeles, C. (2004). *FACTS; Modelling and Simultaion in Power Networks*. Glaswov: John Wiley & Sons.
- Ángeles, C., Tortelli, O. L., Acha, E. & Fuerte, C. R. (2003). Inclusion of a high voltage DC-voltage source converter model in a Newton-Raphson power flow algorithm. *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib*, 150(6), 691–696.
- Asplund, G. (2001). Application of HVDC Light to power system enhancement. *Proceedings 2001 IEEE-PES Winter Meeting*, 4, 2498-2503.
- Avalos, R. J. , Canizares, C. A., Milano, F. & Conejo, A. J. (2009). Equivalency of Continuation and Optimization Methods to Determine Saddle-Node and Limit-Induced Bifurcations in Power Systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 56(1), 210-223.
- Bahrman, M. P., Johansson, J. G. & Nilsson, B. (2003). Voltage source converter transmission technologies-the right fit for the application. *Proceedings 2003 IEEE-PES General Meeting*, 3, 1840–1847.
- Drud, A. *S.GAMS/CONOPT (1996)*, Bagsvaerd: Denmark. ARKI Consulting and Development. Recuperado de <http://www.gams.com/>.
- García, J.M., Ortega, F.J. & González, M. R. (2013). Integration of the VSC-based HVDC model into an OPF Matlab-based analysis. *Electrical Engineering Electronic Journal*, 2(2).
- Gutierrez, V.J., Canizares, C. A., Fuerte, C. R., Pizano, A. & Gu, X. (2010). Neural-network security-boundary constrained optimal power flow. *Transactions on Power Systems*, 26(1), 63-72.
- Hingorani, N.G. & Gyugyi, L. (2000). *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. New York: IEEE Press.
- KNITRO. (2014). En *Composants Numériques de Artelys Tools*. Recuperado de [http://www.artelys.com/index.php?page=knitro&hl=en\\_EN](http://www.artelys.com/index.php?page=knitro&hl=en_EN)
- Lashkar, A., Kazemi, A. & Nabavi, S. A. (2012). Multiobjective Optimal Location of FACTS Shunt-Series Controllers for Power System Operation Planning. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 481- 490.
- Momoh, J. A. , Koessler, R. J., Bond, M. S., Stott, B., Sun, D., Papalexopoulos, A. & Ristanovic, P. (1997). Challenges to optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12(1), 444–455.
- Pizano, A., Fuerte, C. R., Ambriz, H. & Acha, E. (2007). Modelling of VSC-Based HVDC Systems for a Newton-Raphson OPF Algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), 1794-1803.

Pizano, A., Fuerte, C., Zamora, E.A., & Segundo, J. (2010) Conventional Optimal Power Flow Analysis Using the Matlab Optimization Toolbox, *Proceedings de la ROPEC International*.

Rosehart, W., Roman, C. & Schellenberg, A. (2005). Optimal Power Flow with Complementary Constraints. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20 (2), 813-822,

The MathWorks, Inc. *Matlab Optimization Toolbox User's Guide Version 2, 2001*. Natick, MA: USA. Recuperado de <http://www.mathworks.com>.

Xu, X., Mathur, R.M., Jiang, J., Rogers, G.J. & Kundur, P. (1998). Modeling of generators and their controls in power system simulations using singular perturbations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 13(1), 109-114.

Zarate, R., Van Cutsem, T., Milano, F. & Conejo, A. J. (2010). Securing transient stability using time-domain simulations within an optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 243-253.

Zhang, X. P. (2004). Multiterminal voltage-sourced converter-based HVDC models for power flow analysis. *IEEE Transaction on Power Systems*, 19(4), 1877–1884.

## **Análisis estructural de andadera para niños con discapacidad motriz**

Reynaldo Ledesma, Emanuel Moreno y Miguel Ferrer

R. Ledesma, E. Moreno, M. Ferrer  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2, Valle de Santiago, Gto, México.  
C.P. 38400  
rledesma@utsoe.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

This paper deals with the structural analysis of the main frame of a walker for children with motor disabilities. Currently the design is already in the validation phase with the built prototype, although high and permanent deformation tests were detected within the linear range of critical components of the structure. As requires precise study to ensure that the prototype is safe for use by children under 12 years of age.

This work aims to implement the Finite Element Method (FEM ) using ANSYS software, based on a model previously made fact to determine whether it is feasible for use and implementation.

The principal stresses, displacements and safety factor were determined, checking to fatigue that are within allowable values for configurations and materials used. It is concluded that the proposed modifications the design is safe.

## 16 Introducción

Se estima que más de 500 millones de personas en el mundo tienen algún impedimento físico, mental o sensorial y alrededor del 80 % de estas personas viven en los países en desarrollo.

Generalmente a las personas con discapacidad se les niega la posibilidad de educación o de desarrollo profesional, se les excluye de la vida cultural y las relaciones sociales normales, se les ingresa innecesariamente en instituciones y tienen acceso restringido a edificios públicos y transporte debido a sus limitaciones físicas.

Por si fuera poco, los discapacitados se encuentran en desventaja jurídica, ya que no cuentan con un documento oficial único que enumere sus derechos, sino que están dispersos en una serie de dictámenes judiciales, recomendaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) e instrumentos jurídicos.

Pero no solamente las personas con discapacidad sufren. La sociedad pierde la oportunidad de aprovechar el enorme potencial de las personas con capacidades diferentes.

Dentro del gran número de discapacidades que se pueden presentar en los seres humanos y que a la fecha han sido clasificados en diferentes grupos y subgrupos, se encuentran las discapacidades motrices: Comprenden a las personas que presentan discapacidades para caminar, manipular objetos y de coordinación de movimientos para realizar actividades de la vida cotidiana. Este grupo lo conforman tres subgrupos: Discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza, Discapacidades de las extremidades superiores y las insuficientemente especificadas del grupo discapacidades motrices.

Las discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza, comprenden a las personas que aun teniendo sus piernas no tienen movimiento en éstas, o sus movimientos tienen restricciones que provocan que no puedan desplazarse por sí mismas, de tal forma que necesitan la ayuda de otra persona o de algún instrumento como silla de ruedas, andadera o una pierna artificial (prótesis).

Este subgrupo también incluye a las personas que tienen limitaciones para doblarse, estirarse, agacharse para recoger objetos y todas aquellas discapacidades de movimiento de tronco, cuello, y cabeza (excepto parálisis facial); así mismo incluye a las deficiencias músculo-esqueléticas que afectan la postura y el equilibrio del cuerpo.

El MEF ha adquirido una gran importancia en el diseño y análisis de elementos y/o sistemas mecánicos sometidos a cargas, en el campo de la ingeniería, de la física, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado costo tanto económico como en tiempo de desarrollo.

Las piezas que se someten a una carga variable y repetida se rompen a tensiones considerablemente menores que el límite de rotura del material a carga estática.

A este fenómeno se le conoce como fatiga y durante el diseño de algunos componentes se deben contemplar sus afectaciones. Generalmente se tienen afectaciones considerables para piezas de máquinas que se mueven a altas revoluciones y con cargas cíclicas o repetitivas, que pueden alcanzar hasta millones de ciclos en todo el periodo de servicio de la máquina. Sin embargo, las afectaciones también suelen ser graves para máquinas que trabajan a bajas velocidades. Avilés (2005).

Se han reportado diversos estudios relativos al análisis de esfuerzos en sistemas mecánicos, aunque ninguno en un sistema similar. En un estudio realizado por Ingalls (2011), se reportó el diseño conceptual de una andadera para discapacitados, en el que realizan un análisis por el MEF para uno de los componentes, las bases de las ruedas, de forma estática y lineal.

El marco de soporte de la andadera no fue analizado. En otro artículo se documenta la metodología para el diseño de un dispositivo que permite automatizar una silla de ruedas y que muestra el análisis mediante elementos finitos de un componente crítico, el soporte del motor y pernos de sujeción, obteniendo un estado de esfuerzos que el dispositivo soporta (Martínez y Ramírez, 2010).

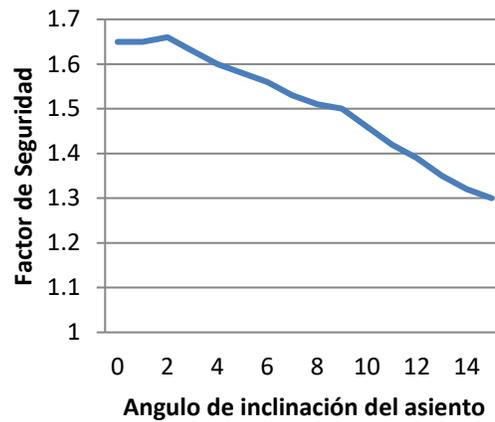
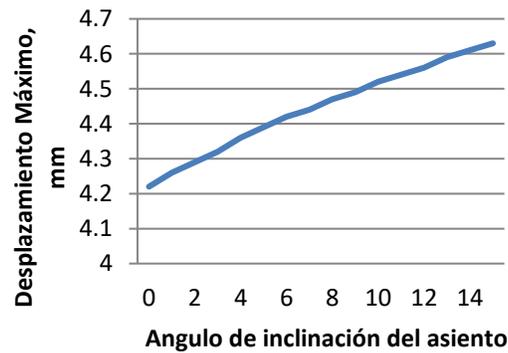
Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el método de elemento finito con el propósito de obtener una mejor aproximación en cuanto a la resistencia mecánica, estática y por fatiga, de los componentes principales de la andadera, que juntos conforman el chasis principal.

## **16.1 Materiales y métodos**

Como características principales la andadera se tiene que es telescópica, fabricada en perfiles tubulares industriales, lo que permite ajustar su altura a diferentes medidas, adecuada para niños de entre 9 y 12 años; peso ligero de apenas 3 kg, una estructura tubular, completamente desmontable, con un sistema que permite ajustar la inclinación y posición del asiento y respaldo frontal. Con ruedas guía en el frente que permiten la dirección de la andadera apoyándose con las manos en la cubierta y con los pies en el piso. Ver Figura 16.

**Figura 16** Modelo de andadera

Para el modelo inicial mostrado en la figura 1 se determinaron el factor de seguridad, los desplazamientos máximos, así como el comportamiento a la fatiga, para distintas inclinaciones del asiento. Ver Figs. 2 y 3.

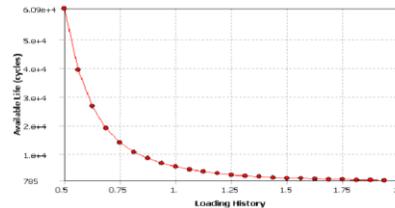
**Figura 16.1** Gráfico de resultados del factor de seguridad**Figura 16.2** Gráfico de resultados de los desplazamientos máximos

En base a estos resultados preliminares, se encontró que la estructura de la silla si resiste bajo carga estática, encontrando valores de 1.3 en el factor de seguridad para un ángulo de inclinación del asiento de 15 grados respecto de la horizontal.

Sin embargo los niños que presentan este tipo de discapacidades no permanecen en la misma posición mientras se encuentran en la silla. Generalmente se mueven de forma brusca o se elevan y dejan caer. Por tal motivo se realizó también un análisis a fatiga.

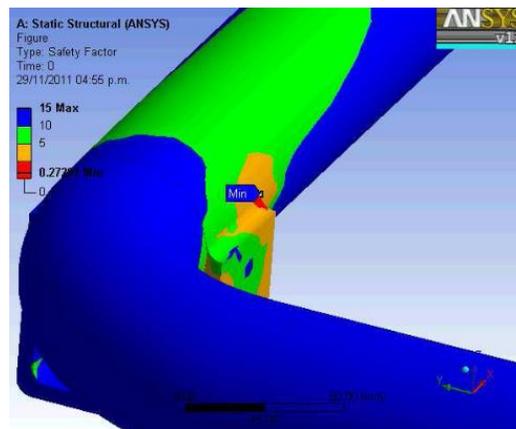
Una vez realizado el análisis a fatiga se encontró que el factor de seguridad disminuía bruscamente hasta valores de 0.27 para 1,000,000 ciclos de carga propuestos. Ver Fig. 4. Así mismo se puede apreciar en la misma figura que para un factor de seguridad de 1.0 se tendrían 890 ciclos.

**Figura 16.3** Gráfico de resultados del factor de seguridad a la fatiga



Esta situación indica que se podrían tener daños en la estructura a un corto tiempo de uso. En la Fig. 16.4 se aprecia una zona que podría ceder durante el uso de la silla.

**Figura 16.4** Zona crítica en un apoyo de la silla



Para propósitos de análisis, y una vez que se revisaron los resultados obtenidos, se propusieron modificaciones en el modelo previo. Se utilizarán los mismos materiales, perfil tubular en acero ASTM A-36 pero en diferentes grosores y se compondrá de los mismos elementos; el inferior que funge como base y el superior que se puede deslizar en los tres pilares del inferior para ajustar la altura mediante perillas roscadas. Como materiales se propusieron tubo de 3/4" para la parte inferior, y tubo de 1/2" para la parte superior de cédulas más gruesas.

La parte superior se reforzó con perfil tubular de 1/2" para soportar en el centro una sección del asiento y sujetar la cubierta. En la sección inferior trasera tiene orificios para el montaje de las ruedas traseras y en el frente tiene placas perforadas y soldadas para la guía de las ruedas delanteras. Ver Figura 16.5.

**Figura 16.5** Modelo propuesto.

### Condiciones iniciales

Las propiedades del acero estructural ASTM A 36 son: esfuerzo de fluencia: 248 MPa, resistencia última a la tensión: 400 – 551 MPa, % de elongación en 8" min: 20, módulo de elasticidad de 200 MPa y una densidad de 0.00000785 kg/cm<sup>3</sup>. Todas las uniones son soldadas con soldadura E6013.

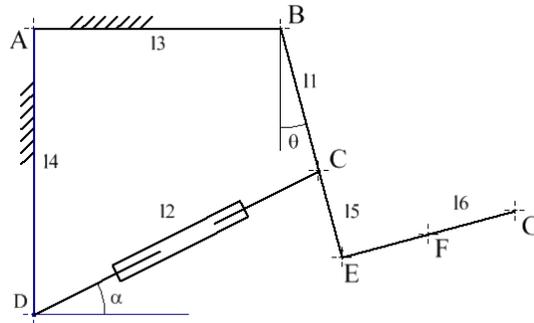
### Cargas y condiciones en los apoyos

La simulación se realizó para varios estados de carga, dependientes del peso del niño, de su posición en el asiento y de la inclinación del mismo.

El peso promedio de un adolescente de 11 a 14 años de edad es de 45 kg. Sin embargo, de acuerdo al Índice de Masa Corporal (IMC), un niño de 12 años puede tener un peso de hasta 58.5 kg, en estado de obesidad, Gobierno Federal, Secretaría de salud (2011). En base a esto y para distintas posiciones se determinaron las reacciones en los apoyos de la estructura, mismos que sirvieron para hacer el análisis.

En la Fig. 16.6. se muestra el diagrama cinemático auxiliar del mecanismo de levante para asiento. Dicho sistema tiene dos elementos considerados como fijos: I3 y I4. Al modificar la longitud del brazo I2, se presenta una variación en los ángulos  $\Theta$  y  $\alpha$ . A sí mismo  $\Theta$  representa el ángulo de inclinación del asiento. Si bien es cierto que durante el uso de la silla no se estará modificando la posición continuamente, ésta sí afectará para determinar las reacciones en los apoyos B y D, en base a la carga que se concentra en el ponto F.

A continuación se plantearon las ecuaciones de restricción en base a la geometría. En total se encontraron tres ecuaciones, de las cuales las dos primeras establecen las relaciones geométricas que deben cumplirse en el mecanismo y la tercera impone las condiciones de posición en el eslabón de entrada.

**Figura 16.6** Diagrama cinemático auxiliar.

$$l_2 \cos \alpha - l_1 \sin \theta - l_3 = 0$$

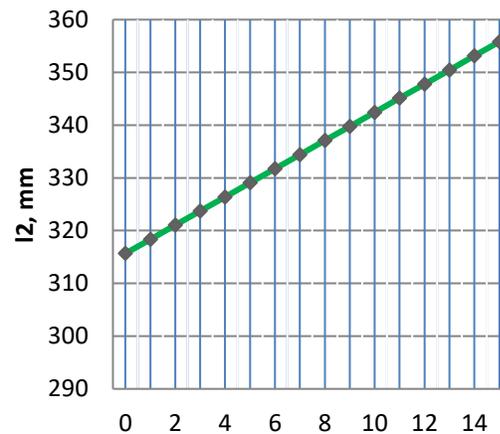
$$l_2 \sin \alpha + l_1 \cos \theta - l_4 = 0$$

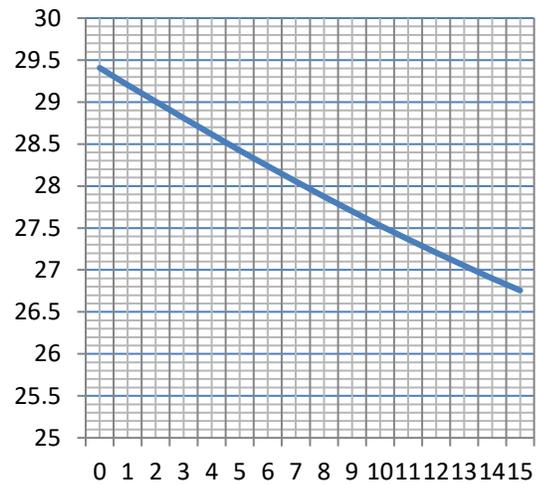
$$l_2 - s = 0$$

**Tabla 16** Parámetros geométricos.

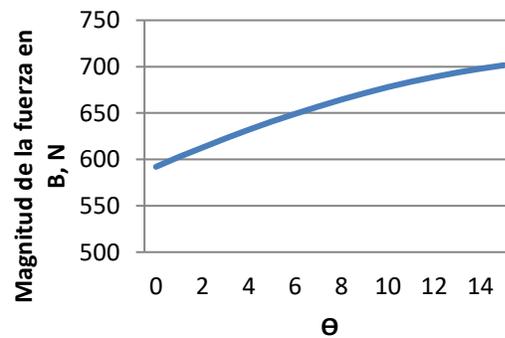
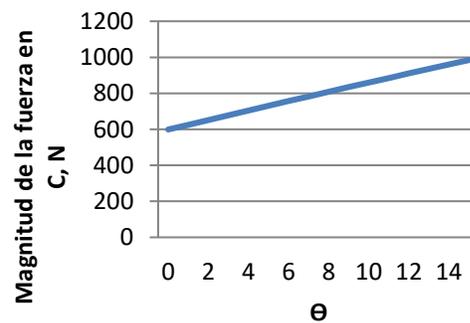
Parámetro	Dimensión
11	165 mm
12	Variable 315 – 356 mm
13	275 mm
14	320 mm
15	100 mm
16	200 mm

Resolviendo simultáneamente las expresiones anteriores y sustituyendo los valores conocidos de los parámetros iniciales se obtuvieron los resultados en cuanto a posición articular. Ver Figs. 16.7 y 16.8.

**Figura 16.7** Longitud 2 en función del ángulo de inclinación  $\Theta$ .

**Figura 16.8** Angulo  $\alpha$  en función del ángulo  $\Theta$ 

Conociendo la posición de cada uno de los componentes del sistema, se procede a continuación a determinar las reacciones en los apoyos en base al ángulo de inclinación del asiento. Ver Figs. 10 y 11.

**Figura 16.9** Magnitud de la fuerza en el apoyo B**Figura 16.10** Magnitud de la fuerza en el apoyo C

Al modelo bajo análisis se le asignarán cuatro condiciones de apoyo, ver Figuras 10 y 11: las primeras dos en los soportes frontales de las ruedas guía, que se representará como una combinación de una unión cilíndrica y un soporte sin fricción. Para propósitos de análisis se restringe el movimiento de la estructura en el plano de soporte, aunque durante su uso un niño la pueda empujar en cualquier dirección y se deslice. Los apoyos en las ruedas de la sección trasera se modelarán como soportes sin fricción.

## Discretización

La malla generada para realizar el análisis por el MEF se asignó primero por default, posteriormente se hicieron refinamientos en algunas zonas de interés donde se tenía una concentración crítica de esfuerzos.

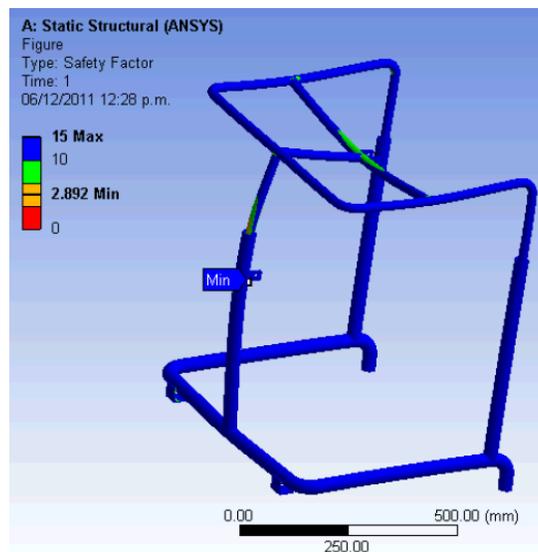
Como elementos base se asignaron elementos prismáticos y tetrahedros. La malla generada presentó un total de 131537 nodos y 39755 elementos.

## 16.2 Resultados y discusión

Para el cálculo estático de la estructura se considero que las cargas se aplican a una velocidad relativamente baja, de tal forma que no influya en los resultados finales.

Un análisis lineal asume que las deformaciones debidas a las cargas aplicadas son despreciables por que los esfuerzos y las deformaciones están dentro del límite elástico del material. Por lo tanto se eligió un análisis lineal. En la **Figura 16.11** se indican la distribución y los valores críticos obtenidos para el factor de seguridad.

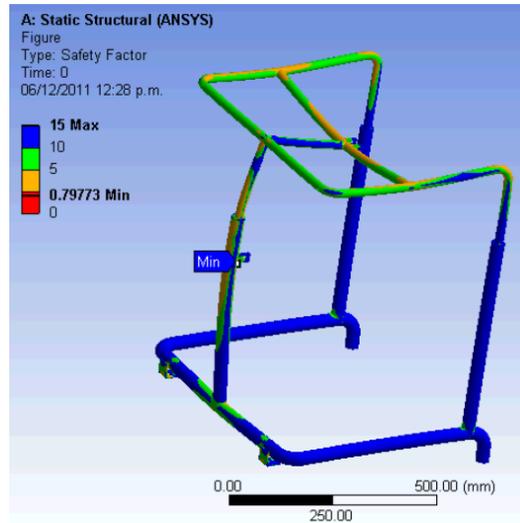
**Figura 16.11** Factor de seguridad bajo carga estática



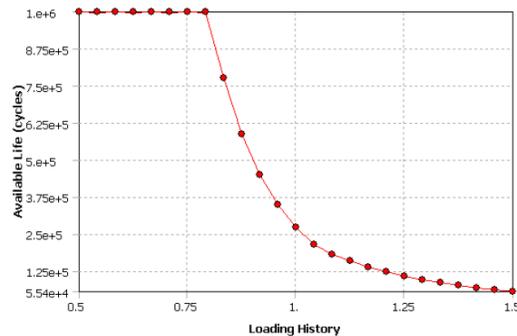
En el cálculo a la fatiga se presentó un comportamiento satisfactorio durante el análisis. El factor de seguridad mínimo es por debajo de 1 para 1,000,000 ciclos de carga propuestos.

Ver Figs. 16.12 y 16.13. Así mismo se puede apreciar en la misma figura que para un factor de seguridad de 1.0 se tendrían 275,000 ciclos.

**Figura 16.12** Factor de seguridad a la fatiga



**Figura 16.13** Variación del factor de seguridad a la fatiga



Los resultados obtenidos fueron aceptables encontrando valores de esfuerzos muy por debajo del valor de referencia para el esfuerzo de fluencia de material utilizado, y un valor mínimo para el factor de seguridad de 2.8 en la posición crítica de 15 grados de inclinación. Esto indica que la estructura de la silla soporta de forma satisfactoria la carga de un niño.

### 16.3 Conclusiones

En este trabajo se puso especial atención en el análisis de las características de resistencia bajo un número de ciclos de carga determinados, para el chasis de una silla fabricada enteramente con perfiles estructurales comerciales. Para ambos casos de estudio, tanto el análisis estático lineal como para el análisis de fatiga, se encontró que la distribución de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad se determinaron en base a cargas originadas por condiciones especiales de operación. Se determinó al final que en ambas condiciones la estructura resiste, aunque por las condiciones y la naturaleza de aplicación de la carga y en base al estudio de fatiga, la silla es segura hasta por 275,000 ciclos de carga.

Es conveniente también realizar un proceso de optimización de material debido a que en algunas regiones del chasis se observa que los esfuerzos están muy por debajo del valor de referencia, lo que daría pie a reducir materiales pero sin sacrificar resistencia. En cuanto al análisis a fatiga se aprecia que al aumentar la cantidad de material, aumentando la sección transversal de los perfiles estructurales en la base, se obtiene mejor respuesta a la aplicación de la carga y de forma adicional se consigue mejor estabilidad, ya que se reduce la distancia desde el suelo hasta el centro de gravedad.

#### **16.4 Agradecimientos**

Se hace un especial agradecimiento al Tecnológico de Celaya por el apoyo brindado en el uso de una licencia de ANSYS WORKBENCH.

#### **16.5 Referencias**

Gobierno Federal, Secretaría de salud. (2011). Cartilla nacional de salud para adolescentes de 10 a 19 años, México..

Avilés Rafael. (2005). Análisis de Fatiga en Máquinas, Thomson, España.

Ingalls Roman Fernando. (2011). Diseño conceptual de una andadera para subir y bajar escaleras. Tesis para obtener el grado de Ingeniería mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de México.

Martínez Quintero J. C. y Ramírez Arias J. L. (2010). Simulación de elementos finitos de un dispositivo adaptado a una silla de ruedas para automatizarla y modelado 3D con Matlab. *Revista Ingeniería solidaria. Volumen 6. Número 10.* Pp. 53-58.

## **Análisis y optimización de estaciones de trabajo, con enfoque ergonómico para el aumento de la productividad y disminución de riesgos laborales**

Salvador Pérez, José Méndez y Ariadne Jiménez

S. Pérez, J. Méndez y A. Jiménez  
Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan,  
Camino a la barranca de Pesos S/N, San Lucas Atoyatenco, San Martín Texmelucan Puebla, C.P. 74120  
zalvadorpm@outlook.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## **Abstract**

Perform field research, engaging in the industries needs in the region, and using the tools of industrial engineering (time study, line balancing, lean six manufacturing) design methodologies and ergonomic adjustments workstation as a result of these analyzes

## **17 Introducción**

La Zona de Puebla se caracteriza por tener una variedad en cuanto a sectores productivos se refiere, ya que encontramos industria automotriz, textil, manufacturera, de transformación, farmacéutica, entre otras.

En la región se encuentran una cantidad considerable de empresas principalmente sector automotriz, proveedores directos de las principales casas ensambladoras de vehículos establecidas en la región, las cuales tienen diversos procesos de ensamble principalmente.

Lo que se busca en una primera etapa es visitar industrias, analizar técnicas y metodologías de trabajo, identificando necesidades y deficiencias que cuenten debido a una falta de estandarización en metodologías de trabajo, o falta de adaptación ergonómica de estaciones de trabajo.

Se pretende generar prototipos a largo plazo de estaciones de trabajo y documentar mediante artículos análisis de metodologías, estudios ergonómicos industriales y propuestas en base a estudios de aplicación de herramientas de ingeniería industrial. La segunda etapa es la parte base, la investigación, es la base para el éxito de este proyecto, ya que se requiere conocer todos los elementos teóricos necesarios para la correcta selección o adecuación de metodología de trabajo, materiales, mecanismos, metodologías y aplicabilidad de elementos kaizen, esto mediante un correcto diseño del mismo que involucra planos precisos de los elementos.

Por lo tanto dentro del proceso de investigación se registraran cada una de las etapas, actividades y metodologías necesarias para elaborar desde el mismo diseño, hasta la materialización del mismo. Se cuentan con información teórica con respecto a estudios basados en ingeniería industrial, sin embargo la información que se tiene se encuentra solo en libros especializados sin una aplicación real a casos actuales.

De igual forma los estudios realizados y los patrones de mejoramiento de metodologías de trabajo y adaptación de estaciones de trabajo están calculados para personas con características europeas, asiáticas o estadounidenses, se necesita adaptarlos a características de personal mexicano y más del centro del país (región a la que pertenecemos) resulta que no se cuenta con ningún antecedente de estudios de este tipo, basados en diversas herramientas de ingeniería industrial.

Actualmente el uso de la metodología Lean six Manufacturing no se encuentra implementada en el país pese a que algunas empresas importantes dicen tenerlo implantado distan demasiado del fin planteado teóricamente; y en países desarrollados recientemente se está buscando la manera de aplicarse de manera eficiente.

El antecedente más cercano de optimización de metodologías se maneja por separado, es decir, se cuentan con intentos de adaptación de metodologías apoyados en estudios de tiempos y movimientos analizando therbligs, por separado se maneja el balanceo de líneas, y muy de lado se deja a la adecuación ergonómica de la estación de trabajo al trabajador.

En cuestión de análisis se requiere seguir metodologías precisas y efectivas en base a una detección de variables que afectan el desempeño de los trabajadores y mediante análisis estadísticos se establecen datos teóricos perfectos, sin embargo el análisis cultural, físico, etc. (aspectos que si se pretenden analizar) no se considera en ningún tipo de estudio.

## 17.1 Métodos

Ergonomía<sup>1</sup>: Desde que el hombre empezó a interactuar con el ambiente, se ha topado con un sinnúmero de problemas para “ajustarse” a las demandas de su mundo físico, se ha reducido la productividad y se han cometido errores en innumerables casos. Las demandas del ambiente han sido enormes, de modo que las necesidades y las habilidades del ser humano han quedado en segundo término.

El hombre se adapta para cumplir con los requerimientos de su ambiente; este enfoque queda a veces incorporado dentro del concepto de entrenamiento. Tales limitaciones se pueden considerar en tres áreas:

- El costo de hacer que el operario se ajuste a su ambiente
- La eficacia de este enfoque, y
- La posible desintegración de la ejecución humana, que puede ocurrir cuando se le pone en condiciones de estrés.

Queda claro que con el entrenamiento por sí solo, el operador humano no puede rendir al máximo. Solo cuando el trabajo sea diseñado para estar en armonía con las capacidades físicas, cognoscitivas y emocionales del operario, la ejecución será la máxima en un rango de condiciones amplio. El papel de la ergonomía es medir las capacidades del hombre y después arreglar el ambiente para que se ajuste a ellas. Intenta “ajustar el trabajo al hombre”, más que “ajustar al hombre al trabajo”.

La ergonomía es la parte del estudio del trabajo que, con la utilización de conocimientos anatómicos, fisiológicos, psicológicos, sociológicos y técnicos, desarrolla métodos para la determinación de los límites que no deben ser superados por el hombre en las distintas actividades laborales. La ergonomía es la adaptación del medio al hombre. Se aplica en todo el entorno del hombre, en el trabajo, en el hogar, en el transporte, en el deporte, etc. La ergonomía en el trabajo, se suele también definir como humanización del trabajo o confort laboral.<sup>2</sup>Antropometría y diseño<sup>3</sup>: La guía primordial es diseñar el lugar de trabajo para que se ajuste a la mayoría de los individuos en cuanto al tamaño estructural del cuerpo humano. La ciencia de medir el cuerpo humano se conoce como antropometría y, por lo común, utiliza una variedad de dispositivos tipo calibrador para determinar las dimensiones estructurales, como estatura, largo del antebrazo y otros. Así, esta subdisciplina trata lo concerniente a la “aplicación de los métodos físico-científicos al ser humano para el desarrollo de los estándares de diseño y los requerimientos específicos para la evaluación de los diseños de ingeniería, modelos a escala y productos manufacturados, con el fin de asegurar la adecuación de estos productos a la población de usuarios pretendida”.

<sup>1</sup> Ergonomía en Acción. David J. Osborne. Editorial Trillas. Capítulo 1

<sup>2</sup> Definición de la Asociación Mexicana de Ergonomía A.C. 1999

<sup>3</sup> Ingeniería Industrial. Niebel, Freivalds. 11ª Edición. Capítulo

En conjunto si se trasladan estos principios a la industria, los beneficios que conlleva se verán reflejados en múltiples sectores, el principal es en la salud de los trabajadores, a corto y largo plazo, en productividad también se verán reflejados los beneficios, en estabilidad laboral, disminución de costos, entre otros.

## **Objetivos**

General: Diseñar estaciones de trabajo mediante la aplicación de herramientas propias de la ingeniería industrial para mejorar el puesto de trabajo desde el punto de vista ergonómico para incrementar la productividad del trabajador y garantizar una calidad del producto que beneficie el prestigio de la empresa, complementándolo con la adecuada metodología de trabajo, que se apoye en procedimientos, instructivos conforme a normas nacionales e internacionales

Específicos:

- Identificar las condiciones de trabajo que afectan la integridad del trabajador
- Hacer una mejora en el puesto de trabajo
- Establecer metodologías de trabajo propias de las características del personal
- Proporcionar seguridad laboral al trabajador
- Aumentar la productividad del trabajador

## **Metas**

- Investigación teórica y de campo sobre análisis de estaciones de trabajo en líneas de ensamble en la región.
- Detección de necesidades de adecuación de metodologías de trabajos de ensamble manual en líneas productivas.
- En base a estudios del proceso productivo mejorar la situación de cada puesto de trabajo proponiendo rediseños y mejoras a los mismos a las metodologías de trabajo, basándonos principalmente en estudios con herramientas de ingeniería industrial y anteponiendo factores ergonómicos.
- Realizar un estudio de factibilidad económica para la realización del proyecto.
- Realizar estudios de obtención de recursos en base a diagnóstico para la generación de prototipos de mejora de las estaciones de trabajo.
- Aumentar la productividad del personal brindando mejor calidad en su producción y en su persona.
- Generar el prototipo a largo plazo y documentar mediante artículos las propiedades y ventajas sustentables de realizar dicho proyecto.

**Impacto o beneficio en la solución a un problema relacionado con el sector productivo o la generación del conocimiento científico o tecnológico.**

En este proyecto de investigación se lleva a cabo el análisis de un puesto de trabajo de ensamble en líneas productivas, definiendo su situación actual, verificando si tanto la metodología de trabajo como la estación misma, están diseñados de la manera correcta y adecuado para el trabajador que labora en éste, para:

- Encontrar sus dimensiones actuales
- Observar la postura que adopta el trabajador
- Verificar si el trabajador utiliza el equipo necesario para su seguridad
- Localizar los puntos que provocan lesiones al trabajador

Este análisis da a conocer qué modificaciones se pueden llevar a cabo en dicho puesto de trabajo para eliminar situaciones que afectan la productividad de la empresa, tales como:

- Baja producción por días de incapacidad del personal
- Riesgos de trabajo
- Rotación del personal
- Capacitación a nuevo personal
- Daños a la integridad del personal
- Estrés

Esta investigación permite conocer los puntos que afectan la productividad del personal para realizar mejoras que nos permitan eliminarlos o disminuirlos, con lo cual se logrará:

- Mejores condiciones de trabajo
- Aumento en la productividad de la empresa
- Mejor calidad del producto
- Mejor ambiente de trabajo

Aplicando metodologías de reciente creación como la eliminación de desperdicios mediante una combinación de técnicas propias de la ingeniería industrial, más herramientas en tendencia como lo es el Lean six Manufacturing se buscara aplicar tanto a la forma de trabajo como a la adecuación de espacios y estaciones de trabajo para aumentar la productividad parcial de la mano de obra como la productividad global de la industria.

### Caso Práctico

El estudio antropométrico se realizo en dos industrias de la región, que se dedican al mismo giro, los puestos de trabajo se diseñaron en Alemania debido a que las máquinas y mesas de trabajo provienen de dicho país, por tal motivo el diseño del puesto de trabajo se centró en personas de origen alemán, que son de características similares a las personas que habitan en Estados Unidos, por tal motivo el puesto de trabajo se ajusta correctamente a las dimensiones que se presentan en la estación de trabajo propuesta en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel 11ª Edición, 1.73 mts. para mujeres (Tabla 17).

**Tabla17** Dimensiones del cuerpo

Dimensiones del cuerpo	Dimensión, cm (percentiles)			
	5	50	95	
Estatura (altura)	Hombre	161.8	173.6	184.4
	Mujer	149.5	160.5	171.3

Fuente: Ingeniería Industrial. Niebel, Freivalds. 11ª Edición. Tabla 5 – 1

Las mujeres operativas que laboran en la industria de análisis tienen un promedio de 1.49 m de estatura. Se tomaron medidas de las partes del cuerpo de las operadoras, referentes a estatura, altura a los ojos, altura al hombro, altura al codo, etc., en posición de pie y sentada, únicamente se colocan los datos de la altura total en la tabla 17.1.

**Tabla 17.1** Dimensiones de las operarias (Altura)

Dimensio nes del cuerpo (cm)	Trabajadoras												Prom edio
	Ope raria 1	Ope raria 2	Ope raria 3	Oper aria 4	Ope raria 5	Ope raria 6	Ope raria 7	Ope raria 8	Ope raria 9	Oper aria 10	Oper aria 11	Oper aria 12	
Estatura (altura)	149	150	148	151	150	148	148	150	150	149	151	150	149. 5

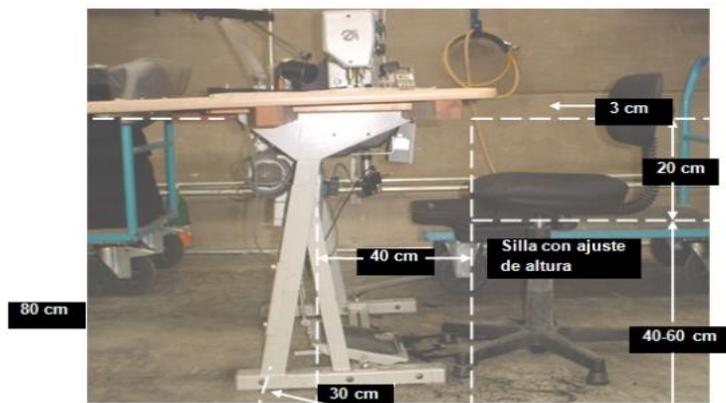
La Tabla 17.1 presenta las medidas tomadas para cada una de las operarias de ensamble laboran en la industria de análisis. Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 2 con los datos de la Tabla 1, se observa que las dimensiones de las operarias se ubican en el percentil 5, es decir, que las dimensiones que se requieren para hacer el diseño adecuado del puesto de trabajo de una operaria en nuestra región sería para el 5% de la población femenina que habita en Estados Unidos, con lo cual se observa que sí hay variabilidad en las dimensiones de la población femenina que habita en Estados Unidos y la población que habita en el Centro de México, aunque también se debe considerar la cultura y otros aspectos que influyen en la variabilidad de dimensiones, ya que no toda la población femenina que habita en el Centro de México cuanta con estas dimensiones de análisis.

Analizando el puesto de trabajo de la operaria se puede observar que el mejor método antropométrico para modificar dicho puesto es el de diseñar para que se ajuste, debido a que el puesto de trabajo de la operaria está diseñado para la mayoría de la población y puede ser utilizado tanto para mujeres con baja estatura como para hombres muy altos, quizás lo único que se debería ajustar es la altura de la mesa de ensamble, esta mesa podría tener una variación de altura de entre los 120 y los 130 cm de altura, con lo cual las operarias podrían alcanzarla sin la necesidad de modificar su postura.

#### Análisis dimensional del puesto de trabajo

En la Figura 17 se pueden observar las dimensiones del puesto de trabajo de una operadora. Se tomó la fotografía de un costado del puesto de trabajo para compararlo con un puesto de trabajo ilustrado en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel.

**Figura 17.1** Puesto de trabajo de una costurera (Cortesía Jugla de México SA de CV)



Se puede observar que el puesto de trabajo cuenta con una silla de ajuste de altura con patas que se apoyan en cojinetes de goma que la mantienen estática, proporcionando mayor comodidad y seguridad a la costurera.

El libro "Ingeniería Industrial" de Niebel 11ª Edición, presenta el diseño adecuado con dimensiones para un puesto de trabajo sentado con apoyo para los pies o pedal (Figura 2). Como se observa en la Figura 1, el puesto de trabajo analizado es sedente y se utiliza un pedal que acciona la máquina de costura, por tal motivo se toma la Figura 2 como base para comparar el puesto de trabajo analizado.

Al hacer la comparativa dimensional del puesto de trabajo de la costurera y de la estación de trabajo propuesta en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel 11ª Edición, el puesto de trabajo de la costurera (Figura 1) se encuentra dentro de los límites dimensionales que se establecen en la Figura 2, lo cual indica que el puesto de trabajo está diseñado correctamente en cuanto a sus dimensiones, por tal motivo el puesto de trabajo de la operadora (Figura 1) no debe causar ningún daño a la misma.

Lo que se observa es que tanto el puesto de trabajo de la operadora (Figura 1) como la estación de trabajo propuesta en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel 11ª Edición (Figura 2), fueron diseñados para personas que viven en Estados Unidos, por lo que se considera que el puesto de trabajo puede causar lesiones a personas con características distintas a las personas que viven en Estados Unidos.

La población mexicana es sin duda muy diversa. En el norte del país se presenta gente con estatura alta y complexión robusta, mientras que en las costas y en el sur la gente es de estatura baja. Hacia el centro del país se encuentran personas de estatura mediana, con un promedio de 1.70 m de estatura para hombres y 1.55 para las mujeres.

Esto indica que si sólo nos basáramos en las dimensiones del puesto de trabajo citado en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel 11ª Edición (Figura 2), se caería en un error al indicar que el puesto de trabajo de la operadora (Figura 1) está diseñado correctamente.

Por tal motivo se debe continuar con el análisis haciendo uso de la Antropometría para determinar un promedio de estatura y complexión para personas que viven en la región del centro de México, especialmente las personas que laboran en las empresas de estudio.

#### Estudio antropométrico

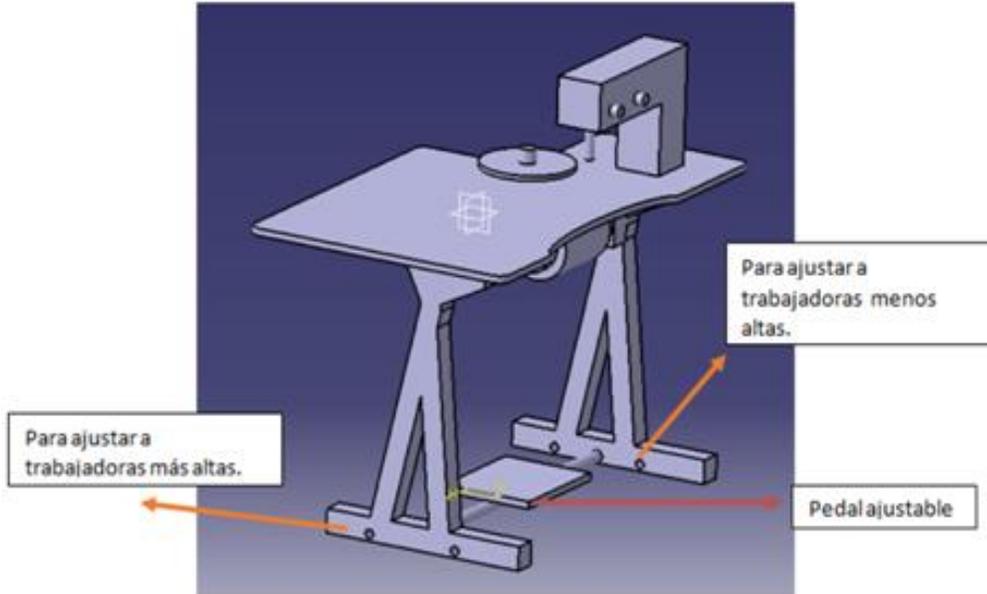
Como se observa en la Figura 3, a pesar de que el puesto de trabajo tiene las dimensiones correctas para su diseño según la Figura 2, la operadora no se puede adaptar a dichas dimensiones debido a que es de una estatura menor a la cual se basaron para diseñar el puesto de trabajo.

**Figura 17.2** Costurera en su puesto de trabajo (Cortesía Jugla de México SA de CV)



El puesto de trabajo se diseñó en Alemania debido a que las máquinas fueron ensambladas en ese país, por tal motivo el diseño del puesto de trabajo se hizo para personas de origen alemán, que son de características similares a las personas que habitan en Estados Unidos, por tal motivo el puesto de trabajo se ajusta correctamente a las dimensiones que se presentan en la estación de trabajo propuesta en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel 11ª Edición.

La costurera mide 1.50 m de estatura. Las operadoras que laboran en la empresa de estudio tienen un promedio de 1.49 m de estatura. Se tomaron medidas de las partes del cuerpo de las costureras referentes a estatura, altura a los ojos, altura al hombro, altura al codo, etc., en posición de pie y sentada con el objeto de determinar en que percentil se debe ubicar para realizar el estudio antropométrico y proponer cambios a las estaciones actuales para evitar la parte de inversiones cuantiosas en ajustes, proponiendo la siguiente mesa de trabajo Figura .

**Figura 17.3** Diseño de prototipo de mesa de trabajo

El análisis también contempla un estudio de desordenes de trauma acumulativo, para identificar que partes del cuerpo tienen mayor riesgo de lesión, afortunadamente se cuenta con datos históricos médicos de las trabajadoras que dan veracidad a los resultados de las encuestas aplicadas sobre principales dolencias que presentan en sus estaciones de trabajo actuales, mostrándose el concentrado de datos en la siguiente tabla 17.2:

**Tabla 17.2** Concentrado de datos DTA

Costureras	Espalda (A)	Espalda baja (B)	Glúteos (C)	Muslos (D)	Pierna (E)	Brazo (F)	Antebrazo (G)	Mano (H)
Dolores A.	2	5	2	2	1	2	6	5
Leticia C.	2	5	2	3	1	1	6	6
Andrea D.	2	4	3	3	1	2	6	5
Roberta F.	1	5	3	2	1	2	5	5
Patricia G.	2	6	2	2	1	1	5	7
Antonia H.	3	5	3	2	1	2	5	5
Julieta J.	2	3	3	3	1	3	4	6
Pilar L.	2	4	2	2	1	2	5	5
Gpe. M.	3	5	3	2	1	1	4	6
Sofía O.	1	5	3	3	1	2	5	6
Hilda S.	2	4	2	2	1	3	6	7
Lorena V.	1	5	3	3	1	2	6	5
Promedio	2	5	3	2	1	2	5	6

La escala utilizada va de 0 a 10, aumentando la gravedad del problema, como podemos ver, los principales problemas caen en lesiones de espalda baja, antebrazo y mano, es por ello que de manera independiente se deben hacer más ajustes a la estación que no solo tienen que ver con la mesa de trabajo, dentro de las propuestas que se presentan se tiene:

Realizar modificaciones en el pedal para que se ajuste a la altura de las piernas de la costurera.

Adaptar un cojinete en el respaldo de la silla para que las costureras se ajusten a la profundidad del asiento y a su vez tengan un apoyo en la espalda que evite que se encorven.

Proporcionar unos guantes de nitrilo URO NGURT, que ayudan a aliviar el frío y permite movimientos de las manos y tienen paneles para una mejor respiración entre los dedos.

Con estas recomendaciones se realizan prototipos en una línea de 5 trabajadoras, los resultados de la aplicación en 3 meses han mostrado aumento en la productividad al producir más piezas en promedio, los dolores musculares han disminuido según comentarios de las mismas trabajadoras, las ausencias por consultas médicas han disminuido en un 40%, de todo ello se cuenta con información y esta disponible, lo cual resume que una correcta aplicación de principios de economía más adecuado uso de equipo de seguridad por supuesto que beneficia la productividad y la salud ocupacional de los trabajadores.

## **Comentarios Finales**

### Resumen de resultados

En este trabajo de investigación se ha podido establecer mediante análisis estadísticos estándares dimensionales de las personas que laboran en las industrias de la región, encontrando datos confiables, que desafortunadamente no son los mismos que manejan libros teóricos al respecto del tema, la mayoría de la bibliografía se centra en diseño de estaciones de trabajo para mujeres de 1.65 a 1.70 mts. de altura y en la región los resultados obtenidos arrojan un promedio de 1.50 mts. de altura lo cual involucra un ajuste considerable en el diseño de una estación de trabajo y en la elaboración de metodologías de ensamble en las mismas acorde a sus cartas antropométricas.

### **17.2 Conclusiones**

Como conclusión valdría la pena difundir los resultados antropométricos obtenidos con investigaciones de regiones cercanas para trabajar en adecuaciones ergonómicas acordes a las personas de nuestro país, que sea considerada por las industrias al momento de establecer empresas, para obtener beneficios productivos, los cuales claramente se observan una vez adaptadas las relaciones hombre – máquina, referidas a trabajos de ensamble.

### **17.3 Recomendaciones**

Existe aún un amplio tramo por estudiar con referencia a la adaptación de máquinas, estaciones al hombre con las características latinas, aun falta por analizar la parte de la influencia de la cultura y tradiciones en estos métodos de trabajo, los cuales estamos plenamente convencidos que afectan en cuestiones productivas, una vez estandarizada la parte ergonómica valdría la pena realizar un estudio de esas características.

### **17.4 Agradecimientos**

El trabajo fue apoyado por el Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, para el fortalecimiento del cuerpo académico Optimización de sistemas de manufactura, clave ITCESSMT- CA-1 y su LGAC Diseño y optimización de sistemas de manufactura

## 17.5 Referencias

Ergonomía en Acción. David J. Osborne. Editorial Trillas. Capítulo 1.

Asociación Mexicana de Ergonomía A.C. 1999.

Ingeniería Industrial. Niebel, Freivalds. 11ª Edición.

Estudio del trabajo. Criollo, 8ª edición 2004

Medición y mejoramiento de la productividad, Shumant, D. 2007

Design Of Experiment, Taguchi, G. 2000

[aacm.org.ar](http://aacm.org.ar)

[assh.org](http://assh.org)

[aurorahealthcare.org](http://aurorahealthcare.org)

[basica.sep.gob.mx/tiempocompleto/pdf/.../manual\\_antropometria.pdf](http://basica.sep.gob.mx/tiempocompleto/pdf/.../manual_antropometria.pdf).

Diario Oficial de la federación, [www.segob.mx](http://www.segob.mx), Secretaria del trabajo y previsión social “Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo”

Ergonomía Research Society, 1949

Ergonomía: Aplicaciones y Sistema Hombre-Máquina

[www.cdc.gov/spanish/niosh/](http://www.cdc.gov/spanish/niosh/)

[www.niosh.gov/Department of Health and Human Services Musculoskeletal disorders and worplace factors](http://www.niosh.gov/Department%20of%20Health%20and%20Human%20Services%20Musculoskeletal%20disorders%20and%20worplace%20factors). Julio 1997

[www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000433.html](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000433.html).

[www.ortoped.fmed.edu.uy/Documentos/DeformidadesdeColumna.pdf](http://www.ortoped.fmed.edu.uy/Documentos/DeformidadesdeColumna.pdf).

[www.osha.gov/SLTC/etools/sewing\\_sp/sewingstationdesign.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/sewing_sp/sewingstationdesign.html).

## **Aplicación de las tecnologías de información para analizar los procedimientos utilizados por los maestros para promover la formación en valores**

Griselda Cortes, José Meneses, Rosa Zamora, José Vargas y Narciso Posadas

G. Cortes, J. Meneses, R. Zamora, J. Vargas y N. Posadas  
Universidad Autónoma de Coahuila. Calle Barranquilla sin número, Col Guadalupe, C.P.25750,Monclova, Coahuila.  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. 21 Sur 1103 Barrio Santiago, C.P. 72410, Puebla, Puebla.  
griselda.cortes.morales@uadec.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The investigation carried aimed to provide an analysis about the procedures using the teachers of public secondary Monclova Coahuila, to promote the teaching of values in their students. Participants were a total of 131 teachers of both sexes of seven randomly chosen public high schools, aged between 21 and 65. Through field research and descriptive information, it was found that there are deficiencies in: the elaboration of projects by teachers where students participate collaboratively to provide solutions to a specific problem in the community, the realization of projects through collegiate work supporting behaviors that promote peaceful coexistence and the project work integrates the school parents to improve values education students. In conclusion, each person must build his own scheme of values and the function of teachers is to collaboration with the process, developing situations in the environment so that students can experience and live the values.

## 18 Introducción

Actualmente se observa un fenómeno social en todo el mundo: la pérdida de valores en los niños y jóvenes, debido a que por diferentes situaciones, no son enseñados ni promovidos dentro del hogar, en la escuela o en el medio donde se desenvuelven, provocando una falta de identidad y personalidad, lo que ocasiona que los niños y jóvenes se refugien en pandillas, drogadicción, alcoholismo y por consecuencia esto se verá reflejado en ellos mismos como futuros empresarios o profesionistas y como padres de familia, agravándose este ciclo, con consecuentes repercusiones en la sociedad y en las empresas, dando lugar a actos de corrupción, trata de personas y narcotráfico.

Los seres humanos forman sus valores a través de la socialización. Ésta se presenta en dos etapas: primero en el seno de la familia y segundo en la escuela. El estudio de Fragoso (citado en Tedesco, 2003) sostiene que los cambios en la familia están afectando significativamente su función socializadora. El aumento en la diversidad de estructuras que adquieren las familias en la actualidad como el crecimiento de uniones libres, el número de hijos que viven solo con uno de los progenitores, la ausencia de la figura paterna o el cambio frecuente de dicha figura, el que ambos padres trabajen, así como el gran número de divorcios, madres solteras, el uso equivocado de la sexualidad y la libertad, han llevado a una transformación de los valores que poseen las familias. Se observa el aumento en la formación de parejas homosexuales y la adopción de hijos por estos mismos, así como la ausencia cada vez mayor de una religión.

Hoy por hoy muchos padres de familia dedican poco tiempo para atender a sus hijos, y para enmendarlo, los llevan a colegios privados en los que confían la formación valoral de sus hijos a profesores que consideran competentes lo cual no garantiza su formación.

Sin embargo, debido a la situación económica que se presenta actualmente, ambos padres deben trabajar para solventar los gastos de la familia y como consecuencia, se observa que un gran número de jóvenes no disfrutan de la suficiente cercanía de sus padres, esto lleva a que gran parte de la educación que tradicionalmente asumía la familia, recaiga sobre la institución educativa.

La crisis de valores también se presenta en las escuelas públicas, según Díaz (2006) en América Latina la profesión docente se encuentra con profesores cuyo vocabulario y presencia física dejan mucho que desear, al mismo tiempo los docentes en algunos países, han tomado la calle para protestar por sus condiciones de vida.

En ocasiones esas marchas, exceden todo control para convertirse en verdaderos actos vandálicos, con esto los profesores pierden toda autoridad moral para exigir a sus alumnos que tengan un comportamiento adecuado.

Actualmente las escuelas de educación pública y privada, cuentan con el programa de formación cívica y ética que apoya a la formación personal y ciudadana. A pesar de esto, se observa una falta de promoción de valores dentro de las instituciones públicas: alumnos desmotivados hacia las tareas académicas, falta de esfuerzo y estudio, comportamientos inadecuados y en ocasiones muy agresivos, falta de respeto hacia el profesorado, la alta presencia de bullying, desorientación vocacional y un largo etcétera de problemas con los que el profesorado tiene que enfrentarse día a día, y cada vez con más carencia de estrategias que aporten soluciones válidas.

Fragoso (citado en Rugarcia, 2005, p.93), afirma de manera tajante: “Los valores en la enseñanza son sin duda, el problema más importante de la educación contemporánea. La educación que se desatiende de la enseñanza de los valores no es educación”.

Es importante recalcar que la educación debe formar integralmente al alumno, no sólo proporcionándole una preparación de conocimientos académicos, sino formando su personalidad e impulsando el crecimiento pleno, integro en valores y cultura entre otros aspectos. Es en la educación donde está la riqueza y el potencial para hacer cambios positivos de por vida en la población, al cambiar o fortalecer los hábitos de vida al escolar, sus valores sobre la salud y medio ambiente, así como derechos y obligaciones (Flores, 2009).

De acuerdo con Díaz (2006) y Esquivel (2009), la tarea de la educación en valores, exige para todos los miembros de la institución coherencia y credibilidad; es decir, la congruencia entre lo que se dice y se hace. Difícilmente se puede formar una actitud en un ambiente escolar inmerso en la contradicción, es decir, cuando el conjunto de docentes y la institución escolar realizan conductas contrarias a esos valores de ciudadanía, tolerancia y respeto al otro.

El objetivo de esta investigación es analizar los procedimientos que utilizan los maestros de las escuelas secundarias públicas de Monclova, Coahuila para promover la formación de valores en los alumnos.

## **18.1 Materiales y métodos**

Esta investigación fue documental y de campo de tipo descriptivo. Documental al recopiar la información y realizar el análisis sobre qué es lo que la Secretaría de Educación Pública (SEP) a nivel nacional, demanda trabajar a los maestros de secundaria para la formación en valores en sus alumnos. Por otra parte se considera un estudio de campo, ya que la información se recabó directamente de la realidad que se investiga.

Las instituciones educativas para realizar esta investigación fueron siete secundarias públicas seleccionadas en forma aleatoria. Es importante mencionar que primero se solicitó a cada uno de los directores de las escuelas su autorización para aplicar el instrumento en la institución a su cargo.

## Muestra de profesores

La muestra definitiva de profesores a los que se les aplicó el cuestionario estuvo compuesta por un total de 131 individuos; de los cuales el 62.3% son maestras y el 37.7 % son maestros. En relación a la edad de los maestros se encuentra en el rango de los 21 años hasta los 65 años. Respecto al grado de estudios de los profesores se tiene que el 1.6% cuenta con doctorado, 9.8% con maestría, el 80.5% tienen licenciatura, el 6.5% carrera técnica y el 1.6% con especialidad.

## Selección del instrumento

En esta investigación se elaboró un cuestionario, para realizar una evaluación de los procedimientos que utilizan los maestros para la formación en valores de sus alumnos conforme lo establece la SEP. Este instrumento está fundamentado en el programa de Formación Cívica y Ética y en el trayecto formativo de Formación Cívica y Ética de la misma; el cual consta de 20 preguntas.

Evaluar al profesorado no es proyectar en él las deficiencias o razonables limitaciones del Sistema Educativo, sino es asumir un nuevo estilo, clima y horizonte de reflexión compartida, para optimizar y posibilitar espacios reales de desarrollo profesional de los docentes, de generación de culturas innovadoras en los centros educativos (Valdés, 2000).

La escala utilizada para en el cuestionario fue de tipo Likert, con las siguientes alternativas de respuesta:

5. Siempre
4. La mayoría de las veces
3. Algunas veces
2. La mayoría de las veces no
1. Nunca

### Validez del instrumento

Para validar el instrumento de recolección de datos se analizaron las variables formación de valores y procedimientos que son utilizados por los maestros. El tamaño de la muestra seleccionada cumple con un 93% de aceptación.

Para determinar el grado de fiabilidad del instrumento aplicado a los maestros se calculó el coeficiente de alfa de Cronbach (Tabla 1), utilizando el SPSS Statistics 17.0.

**Tabla 18** Fiabilidad cuestionario para maestras y maestros

Cronbach's Alpha	0.876
Número de items	20

Fuente: Elaboración propia

## Aplicación del instrumento de medición

La aplicación del cuestionario a los maestros se realizó en tres modalidades diferentes: a) de forma personalizada en la hora y día establecido por el director de la secundaria, b) por el mismo director de la escuela a sus maestros en una junta de consejo técnico y c) por asignación del director a un maestro o maestra en específico para realizarla.

## Preparación de los datos

La información obtenida del cuestionario, se capturó primeramente en Microsoft ® Office Excel versión 2007, posteriormente se exportó esta información al SPSS Statistics 17.0 donde se codificaron los datos y se realizó el análisis estadístico.

## 18.2 Resultados y discusión

Los procedimientos que utilizan los maestros para la formación en valores conforme a la SEP se presentan en la tabla 2, incluyendo la media y desviación estándar.

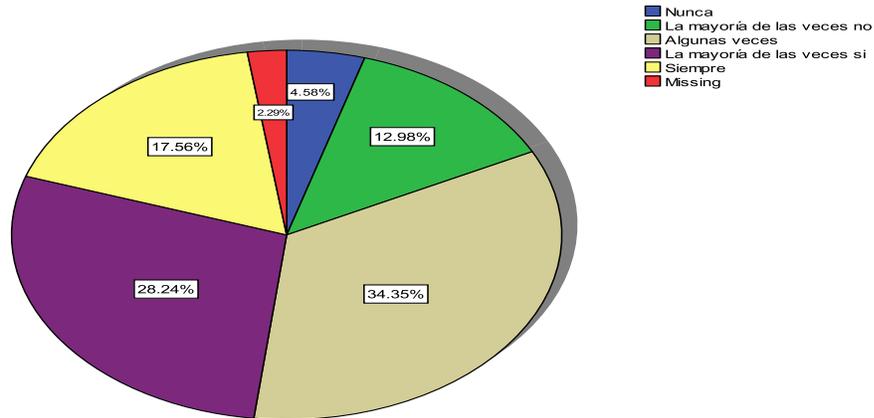
**Tabla 18.1** Procedimientos utilizados por los maestros para la formación en valores en sus clases

Procedimientos	Media	Desviación estándar
Elaboración de proyectos donde sus alumnos participan colaborativamente para aportar soluciones a algún problema específico de la comunidad.	3.40	0.975
En sus clases promueve la convivencia basada en el respeto a la integridad de las personas.	4.78	0.435
Establece en su clase la manera en que desea que se expresen en la convivencia diaria sus alumnos	4.43	0.746
En sus clases genera un ambiente de confianza respetuosa al llamar a cada uno de sus alumnos por su nombre	4.68	0.530
Fomenta el trabajo colaborativo en sus clases, basado en la confianza y la solidaridad	4.53	0.637
En su clase existen espacios de comunicación con los alumnos para que ellos expresen su opinión sobre situaciones que les inquieten dentro del aula, la escuela y en la vida diaria	3.94	0.848
Diseño de actividades para propiciar la búsqueda, el análisis y la interpretación de la información que lleva a los alumnos a cuestionar su vida diaria.	4.13	0.779
La institución educativa integra a los padres de familia en el proyecto de trabajo para mejorar la formación de valores en los alumnos.	3.42	1.077
Realización proyectos por medio de trabajo colegiado para plantear estrategias que apoyen conductas que favorezcan a la convivencia armónica		0.94
	3.64	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se observa que solo el 17.56% de las instituciones integran siempre a los padres de familia en el proyecto de trabajo para mejorar la formación de valores en los alumnos y el 28.24% de las instituciones lo hace la mayoría de las veces.

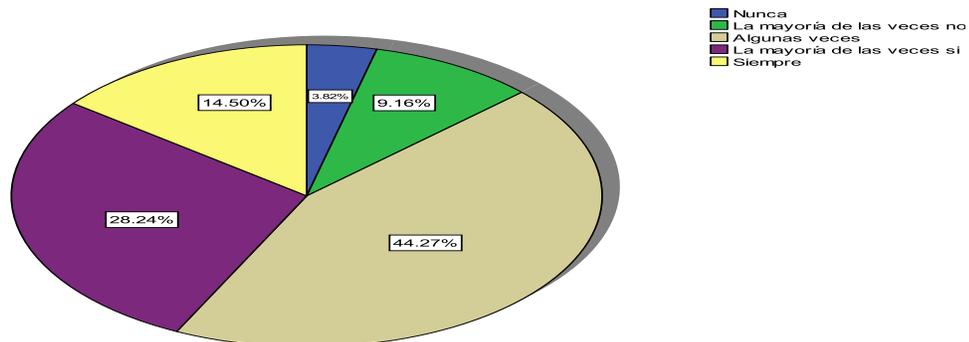
**Grafico 18** Integración de los padres de familia al proyecto de trabajo de la institución



Nota: missing (datos perdidos), se refiere a que no fue contestada la pregunta o se seleccionaron más de dos escalas como respuesta. Fuente: Elaboración propia

La figura 18.1 presenta en forma gráfica el porcentaje de los maestros que elaboran proyectos donde sus alumnos participan colaborativamente para aportar soluciones a algún problema específico de la comunidad. Se observa que el 44.27% de los maestros lo hacen algunas veces y solo el 14.50% de los maestros lo hacen siempre.

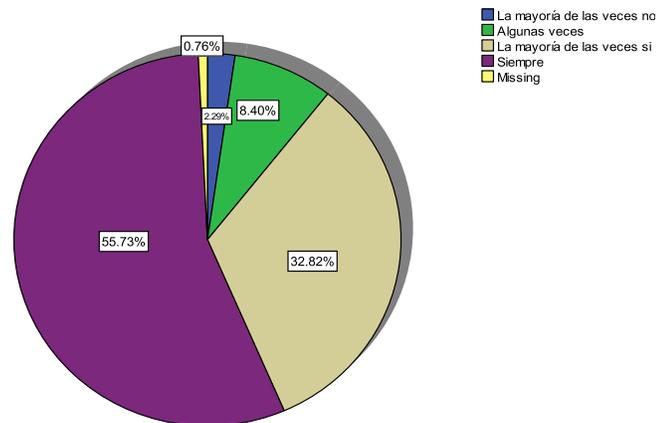
**Grafico 18.1** Elaboración de proyectos con la participación de los alumnos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18.2 se presenta de forma porcentual como los maestros establecen en su clase la manera en que desean que se expresen en la convivencia diaria sus alumnos. Se encontró que el 55.3% de los maestros siempre lo hacen, solo el 2.29% de los maestros la mayoría de las veces no lo hacen en sus clases.

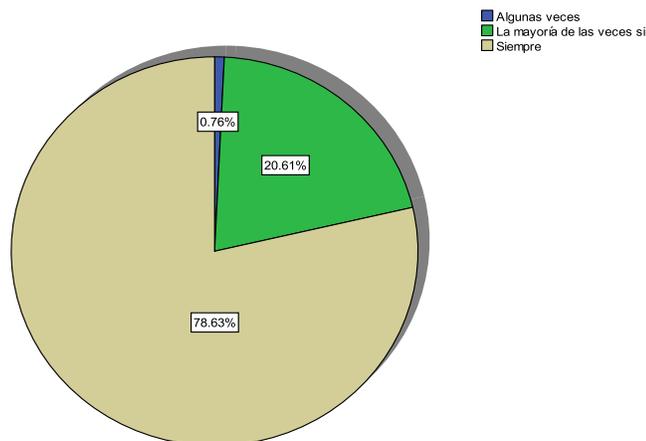
**Grafico 18.2** La manera en que desea que se expresen en la convivencia diaria sus alumnos



Nota: missing (datos perdidos), se refiere a que no fue contestada la pregunta o se seleccionaron más de dos escalas como respuesta. Fuente:Elaboración propia

En la figura 18.3 se muestra en forma gráfica, que el 78.63% de los maestros siempre en sus clases promueven la convivencia basada en el respeto a la integridad de las personas.

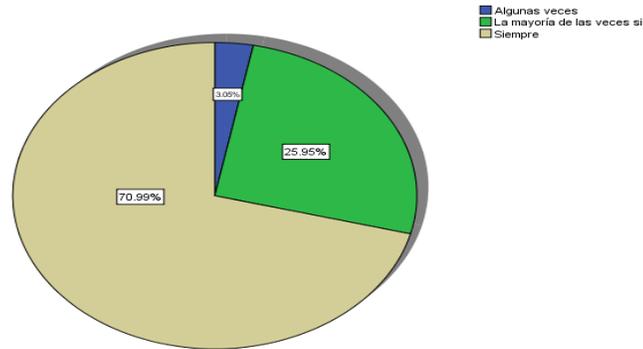
**Grafico 18.3** Promoción de la convivencia basada en el respeto a la integridad de las personas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18.4 se muestra de forma porcentual como los maestros en sus clases generan un ambiente de confianza respetuosa al llamar a cada uno de sus alumnos por su nombre; se observa que el 70.99% lo hacen siempre y solo el 3.05 algunas veces.

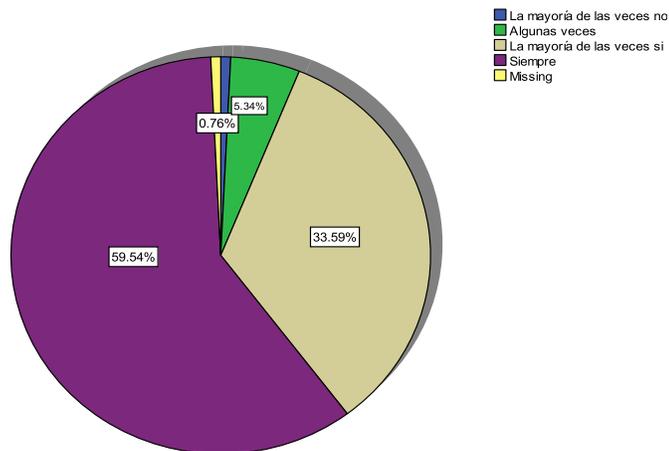
**Grafico 18.4** Confianza respetuosa al llamar a cada uno de sus alumnos por su nombre



Fuente: Elaboración propia

La figura 18.5 muestra que el 59.54% de los maestros siempre fomentan el trabajo colaborativo en sus clases, basado en la confianza y la solidaridad, mientras que el 33.59% lo hace la mayoría de las veces.

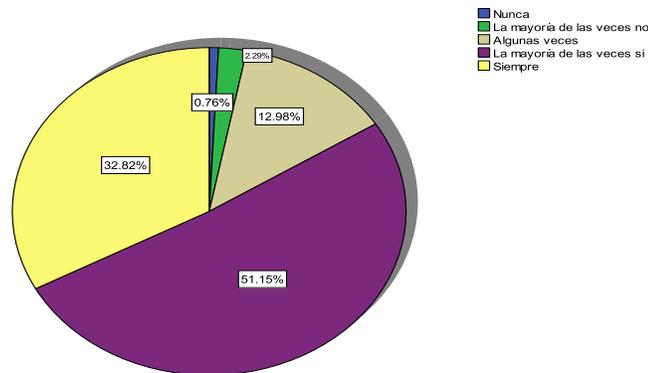
**Grafico 18.5** Trabajo colaborativo, basado en la confianza y la solidaridad



Nota: missing (datos perdidos), se refiere a que no fue contestada la pregunta o se seleccionaron más de dos escalas como respuesta. Fuente: Elaboración propia

En la figura 18.6 se muestra que el 51.15% de los maestros la mayoría de las veces diseña actividades que propician la búsqueda, el análisis y la interpretación de la información que lleva a los alumnos a cuestionar su vida diaria. Se encontró que el 32.82% de los maestros siempre diseña actividades que cumplan con lo mencionado anteriormente.

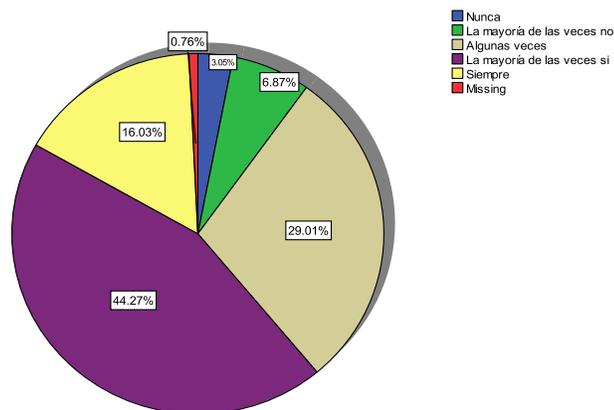
**Grafico 18.6** Diseño de actividades que lleva a los alumnos a cuestionar su vida diaria



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18.7 se muestra que el 44.27% de los maestros realizan la mayoría de las veces proyectos por medio de trabajo colegiado, para plantear estrategias que apoyen conductas que favorezcan a la convivencia armónica. Se observa que solo el 16.03% de los maestros lo hacen siempre.

**Grafico 18.7** Realización de proyectos por medio de trabajo colegiado

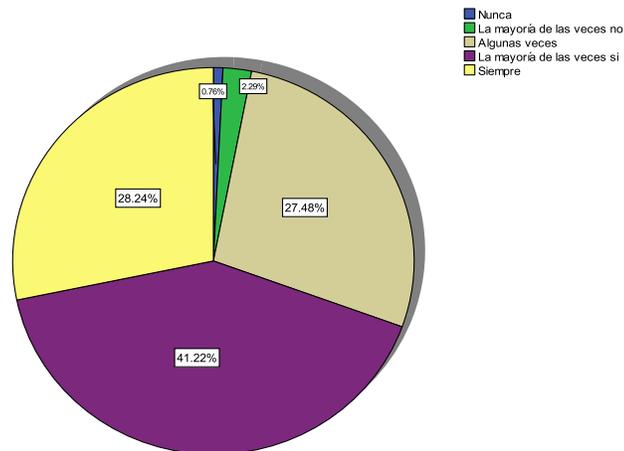


Nota: missing (datos perdidos), se refiere a que no fue contestada la pregunta o se seleccionaron más de dos escalas como respuesta Fuente: Elaboración propia

seleccionaron más de

En la figura 18.8 se observa que el 41.22% de los maestros, la mayoría de las veces en su clase proporcionan espacios de comunicación a sus alumnos para que ellos expresen su opinión sobre situaciones que les inquieten dentro del aula, la escuela y en la vida diaria. Solo el 28.24% de los maestros siempre les proporcionan espacios de comunicación a sus alumnos.

**Grafico18.8** Espacios de comunicación a sus alumnos dentro del aula



Fuente: Elaboración propia

### 18.3 Conclusiones

En función a los resultados obtenidos durante la investigación realizada a los 131 maestras y maestros de enseñanza básica secundaria de escuelas públicas de Monclova, Coauila, se encontraron las siguientes áreas de oportunidad, las cuales deben ser consideradas por los profesores, para lograr una mejor formación en valores en sus alumnos.

Un 14.50% de los profesores siempre elaboran proyectos donde los alumnos participan colaborativamente para aportar soluciones a algún problema específico de la sociedad. Es importante incrementar este punto debido a que algunas investigaciones muestran que los jóvenes que han participado en proyectos cuyo objetivo es realizar trabajo comunitario en poblaciones vulnerables, tienen un mayor nivel de desarrollo moral que aquellos que nunca han tenido la oportunidad de vivir este tipo de experiencias (Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación la Ciencia y la Cultura [OEI], 2010).

Un 16.03% de los maestros siempre realizan proyectos por medio del trabajo colegiado, para plantear estrategias que favorezcan a la convivencia armónica. Es muy importante favorecer la convivencia para que los estudiantes puedan vivir los valores. Un 17.56% de los profesores siempre integran a los padres de familia en el proyecto de trabajo para mejorar la formación en valores en los alumnos. Existen propuestas que mencionan la necesidad de incluir a las familias en el proceso formativo de sus hijos lo que permitiría brindar una formación más sistemática y congruente con los niños (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico[OCDE], 2002).

Un 28.24% de los maestros siempre permiten que existan espacios de comunicación en sus clases para que los alumnos puedan expresar su opinión sobre situaciones que los inquiete dentro del aula, la escuela y en su vida diaria. Parra (2003) menciona que es importante que exista una comunicación recíproca entre alumnos y profesores, que propicie un ambiente de seguridad y confianza donde las diferentes personas del grupo puedan expresarse de forma auténtica y sin ocultar nada, donde se practique un tipo de relación interpersonal basada en la estima y el respeto.

Cada persona debe construir su propio esquema de valores y la función de los profesores es colaborar con el proceso, desarrollando situaciones en la escuela para que los estudiantes los puedan experimentar y vivir.

#### 18.4 Agradecimientos

A todos los Directores de las escuelas secundarias que permitieron realizar esta investigación.

#### 18.5 Referencias

- Díaz, A. (2006). La educación en valores: Avatares del currículum formal, oculto y los temas transversales. *Revista electrónica de investigación educativa*, 8(1). Recuperado de <http://redie.uabc.mx/vol8no1/contenido-diazbarriga2.html>
- Esquivel, N. (2009). Reflexiones sobre el valor de la educación y educación en valores. *La lámpara de Diógenes*, 10(18-19), 169-190. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84412860010>
- Flores, R. y Zamora, J. (2009). La educación física y el deporte como medios para adquirir y desarrollar valores en el nivel primaria. *Educación*, 33(1), 133-143.
- Fragoso, E. (2006). ¿Son los valores objetivos o subjetivos? *Xihmai Revista de Investigación de la Universidad de Lasalle Pachuca*, 2. Recuperado de: [http://www.lasallep.edu.mx/XIHMAI2/XIHMAI2/PAKAGE%20INDISEING%20XIHMAI/PAQUETE/PageFolder.\\_/9VALORES.htm](http://www.lasallep.edu.mx/XIHMAI2/XIHMAI2/PAKAGE%20INDISEING%20XIHMAI/PAQUETE/PageFolder._/9VALORES.htm)
- Fragoso, E. (2007). Orientación profesional del docente a partir de la investigación acción. Caso: construcción de un proyecto de formación en valores. *Revista educación* 31(2), 111-125. Recuperado de: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/educacion-31-2/07-FRAGOSO.pdf>
- Fragoso, E. y Canales, E. (2009). Estrategias educativas para la formación de valores desde la educación informal de la familia. *Educere*, 13, (44), 177-185.
- Parra, O. (2003). La educación en valores y su práctica en el aula [versión electrónica]. *Tendencias pedagógicas*, 8, 69-88. Recuperado de: [http://www.tendenciaspedagogicas.com/Articulos/2003\\_08\\_04.pdf](http://www.tendenciaspedagogicas.com/Articulos/2003_08_04.pdf)
- Tedesco, J. (2003). *Educación en la sociedad del conocimiento*. Buenos Aires, Argentina: Fondo de cultura Económica de Argentina, S.A.
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la ciencia y la Cultura. (2010). *Educación, valores y ciudadanía*. Madrid España. 261p. Recuperado de:

<http://www.oei.es/metas2021/valoressm.pdf>

Rugarcía, A. (2005). “Los valores en la educación” pp. 76-98 en Hirsch Adler Ana (2005) Educación y Valores Tomo III México: GERNIKA

Valdés, H. (2000). *Encuentro iberoamericano sobre la Evaluación del Desempeño Docente*. Recuperado de: <http://www.oei.es/de/rifad01.htm>

## **Aplicación móvil “Yuum Báalam”**

Andrés Uh, Glendi del Rosario, María Puerto y Manuel Kantún

A. Uh, G. del Rosario, M. Puerto y M. Kantún  
Universidad Tecnológica del Poniente, Calle 29 S/N, Col. Las Tres Cruces, Maxcanú, Yucatán.  
iscrosario@hotmail.com  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. 21 Sur 1103 Barrio Santiago, C.P. 72410, Puebla, Puebla.

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## **Abstract**

The Universidad Tecnológica del Poniente, located in Maxcanú, Yucatán, account with a etnoturistic park called "YÚMM BÁALAM", which is located in the phase 1, the park does not have a means of advertising to promote it and thus to attract tourists to the local, national and international to learn about the different services, workshops and entertainment available in that place, for this reason it is proposed the development of a mobile application under the operating system Android, which contains the information and most relevant features of the park, such as the workshops offered, the location, key images, videos relating to the park, activities and services offered on the site. In addition to the incorporation of the augmented reality technology.

## **19 Introducción**

El presente documento contiene la información más relevante del desarrollo de la aplicación “YUUM BÁALAM”, así como las herramientas y el proceso utilizado para el desarrollo del presente proyecto. El parque etnoturístico se encuentra en proceso de crecimiento y con el paso del tiempo se irá acondicionando para poder alojar turistas que estén de visita en el estado, así mismo, a los habitantes de la región que deseen visitarlo.

Dicho proyecto ha surgido de la necesidad que tiene el parque de darse a conocer, ya que al ser un parque de reciente creación, y en fase I, todavía no es conocido por los habitantes de la localidad, los turistas locales y sobre todo los turistas internacionales, por lo cual esto hace que no exista un ingreso monetario en el parque, lo que es necesario para su mantenimiento y crecimiento, además que como entretenimiento cuenta con varios talleres que van a permitir al turista una diversión agradable con la naturaleza. El parque cuenta con varias actividades como lo es los talleres, el sendero, el huerto, y pronto con cabalgata, agroturismo y observación sideral. Entre los talleres que ofrecen se encuentra el artesanal, el gastronómico, el medicinal, el ambiental y el de aprendizaje de dialectos. La información de todas estas actividades, así como su ubicación y el mapa de lugar no son conocidos por la localidad, y no hay un medio que lo publique.

Por tal motivo se propuso el desarrollo de una aplicación móvil bajo el sistema operativo Android que contenga la información necesaria e importante mencionada del parque utilizando nuevas tecnologías en el mundo de las tecnologías de la información como lo es la realidad aumentada.

De tal manera se pretende que la aplicación sea de gran ayuda para los visitantes del sitio, ya que contiene información relevante, servicios, actividades y ubicación para que las personas puedan llegar con facilidad al parque, la aplicación estará en constante actualización para que dichos visitantes puedan tener información actual del lugar.

### **19.1 Materiales y métodos**

El desarrollo de la aplicación móvil “YUUM BALAM” bajo el sistema operativo android aporta al proyecto del parque etnoturístico grandes beneficios, ya que a través de este medio se hará público las actividades, ubicación, mapas e imágenes del sitio, y esto impulsará el crecimiento de los turistas locales, nacionales e incluso internacionales, lo que generará un derrame económico al parque e impulsará el desarrollo y crecimiento de sus siguientes fases, es importante destacar que el parque es parte de la Universidad Tecnológica del Poniente y es administrado por alumnos de turismo.

Al igual que a través de esta aplicación móvil se implementa nuevas tecnologías como lo es realidad aumentada, e impulsa el aprendizaje y conocimiento de nuevas tecnologías al área de TICS de la universidad.

Para el desarrollo del software se utilizaron las siguientes herramientas de software:

- Eclipse, es un IDE para “nada y de nada”, lo cual significa que puedes desarrollar software en cualquier lenguaje, fue desarrollado originalmente por la IBM en noviembre del 2001 y apoyada por proveedores. Ahora es controlada por una organización independiente denominada Fundación Eclipse (Burnette, 2005). Este IDE es utilizado para todo el desarrollo de la aplicación móvil, desde la creación de su diseño hasta la liberación del producto.
- JAVA es un lenguaje de programación que ha sido seleccionado por un gran número de programadores, la razón por la cual es popular es que es un lenguaje orientado a objetos, es una plataforma independiente, no usa punteros, soporta multi hilos, es muy seguro, y utiliza applet y servlets al mismo tiempo (Pravin, 2011). Es el lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del proyecto ya que para la creación de esta aplicación se utiliza el código nativo.
- ADT de Android. Software desarrollado por Google, el cual instala una serie de complementos en eclipse, de forma que el entorno de desarrollo se adapta al desarrollo de aplicaciones Android, creando nuevos botones, nuevos tipos de aplicación, vistas, etc., para integrar Eclipse con el SDK de Android (Gironés, 2012). Dicha librería ha sido utilizada para la creación de la aplicación de Android como lo es el diseño y la funcionalidad.
- SDK Vuforia. Es la plataforma de software que permite el desarrollo de realidad aumentada, con experiencias del mundo real en aplicaciones móviles (Qualcom, 2014). Este SDK fue utilizado para la realización de la realidad aumentada.

El desarrollo del proyecto se compone de las siguientes fases: recopilación de información, generación del contenido multimedia, desarrollo de software, pruebas de software, resultados e implementación del software.

### **Recopilación de la información**

Se inicia con un estudio de campo junto con el área de turismo de la Universidad Tecnológica del Poniente, entorno al contenido de un parque etnoturístico, cuántos existen en la república y a nivel internacional, que medios de comunicación y publicación utilizan para promocionarse, cuales son los colores característicos de los parques, entre otras cosas.

Una vez investigado esta información, el paso siguiente fue un análisis de requerimientos del parque “YUUM BĀALAM”, para poder recabar la información de cada uno de los servicios que se ofrecen tales como: los talleres, las actividades que se podrán realizar en dicho lugar, en donde se encuentra, como llegar, y el mapa, además de la selección de la paleta de colores que se utilizarían, y el logo que se manejaría.

### **Generación de contenido multimedia**

Esta fase consistió en la toma de fotografías de cada una de las actividades, zonas, recorridos y talleres que se ofrecen en el parque. Así mismo, a la generación de videos de las diferentes actividades y representaciones étnicas que se ofrecen.

En base a las fotografías tomadas se fue seleccionando y editando cada una de las fotografías y los videos que serían utilizadas en la aplicación móvil.

En esta fase también se trabaja con el diseño y desarrollo del logo de la aplicación, y cada uno de los iconos que se utilizarían.

Para la edición de dicho contenido se necesitó del programa de Photoshop, a través del cual se mejora la calidad y el peso de la imagen, así como la incorporación de texto y la unión de las imágenes de distintas fotografías. Para la edición y generación de los videos se utiliza Maya 2013 y el editor de video Movie Maker.

## **Desarrollo del software**

El desarrollo de software se va ha dividido en las siguientes sub fases: diseño y desarrollo de interfaces gráficas, desarrollo de realidad aumentada y desarrollo de la aplicación.

Diseño y desarrollo de las interfaces gráficas.

Esta fase consistió en diseñar la interfaz gráfica de la aplicación de acuerdo a los lineamientos de usabilidad del usuario y a las necesidades del parque “Yuum Báalam”.

Así como, la selección de los iconos, colores, tamaños y formas de cada una de las ventanas de la aplicación.

Se inició con un bosquejo en papel, para la sacar el número de ventanas necesarias para la aplicación, así como las secciones que va a contener, los tipos de menús y componentes que serían utilizados.

Una vez terminado y aprobado el bosquejo el siguiente paso fue hacer el prototipo con el diseño a color, para escoger los distintos colores que serían utilizados en el desarrollo, esto fue realizado a través de Photoshop y un editor en línea para dispositivos móviles.

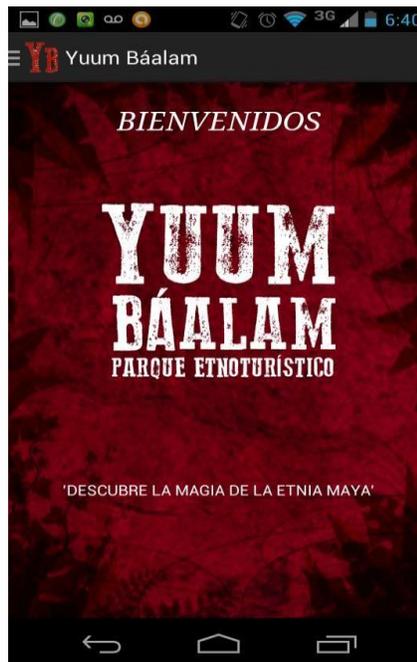
Al ser aprobado el diseño y prototipo de la aplicación lo siguiente a realizar fue el desarrollo de la aplicación en el IDE Eclipse con su SDK de Android.

En la Figura 19 podemos observar el diseño del logo de la aplicación móvil para iniciarla, este logo es el que aparece en las aplicaciones del celular. En la Figura se muestra la ventana principal de la aplicación.

**Figura 19** Logo para acceder a la aplicación móvil Yuum Báalam



**Figura 19.1** Ventana Principal de la aplicación



### **Desarrollo de realidad Aumentada**

Esta fase consistió en la implementación de la nueva tecnología de realidad aumentada para la aplicación móvil, “Yuum Báalam”, para ello se inició con la selección de la sección que contendría esta tecnología para que resaltara y llamara la atención del usuario de la aplicación y sobretodo del visitante del parque y el proceso lógico que se utilizaría para su funcionamiento e interacción con el usuario.

El siguiente paso a realizar es la selección del complemento que se enfocaría para el lanzamiento de la realidad aumentada, la cual se decidió que fuera el logo del parque.

A continuación el proceso a seguir fue la selección y generación del video que saldría al enfocar la cámara, esta fue realizada a través de maya 2013 y movie maker.

Una vez seleccionada cada uno de los componentes anteriores el siguiente paso fue la generación de la ventana y el funcionamiento de esta tecnología, todo esto fue realizado bajo el IDE Eclipse con los SDK de Android y de Vuforia.

### **Desarrollo de la aplicación móvil**

El desarrollo de la aplicación móvil consistió en la creación de cada una de las ventanas o layouts que serían utilizadas en la aplicación a través del IDE de Eclipse con el SDK de Android; así como, el funcionamiento de ellas. El funcionamiento de las algunas ventanas de las secciones de actividades, talleres y contacto solo requirió el uso del IDE antes mencionado.

Para el caso de la ventana de Ubicación y el Mapa se requirió la librería extra de Google Maps para que se generara el mapa con la localización del parque.

Para el caso de la ventana de introducción la cual es la que contiene la tecnología de realidad aumentada se requirió de librerías extras como lo es de Vuforia, de videos y el reconocimiento de la imagen la cual activaría la realidad.

## 19.2 Resultados

El resultado de dicho proyecto fue la generación de la aplicación móvil “Yuum Báalam”, la cual contiene diferentes módulos o secciones los cuales se muestran en la Figura 19.2.

**Figura 19.2** Menú principal de la aplicación móvil “Yuum Báalam”



**Las secciones principales de la aplicación se mencionan a continuación:**

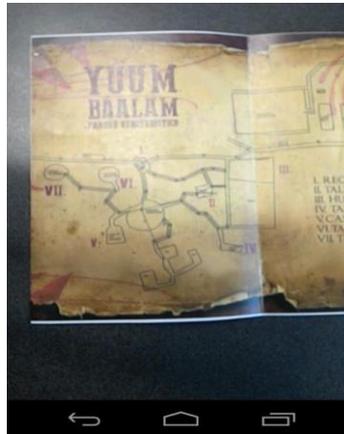
### Introducción

Esta sección contiene la interacción de la aplicación con realidad aumentada, la cual consiste en enfocar el logotipo del parque independiente del lugar y del tipo de material en el que se encuentre siempre y cuando el logo conserve su estructura definida y clara, es decir puede enfocarse al logo de la entrada del parque, de una hoja de papel impresa, de las camisas del parque y demás. Al detectar el logo del parque dicha aplicación genera la reproducción del video de introducción del parque, al dejar de enfocar el video se detiene y al enfocarlo de nuevo el video continua donde se había quedado. En las Figuras 19.3, 19.4, 19.5 y 19.6 se pueden apreciar el funcionamiento de la tecnología de realidad aumentada implementada en la aplicación móvil.

**Figura 19.3** Ventana de Introducción



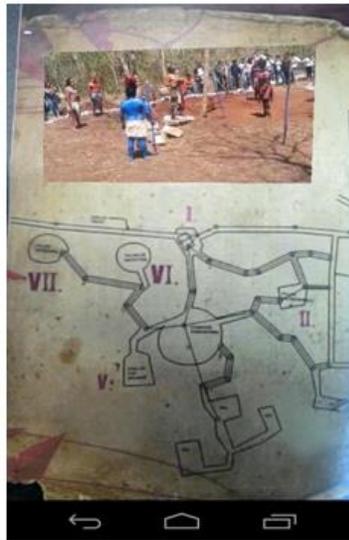
**Figura 19.4** Cámara afocando al folleto del que contiene la realidad aumentada



**Figura 19.5** Cámara de realidad aumentada



**Figura 19.6** Cámara de realidad aumentada generando el video para reproducir el video en el folleto



## Actividades

Esta sección contiene una lista de las diferentes actividades que se realizan en el parque etnoturístico. Tales como lo son: Talleres, Sendero, Cabalgata, Agroturismo, Observación Sideral. Así como la información más relevante de cada una de ellas. En la Figura 8 y 9 podemos observar las ventanas de estas actividades.

**Figura 19.7** Ventana de Actividades



**Figura 19.8** Ventana del Taller Artesanal

## Galería

Esta sección contiene una serie de imágenes más relevantes que ha tenido el parque hasta el momento. En la Figura 19.9 podemos observar la galería de imágenes.

**Figura 19.9** Ventana de galería de imágenes

## Ubicación y mapa

Este apartado a través del API de Google contiene un mapa en el cual aparecerá un marcador que indicara la ubicación exacta en la que se encuentra el parque etnoturístico. En la Figura 19.10 se puede apreciar esta sección.

**Figura 19.10** Vista de ubicación de parque Yumm Báalam



### **Beneficios académicos.**

En esta sección se dará a conocer los beneficios que se obtienen mediante la creación del parque etnoturístico, ver la Figura 19.11.

**Figura 19.11** Ventana de Beneficios académicos



### **Contacto.**

Esta sección contiene información sobre el parque y de igual manera cuenta con un apartado para poder enviar un E-mail al responsable del parque y así poder estar en constante comunicación, esto se puede ver en la Figura 19.12 y 19.13.

**Figura 19.12** Ventana de Envío de Mensajes**Figura 19.13** Ventana de Contactos

### 19.3 Discusiones

Para corroborar la calidad de la aplicación móvil según Mamdouh (2013), es necesario probar las aplicaciones móviles teniendo en cuenta, precisamente, su propio contexto de movilidad y considerando el cumplimiento de las características de funcionalidad, usabilidad, seguridad y rendimiento de las mismas.

Para la aplicación desarrollada las pruebas que se realizaron en cuanto a las mencionadas fue la de probarlo desde los distintos emuladores, y desde las distintas marcas y versiones de celulares y tabletas bajo el sistema operativo Android.

Al ser realizada las pruebas en los distintos dispositivos esta arrojaban algunos problemas en las Tablet, ya que al ser de distinto tamaño se veía que se desperdicia espacio, por lo cual se prosiguió a corregirlo.

Con celulares de tamaño muy reducido ocurría lo contrario, por lo cual se tuvo que corregir con fragmentos.

La aplicación de realidad aumentada se puede realizar de dos formas por la nube y de manera local en el celular, la manera más óptima es por la nube, pero por cuestiones de infraestructura con la cual se cuenta en la universidad, la tecnología utilizada fue la local, la cual genera un peso extra a la aplicación, sin embargo no elevo en exceso el peso de la aplicación y para las necesidades que se requieren fue el adecuado.

#### **19.4 Conclusiones**

Los turistas serán los beneficiados a causa de esta aplicación móvil ya que de este modo podrán tener un conocimiento previo del parque y así mismo podrán conocer la ubicación exacta y poder llegar con más facilidad al sitio.

De la misma manera la universidad tecnológica del poniente será beneficiada a través de este proyecto, ya que al recibir la visita de los turistas les generará ingresos. También a la población tendrá beneficio ya que llegaran diversos turistas de visita al parque y de este modo los comercios que se encuentren en población podrán generar ingresos propios.

El desarrollo de una aplicación móvil que sirve de apoyo al parque Yuum Báalam para promocionar y publicitar los diversos servicios, actividades y talleres que este ofrece, lo cual eleva las visitas de los turistas en general, y de este modo generar el ingreso para el beneficio mismo del parque y para la universidad tecnológica del poniente.

#### **19.5 Recomendaciones**

Las recomendaciones que se realizan para este proyecto, es el desarrollo de la aplicación para distintos sistemas operativos móviles como IOS o Windows Mobile, ya que el proyecto se encuentre desarrollado solo en el sistema operativo Android, a pesar que es un sistema operativo más utilizado, limita el mercado.

#### **19.6 Referencias**

Burnette, E. (2005). *Eclipse IDE Pocket Guide*. CA:O'Reilly Media, Inc.

Pravin, J. (2011). *The Class of Java*. India: Pearson Education. Gironés, J. T. (2012). *El gran libro de Android*. España: Marcombo.

Qualcomm Technologies, Inc. (2014). *Augmented Reality (Vuforia)*. Recuperado 23 de febrero del 2014 de <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/add-advanced-features/augmented-reality-vuforia>.

Mamdouh, E. (2013). Pruebas de calidad en Aplicaciones Móviles. Recuperado el 25 de Abril del 2014 en <http://www.mtp.es/noticias/265-pruebas-calidad-aplicaciones-moviles>.

## **Aplicación WEB para la geolocalización de tiraderos de basura no oficiales**

Santiago Gómez, René Cabrera, María Bautista, Mirna Ponce y José Vargas

S. Gómez, R. Cabrera, M. Bautista, M. Ponce y J. Vargas  
Universidad Politécnica de Altamira, 89400  
santiago.gomez@upalt.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

This paper presents Web based software that helps to identify non-official trash landfills. The process consists in two phases: the first is the use of a customized data collector application, to be used on the field; and the second is the development of Web based software that integrates the geographical reference of non-official trash landfills. The area of study includes Tampico, Madero and Altamira townships that are located on the southern Tamaulipas, México. The aim of this project is, to make an application that can be advertised by means of social networks. This allows the citizens to contribute with the localization of non-official trash landfills by reporting them to legal authorities.

## 20 Introducción

En la actualidad con el uso de las redes sociales, se ha acrecentado la comunicación entre las personas, todo ello haciendo uso de las aplicaciones y tecnologías web. Una de las aplicaciones web más populares es el Google Maps, el cual es un ejemplo de SIG (Sistemas de Información Geográfica) que desde el punto vista ambiental ha impulsado la generación de información visual que permite una mejor comprensión de problemáticas ambientales comunes tales como los vertederos o tiraderos de basura no oficiales que se pueden observar en diversos lugares de diferentes países.

Lo cual al no ser reportados se vuelven focos de contaminación al suelo, agua y aire, afectando la salud de la población y daños al ambiente, como generación de fauna nociva, presencia de lixiviados, deterioro del paisaje, malos olores, incendios, envenenamiento y afectaciones a la salud, entre otros. Además de provocar conflictos sociales y políticos debido al manejo que les proporciona las instancias correspondientes. Dichos residuos frecuentemente son colocados de manera clandestina provocando quemas a cielo abierto, disposición en tiraderos o vertederos de basura ineficientes y no oficiales (Barradas, 2009; Schwanse, 2014).

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), define por residuo: “Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”. Es decir, que si ya no se puede usar es un residuo (DOF, 1988).

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define a residuo como: “Aquellos materiales cuyo poseedor desecha y se encuentra en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso contenido o no en recipientes y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final”. En LGPGIR, los residuos están clasificados en: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME). En su Artículo 5, fracción XXXIII, la LGPGIR, los define como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley como residuos de otra índole (DOF, 2003).

En su Artículo 18, de la LGPGIR, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los sub-clasifica en orgánicos e inorgánicos, con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables. Según esta clasificación, se podrían definir de la siguiente manera:

- El Residuo Orgánico, serían todos los desechos de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, entre otros.
- Un Residuo Inorgánico: todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc.

Otro término sería Mezcla de Residuos, que se refiere a todos los desechos de residuos mezclados que es el resultado de una combinación de materiales orgánicos e inorgánicos. En la mayoría de los países se producen residuos mezclados, a partir de restos de comida y envases y cajas diversas. Un problema es el de los residuos compuestos de materiales orgánicos que no pueden descomponerse por completo, material inorgánico relacionado con el nitrógeno, y por tanto también forma gases tóxicos. Por ello es importante deshacerse de los residuos generados en el día a día. Debido a los peligros de los residuos mezclados, algunas personas separan los residuos orgánicos de los inorgánicos, y los orgánicos los usan para crear composta (Israde-Alcántara et al., 2009; Torres et al., 2011).

En la página Web de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se localiza el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), el cual es un conjunto de bases de datos estadísticos, cartográficos y documentales que recopilan, organizan y difunden la información acerca del ambiente y los recursos naturales del país (SEMARNAT, 2014). Integra información relativa a los inventarios de recursos naturales, al monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo, al ordenamiento ecológico del territorio y a los registros, programas y acciones encaminados a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, identificando las siguientes herramientas web:

- La Base de Datos Estadísticos del SNIARN (BADESNIARN), que contiene información estadística sobre temas relacionados con el ambiente, resultado de la colaboración con las distintas áreas de la Secretaría, de sus órganos desconcentrados y descentralizados; así como con otros organismos y dependencias que producen información estadística.
- El Espacio Digital Geográfico (ESDIG), muestra en mapas información de las características ambientales y sociales del país en temas como vegetación, uso del suelo, cuerpos de agua, suelos, clima, población, entre otros; así como resultados de programas ambientales y sociales dedicados al aprovechamiento, conservación y recuperación de los ecosistemas naturales de México. Cuyos mapas desplegados son extraídos de la base de datos geográfica del SNIARN (SEMARNAT, 2014a).

Adicionalmente se localiza el Sistema de Información Nacional para la Gestión Integral de los Residuos (SINGIR) que muestra la información oficial de: centros de acopio, sitios de disposición final, la gestión de los Residuos, desde las disposiciones jurídicas, técnicas y financieras aplicables a su regulación, control y manejo, hasta la información estadística y geográfica disponible.

## 20.1 Método

El proceso metodológico (Fig. 1) se describe a continuación:

- Zona de estudio. Se describe la zona de estudio y su ubicación.
- Trabajo de campo. Se diseña una herramienta de recolección de datos, para su ejecución se integró un grupo de trabajo el cual se capacito para su aplicación.
- Herramienta Web. Se realizó el maquetado según las necesidades, seleccionándose la aplicación Web tipo SIG, integrando todo por medio de lenguaje PHP y MySQL para la creación de la herramienta de geolocalización de tiraderos de basura no oficiales.

**Figura 20** Etapas de desarrollo



## 20.2 Resultados

### La Zona de Estudio

El área de estudio se conformó por los municipios de Tampico, Madero y Altamira ubicados al sur del estado de Tamaulipas. Geográficamente, por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Consultando la Nueva versión del Mapa Digital de México V5.0 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Marco Geo-estadístico Municipal. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III. Se pudo determinar los siguientes datos :

- Ubicación a nivel Municipio
- Limites (Marco Geo-estadístico)
- Localidades

La Zona Metropolitana de Tampico es la continuidad de la ciudad de Tampico a los municipios contiguos, está localizada en los estados mexicanos de Tamaulipas y Veracruz, es junto a la Ciudad de México, la Comarca Lagunera, Puebla, La Piedad y Puerto Vallarta unas de las Zonas Metropolitanas bi-estatales de México.

Se extiende a lo largo del río Pánuco en la vertiente del Golfo de México. La zona de estudio que se tomara para la realización del presente trabajo será la zona Metropolitana Tampico, correspondiente al Estado de Tamaulipas, que lo conforman los Municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira.

**Figura 20.1** Zona Metropolitana Tampico – Madero – Altamira, (INEGI)



### Recolección de datos en campo

Para el desarrollo del instrumento de campo se determinó la información que se requería para el desarrollo de la herramienta WEB, dando como factores críticos:

- Localizar el lugar
- Tomar una foto
- Obtener las coordenadas geográficas con GPS, o el GPS del lugar.
- Ubicación por dirección, identificándolo en un micro plano.

El grupo de voluntarios para la recolección de datos fueron 20 alumnos del programa académico de Ingeniería en Tecnologías de la Información de la Universidad Politécnica de Altamira, los cuales se les capacitó para la identificación de tiraderos de basura no oficiales, dándoles una plática de los tipos de residuos que pueden presentarse en estos sitios no oficiales.

Para ello, en base a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), se les dio una capacitación proporcionándoles información de los tipos de residuos, los cuales son:

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Proviene de la eliminación de los materiales que se utilizan en casa y de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de establecimientos o en las calles, con características domiciliarias. Por ejemplo: residuos orgánicos, madera, papel, vidrio, latas, botes de tetrapac, unicef, plásticos, pañales, toallas sanitarias, metales y textiles.

**Residuos de Manejo Especial (RME):** Son los que se generan en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Por ejemplo: residuos de construcción (arena, graba, escombros, entre otros), residuos de servicios de salud (gante, vendas, medicamentos, entre otros), residuos de actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas insumos usados por estas actividades, residuos de transporte (generados por consecuencia de las actividades realizadas en puertos, aeropuertos, terminales portuarias, ferroviarias, entre otros).

Residuos de lodos por tratamiento de plantas potabilizadoras de agua, residuos departamentales o centros comerciales en grandes volúmenes, residuos tecnológicos de las industrias de la informática, electrónicos, telecomunicación o vehículos automotores.

**Residuos Peligrosos (RP):** Los Residuos Peligrosos son aquellos que sustancial o potencialmente, ponen en peligro la salud humana o el medio ambiente cuando son manejados en forma inadecuada y poseen alguna de las características CRETIB\* (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad o Agentes Biológico-Infeciosos), que les confieran peligrosidad, así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados por ellos. Por ejemplo: ácidos, cloros, aromáticos, sangre, muestras de laboratorio, jeringas, tejidos, plomo, plaguicidas, entre otros.

Otro aspecto que se tomó en consideración fue la identificación visual del tipo de residuo. Para ello se elaboró una cedula de identificación del tipo de residuo en tiraderos de basura no oficiales (Tabla 1). En la cual por medio de una codificación se identifica el tipo de residuo, el riesgo de acceso y el volumen aproximado de basura que se encuentra en el sitio.

**Tabla 20** Cedula de identificación del tipo de residuo en tiraderos de basura no oficiales.

Residuo Solidos Urbano (RSU)	Codificación (V Y R)	Observaciones del sitio (p.e. pasa el camión de la basura pero no ha venido, es un solar baldío, etc.)
Residuos orgánicos		
Residuos de vidrio		
Residuos de plásticos		
Residuos de metales (latas)		
Residuos de papel		
Residuos de higiene personal		
Residuos de Manejo Especial (RME)	Codificación (V Y R)	Observaciones del sitio (p.e. pasa el camión de la basura pero no ha venido, es un solar baldío, etc)
Residuos de construcción (arena, graba, escombros, entre otros)		

residuos de servicios de salud (gante, vendas, medicamentos, entre otros)		
Residuos de actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas insumos usados por estas actividades		
Residuos de transporte (generados por consecuencia de las actividades realizadas en puertos, aeropuertos, terminales portuarias, ferroviarias, entre otros)		
Residuos de lodos por tratamiento de plantas potabilizadoras de agua		
Residuos departamentales o centros comerciales en grandes volúmenes		
Residuos tecnológicos y de telecomunicación	Codificación (V Y R)	Observaciones del sitio (p.e. pasa el camión de la basura pero no ha venido, es un solar baldío, etc)
Partes o completa de computadoras		
Consumibles de computadora como DVD, cd, USB, tóner, cables, CPUS, monitores, teclados, mouse, entre otros		
de comunicación celulares, micrófonos, grabadoras, radios, televisiones, entre otros		
Cables de conexión como extensiones o remanentes de un arreglo de cableado		
Pilas		
Focos tradicionales y ahorradores		
Refrigeradores, estufas, licuadoras, todos aquellos electrodomésticos		
Automóviles en chatarra		
Partes de automóviles		
Baterías, asientos, metales, entre		

Residuos Peligrosos (RP)	Codificación (V Y R)	Observaciones del sitio (p.e. pasa el camión de la basura pero no ha venido, es un solar baldío, etc)
otros		
Botes que indiquen que son recipientes que contenían ácidos, cloros, pinol, plomo, plaguicidas, entre otros.		
Residuos de sangre, muestras de laboratorio, jeringas, tejidos, envases de laboratorios como matraces, pipetas, frascos reactivos, entre otros.		

**Fuente** si Ud. Considera que es inseguro o es peligroso el adquirir esta evidencia no lo haga solo apunte la localización del lugar, ante todo está la seguridad e integridad de sus participantes e integrantes.

Se diseñó una codificación para la descripción visual del tiradero de basura no oficial, que se podría validar por medio de la evidencia fotográfica (Tabla 20.1). Para la determinación de la viabilidad de acceso al lugar, la cantidad y el tipo de basura que se encuentra en los tiraderos.

**Tabla 20.1** Codificación y descripción visual

Viabilidad (V):	Recolección (R):	Descripción del tipo de residuos.
V0 – fácil,	R1: de 1 a 3 kg en bolsas, dos personas	Según la clasificación de la
V1 – viable,	R2: de 4 a 10 kg en carretilla, con 5 personas	LGPGIR.
V2- más o menos viable, V3- con dificultades,	R3: más de 10 kg, solicitar a un camión recolector	
problemas al acceso, V4-		
sin acceso V5-		

De la recolección de campo se obtuvo una identificación de 120 tiraderos de basura no oficiales, las cuales se tuvieron que validar para descartar duplicidad de sitios. Los datos ya validados que se obtuvieron fueron de 80 tiraderos de basura no oficiales. En la Tabla 3 se presenta la distribución de estos tiraderos de basura no oficiales en la Zona de Estudio.

**Tabla 20.2** Distribución de tiraderos de basura no oficiales en Zona de Estudio.

Municipio	Número de tiraderos Localizables
Altamira	52
Cd. Madero	13
Tampico	15
Total general	80

Como evidencia visual se les pidió recolectar fotografías de los tiraderos de basura que reportaron. En la Fig. 20.2, se pueden observar algunas de las 80 fotografías validadas que se recolectaron.

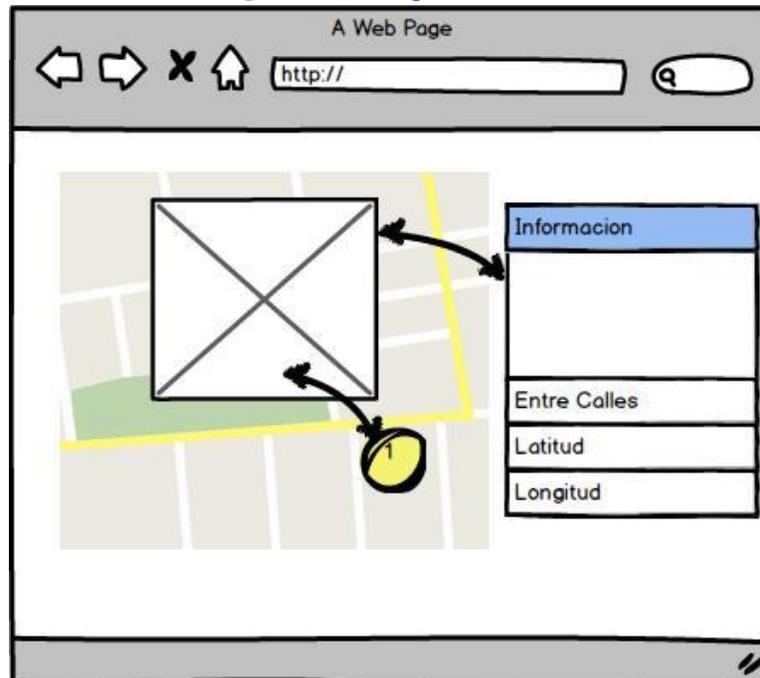
**Figura 20.2** Tiraderos de basura no oficiales reportados.



### Maquetado según necesidades

Se utilizó el trial del software Balsamiq (Fig. 20.3), con el cual se logra realizar un maquetado web, donde nos guie visualmente hacia el logro de nuestro objetivo.

**Figura 20.3** Maquetado Web.

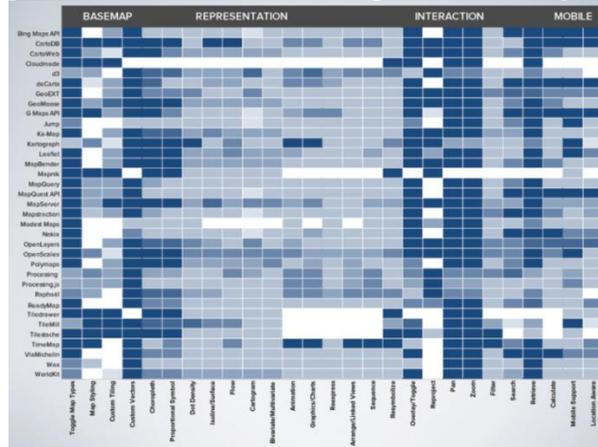


### Selección de Aplicación Web de tipo SIG.

Requiriendo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se optó por utilizar el Google Maps, el cual es considerado el más popular entre los programadores de aplicaciones web, aunado a que tanto la curvatura de aprendizaje como su potencial de mejoras son muy altas.

Esto en concordia con los resultados del estudio “KEEPING PACE with EMERGING Web Mapping Technologies” (Fig. 20.4) realizado por el Departamento de Geografía de la Universidad de Wisconsin-Madison y presentado en la Conferencia anual de sociedad cartográfica norteamericana celebrada en Portland entre los días 17 y 19 de octubre 2012 (Donohue y Wallace, 2012).

**Figura 20.4** Análisis de Tecnologías Web de Mapeado.



### Integración con PHP y MySQL

Se integra en la base de datos (de MySQL) la información de los 80 sitios localizables, los cuales al leerlos (desde PHP), se concatena una estructura tipo JSON con la que se alimenta al Google Maps (aplicación Web tipo SIG), permitiendo la geolocalización de los tiraderos de basura no oficiales (Fig. 20.5).

**Figura 20.5** Herramienta Web.

### 20.3 Discusión

De los resultados obtenidos, se puede observar que la herramienta de campo aplicada pudo generar 180 sitios de los cuales se aceptaron 80, obteniéndose así la participación de alumnos y su involucramiento a esta problemática ambiental.

Lo anterior sirvió de base para la generación de la herramienta web en la cual se tuvo que hacer una revisión de las diferentes aplicaciones de tecnologías de mapeo Web por la cual se seleccionó el API de Google Maps, siendo una de las más populares en ambientes de desarrollo PHP/MySQL.

Dando como resultado la herramienta Web donde se resumen los datos del tiradero de basura no oficial y la imagen del lugar. Esta herramienta va a permitir, tener una base de datos y un mecanismo visual para la geolocalización de tiraderos de basura no oficiales.

### 20.4 Conclusiones

Este estudio alcanzo el desarrollo de la herramienta web para la geolocalización de tiraderos de basura no oficiales. Sin embargo, se presentaron algunas limitaciones en la realización debido a que se tuvo que validar la información recabada en campo, así como el número de dígitos de las coordenadas reportadas ya que en algunos casos no cumplían con el formato solicitado.

Los resultados obtenidos sientan las bases de mejora de la herramienta web, como del uso estadístico / georeferencial. Es destacable el realizar herramientas web que permitan enfrentar un problema común en diversos lugares del mundo, donde cada ciudadano desde la comodidad de sus casas o desde el transito diario en sus comunidades puedan contribuir positivamente convirtiéndose en parte de la solución.

Se desea seguir avanzando en esta herramienta anexándole una aplicación móvil a través de celulares Android, por medio del cual los ciudadanos tengan la facilidad de contribuir en la actualización constante de esta herramienta Web de geolocalización. Y de esta manera proporcionar la información obtenida a las autoridades correspondientes para su seguimiento.

### 20.5 Referencias

Barradas R., A. (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales. Estado del Arte*. Minatitlán Veracruz, México.

DOF (1988). Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*. Publicada el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada, México D.F. 07 de junio del 2013.

DOF (2003). Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma publicada. México D.F. 07 de junio del 2013.

Donohue, R. y Wallace, T. (2012). "KEEPING PACE with EMERGING Web Mapping Technologies", Obtenido de: <http://geography.wisc.edu/cartography/slides/emerging-web-mapping-donohue-et-al-nacis2012.pdf> (Recuperado en mayo de 2014)

Israde-Alcántara, I.; Buenrostro-Delgado, O.; Garduño-Monroy, V. H.; Hernández-Madrugal, V.M. y López G., E. (2009). Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, norte del estado de Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61(1), 203-211.

Schwanse, E. (2014). La basura: un reto y una oportunidad para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Interdisciplina*. 2(2), 219–231.

SEMARNAT (2014). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales – SNIARN. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales> (Recuperado en mayo de 2014)

SEMARNAT (2014a). ESDIG, Espacio Digital Geográfico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/espacio-digital-geografico-esdig?De=SNIARN> (Recuperado en junio de 2014)

SEMARNAT (2014b). Sistema de Información sobre Residuos Sólidos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de: <http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/residuos/index.html> (Recuperado en junio de 2014)

Torres C., S.; Barrientos B., B.; Hernández B., M.; Gómez B., G. y Macedo M., M. (2011). Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, Estado de México. Memorias. IV Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos (México D.F., México, 5 - 7 de octubre de 2011). Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima, 253-257.

## **Arquitectura de aplicaciones para una mediana empresa de manufactura utilizando software de libre acceso**

Alicia Valdez, Sergio Castañeda, Samuel Hernández, Laura Vazquez, Orlando Arzola

A. Valdez, S. Castañeda, S. Hernández, L. Vazquez, O. Arzola  
Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Barranquilla Sin Número Colonia  
Guadalupe  
aliciavaldez@uadec.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago,  
Guanajuato, 2014.

## Abstract

Small and Medium Enterprises requires new technologies and methods of work organization that allow them to improve their productive and competitive capacities.

The Enterprise Architecture is a methodology that define architectures for the use of the information in support the business strategy, looking for strategic alignment between information technology and business processes. A partial architectures that compose it, is the Application Architecture, which aims to define the best kinds of applications needed for data management and business processes, considering the strategic use of information and technology for the competitive advantage of the company. This research project was designed and implemented an application architecture in a medium-sized manufacturing company using open free software, resulting in the identification of strategic areas of opportunity for this architecture, and the development of a basic web page to start e-commerce activities, achieving 10% increase in sales of the company, thus helping to increase productivity and competitiveness.

## 21 Introducción

La productividad y la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) en México y el mundo es de amplia importancia debido a que proporcionan una tasa alta de empleo entre la población, la Secretaría de Economía de México estima que 7 de cada 10 empleos son proporcionados por las PyMEs y estas empresas representan el 99.8% de las unidades económicas del país (Secretaría de Economía, 2013), por lo cual es importante el análisis y la implementación de nuevas metodologías que les puedan proporcionar incrementos en su capacidad productiva y les ayude a ser más competitivas.

Diversos estudios señalan que las deficiencias que tienen este tipo de empresas son: El acceso al financiamiento, débil capacidad gerencial y laboral, mala información acerca de oportunidades de mercado, nuevas tecnologías y métodos de organización del trabajo y desconocimiento de acceso a fondos de innovación (López-Acevedo & Tan, 2010), por lo cual es imprescindible crear soluciones estratégicas que les permitan a las PyMEs responder a los actuales retos que los mercados globales demandan.

La Arquitectura Empresarial (AE) es una metodología que proporciona a las empresas un marco de trabajo para el uso eficiente de la información en los procesos de negocios (Spewak, 2000), se propone como herramienta estratégica de alineación entre la estrategia del negocio y las tecnologías de información (TI) (Poutanen, 2012).

Permite a las empresas lograr un balance lógico entre eficiencia tecnológica e innovación, buscando las ventajas competitivas. Las arquitecturas empresariales están formadas por marcos metodológicos, marcos de trabajo arquitectónicos, tecnologías y estándares (Orantes, Gutiérrez & López, 2009). Harrel y Sage mencionan que la clave para desarrollar la arquitectura empresarial se encuentra en:

- Los procesos del negocio
- Datos para los procesos
- Tecnologías
- Interfaces con los clientes
- Aplicaciones de software

Donde cada factor cuenta con su propia arquitectura a desarrollar y sus propias herramientas que lo soportan (Harrel & Sage, 2010).

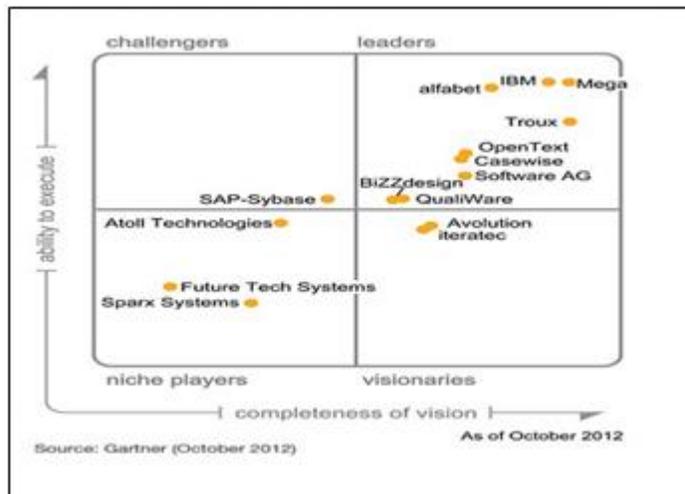
La arquitectura de aplicaciones es una arquitectura parcial de la arquitectura empresarial que tiene como propósito definir las mejores clases de aplicaciones necesarias para manejar los datos y apoyar los procesos del negocio, también conocida como modelo conceptual de aplicaciones (Spewak, 2000).

En la arquitectura de aplicaciones se identifica cada posible aplicación necesaria para manejar los datos y apoyar el negocio, considerando el uso estratégico de la información y tecnología para la ventaja competitiva del negocio. Como se ha incrementado el número de funciones y procesos al interior de las empresas, también se ha incrementado el número de sistemas de información basados en computadoras, los cuales están mejorando la eficiencia y calidad de las áreas que apoyan.

### Software de diseño para arquitectura empresarial

Un análisis de herramientas para arquitectura empresarial permite conocer los siguientes resultados: Gartner Inc., una de las firmas líderes en investigación y análisis de arquitecturas empresariales, elabora una gráfica llamada “Cuadrante Mágico para Herramientas de Arquitectura Empresarial” (Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools) (Gartner, 2012), donde el cuadrante de líderes representa aquellas firmas más desarrolladas en el área de arquitectura empresarial, la grafica se muestra en la Figura

**Figura 21** Cuadrante para herramientas de Arquitectura Empresarial, Gartner Inc.



Herramientas del cuadrante de líderes: IBM, Mega, Alfabet, Troux, Open Text, entre otras herramientas de alto valor comercial en el mercado.

Características: Intercambio de información, soporte para tendencias a nuevas TIC's como cómputo en la nube, móviles, redes sociales y Big Data, gestión de hardware, planificación y modelado de escenarios, compatibilidad con los principales marcos metodológicos de AE, entre otras características.

Destacando también el alto costo económico para implementar estas soluciones en medianas empresas, por otro lado SPARX Systems cuenta con una herramienta de modelado llamada “Enterprise Architect”, que puede ser de apoyo para la elaboración de las arquitecturas conceptuales y es ampliamente utilizada por la comunidad académica.

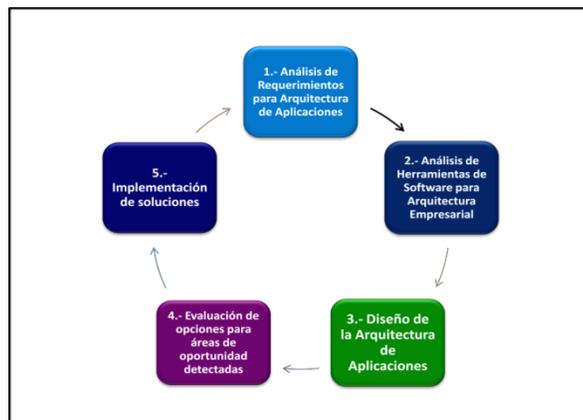
Entre las herramientas de libre acceso creadas por universidades de prestigio para fines académicos se puede mencionar “Essential Architecture Manager” creada en el lenguaje Java por la Universidad de Stanford en los Estados Unidos, la cual es un conjunto de herramientas para construir modelos de dominio y aplicaciones basadas en el conocimiento con ontologías, una ontología es una descripción de los conceptos y relaciones que son importantes en un dominio, en este caso en particular la ontología describe los componentes de la arquitectura empresarial; soporta la creación, visualización y manipulación de las 4 arquitecturas parciales como negocios, aplicaciones, información y tecnología (StanfordUniversity, 2013).

## 21.1 Metodología

La metodología que se aplicó en esta investigación se centra en 5 actividades principales entre las que se encuentran:

- Análisis de requerimientos para construir la arquitectura de aplicaciones
- Análisis de herramientas de software para crear la arquitectura empresarial integral
- Diseño de la arquitectura de aplicaciones para las empresas medianas del sector de manufactura
- Evaluación de opciones para las áreas de oportunidad detectadas como resultado del análisis de la arquitectura de aplicaciones
- Finalmente la planeación e implementación de las soluciones.

**Figura 21.1** Representación de la metodología para el proyecto de investigación



Una de las actividades previas a la construcción de la arquitectura de aplicaciones, es el análisis del modelo de negocios, así como la planeación estratégica del negocio donde se analiza, entre otros aspectos, la misión, visión, geografía, ventajas competitivas, clientes, proveedores, productos, servicios de la empresa y otros importantes factores que se relacionan con la definición del negocio.

La arquitectura de aplicaciones representa el modelo conceptual de aplicaciones del negocio, integrada por las aplicaciones para apoyar los procesos del negocio, los fundamentos de la construcción de la arquitectura de aplicaciones se muestran en la Tabla 2.1

**Tabla 20** Representación de los fundamentos de la Arquitectura de Aplicaciones

Arquitectura de Aplicaciones	Nombre	Descripción
Objetivo	Definir las mejores clases de aplicaciones para manejar los datos y apoyo en los procesos del negocio	Definir las mejores aplicaciones que apoyarán los procesos del negocio
Principio	Personalización de aplicaciones empaquetadas mínimas	Reducir al mínimo la personalización de aplicaciones mejorará la capacidad de mantenimiento en curso y garantizara el máximo valor que se obtiene de la adopción de una
Capacidades	Análisis, diseño, programación e implantación de sistemas de información.	Dominio en el análisis, diseño, programación e implantación de sistemas de información.
	Búsqueda de soluciones empaquetadas adecuadas a las necesidades de las PYMes	Dominio en buscar soluciones empaquetadas adecuadas a las necesidades de las PyMes.
		Dominio en proporcionar soporte técnico en

Entre las herramientas de libre acceso para construcción de arquitecturas empresariales se encuentra: Essential Architecture Manager, un software desarrollado completamente en lenguaje Java, para funcionar como un repositorio de datos de las instancias de cada una de las arquitecturas parciales que se van generando entre ellas la arquitectura de aplicaciones (StanfordUniversity, 2013), los valores de las instancias se muestran en la Figura 2.3

**Figura 21.2** Instancias de la arquitectura de aplicaciones

Application Service	Description
Gestion de Embarques	Control de los envíos del Producto terminado a los clientes
Gestion de Proyectos	Administración de los proyectos para informática en alineación con la estrategia de la empresa
Gestion de Proyectos, Graficas Gantt	Software para la Gestion de Proyectos
Gestion de las Compras de la Empresa	Gestion de las Compras de la Empresa
Gestion de los Proveedores	Gestion de los Proveedores
Gestion del Personal	Gestion del Personal
ProgramaEmpresarialCapacitacion PEC	Sistema que gestiona lo concerniente al PEC
Servicio para el Control de la Produccion	Servicio para el Control de la Produccion
Sistema de Contabilidad	Sistema de Información (SI) que registra de manera contable las actividades de la empresa

Una de las actividades primordiales al construir la arquitectura de aplicaciones es relacionarlas a los procesos de negocios de la empresa, por medio de una matriz renglón, columna; donde posteriormente se pueden observar áreas de oportunidad para las aplicaciones que no están apoyando los procesos de la empresa.

Una vez construida para este proyecto se encontraron los siguientes resultados: La empresa cuenta con el soporte básico de software para la gestión gerencial, otros estudios proporcionan también importantes enfoques sobre estos hallazgos en las PyMes (Goh, 2007); el control del área de producción se realiza de manera manual, no existe el comercio electrónico.

Para las actividades de evaluación e implantación, se procedió a la búsqueda de soluciones que puedan incorporar en un corto plazo a la empresa al comercio electrónico de manera de una página web básica para incursionar en esta importante plataforma. Por otro lado se recomendó la adquisición a mediano plazo del software Microsip Manufacturing (Microsip, 2014), con un costo aproximado en el mercado 2500 dolares, ya que la empresa trabaja con esta familia de software en sus aplicaciones.

A continuación en la Figura se muestra la pantalla de acceso de la página web básica que se construyó para la empresa.

**Figura 21.3** Página web básica de la empresa



Ya que los procesos de producción son sustantivos en este tipo de industria, se ha programado la adquisición del software para agilizar los procesos de toda la cadena logística de la producción.

En cuanto al desarrollo de la página web, se han incrementado en un 7% las ventas a los clientes, resultando en un impacto positivo en las ventas. Posteriormente se integrarán las funciones de redes sociales y alta en buscadores como Google, Yahoo y Bing.

## 21.2 Resultados y discusión

Uno de los resultados de las actividades previas a la arquitectura de aplicaciones ha sido la actualización de la planeación estratégica de la empresa, revisando y planteando nuevamente la visión, misión, ventajas competitivas sostenibles y la determinación de los objetivos estratégicos relacionados con el incremento en la producción y competitividad, mejoramiento del ambiente de producción, la capacitación continua del personal basado en un Plan de Capacitación Empresarial, la búsqueda de nuevos mercados nacionales e internacionales y mejora de los procesos productivos intergrándolos a la cadena de logística de la producción, desde el insumo de la materia prima hasta la entrega al cliente y posterior facturación.

Las ventas se incrementaron en un 7% mensual y se mejoró el ambiente laboral con la capacitación de los empleados.

## 21.3 Conclusiones

En este proyecto de investigación donde se diseñó y aplicó una arquitectura de aplicaciones en una mediana empresa de manufactura, previa arquitectura de negocios, se detectaron procesos de negocios que carecían de aplicaciones de software, especialmente los procesos de producción; el comercio electrónico era inexistente, por lo que se procedió a diseñar soluciones para estas dos áreas de oportunidad.

A mediano plazo se planea adquirir el software de la familia Microsip que integre los procesos productivos a las aplicaciones existente y mejore la agilidad y control de la producción.

Se desarrolló una página web básica, aprovechando las facilidades de hospedaje gratuito que brinda la Secretaría de Economía y Jimdo, con lo cual se incrementaron las ventas y como consecuencia la productividad y la competitividad.

## 21.4 Referencias

Gartner. (2012). Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools Recuperado 26/Enero/2013, 2013, de [www.gartner.com](http://www.gartner.com)

Goh, B. (2007). Applying the strategic alignment model to business and ICT strategies of Singapore's small and medium-sized architecture, engineering and construction enterprises. *Construction Management and Economics*, 25, 157-169.

Harrel, M., & Sage, A. (2010). An enterprise architecture methodology to address the Enterprise Dilemma. *Information Knowledge Systems Management*, 9, 211-237. doi: 10.3233/IKS-2010-0167

López-Acevedo, G., & Tan, H. (2010). Impact Evaluation of SME Programs in Latin America and the Caribbean. Washington, U.S.A.: World Bank.

Microsip. (2014). Microsip Manufacturing Recuperado 03/02/2014, 2014, de <http://www.microsip.com/productos/microsipmanufacturing.aspx>

Poutanen, J. (2012). The Social Dimension of Enterprise Architecture in Government. *Journal of Enterprise Architecture*, 8(2).

Secretaría de Economía. (2013). Noticias de Pymes Recuperado 15/Enero/2013, 2012, de <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/sala-de-prensa/informacion-relevante/7200-boletin015-12>

Spewak, S. (2000). *Enterprise Architectura Planning*. United States of America: Wiley Publications.

Stanford University. (2013). Tutorial Documentation of Protégé. Recuperado 30/04/2013, 2013, de <http://protege.stanford.edu/doc/users.html#tutorials>

## **Avances recientes y monitoreo de celdas solares fotoelectroquímicas**

Enrique Rocha, Pablo Carbo, José Rodríguez, Enrique Martínez y Eddie Armendáriz

E. Rocha, P. Carbo, J. Rodríguez, E. Martínez y E. Armendáriz  
Universidad Politécnica de Victoria  
Avenida Nuevas Tecnologías 5902, Parque Científico y Tecnológico de Tamaulipas, 87138  
erochar@upv.edu.mx

M. Ramos, V. Aguilera, (eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

In this paper, an analysis of recent advances in dye-sensitized solar cells (DSSC) is done. A brief discussion about general principles of operation and efficiencies, as well as stability data is presented, and what are the parameters for characterization. Also, it is described the development of a system that allows monitoring of solar cells, manufactured with different natural dyes to determine their photoelectrochemical properties, employing for this virtual instrumentation. Data acquisition and statistical processing thereof is performed through graphical programming software. The system has facilities to measure, acquire and permanently displayed on the monitor screen data provide information on the performance of the solar cells, as well as environmental parameters such as temperature and the I-V curve of the solar cell.

## 22 Introducción

Es conocida la importancia creciente que tiene el empleo de las fuentes renovables de energía debido al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y a los daños medioambientales que produce el ritmo actual del consumo de los mismos. Por otra parte, la conversión directa de la radiación solar se destaca por ser la fuente de energía más ampliamente distribuida en el planeta, además de ser prácticamente inagotable. La energía fotovoltaica, reviste gran importancia futura y resulta muy atractiva. Por lo anterior, las celdas solares, elemento clave en los sistemas fotovoltaicos, son intensamente investigadas (Zumeta, 2004).

Existen las celdas solares convencionales tales como las hechas a base de silicio, las cuales se encuentran entre las más difundidas y utilizadas en la actualidad, aunque son costosas en su proceso de fabricación, no pudiendo así competir con las otras fuentes de energía basadas en combustibles fósiles, que aunque contaminan más, representan un costo menor al usuario como menciona (Gessert y col. 2003) y (Halme, 2002). Existen también celdas solares basadas en elementos compuestos tales como el telurio de cadmio (CdTe) o telurio de azufre (CdS) y otros tipos de celdas que resultan muy costosas, razón por la cual no se encuentran ampliamente difundidos a escala comercial para aplicaciones terrestres y tienen usos principalmente a nivel laboratorio.

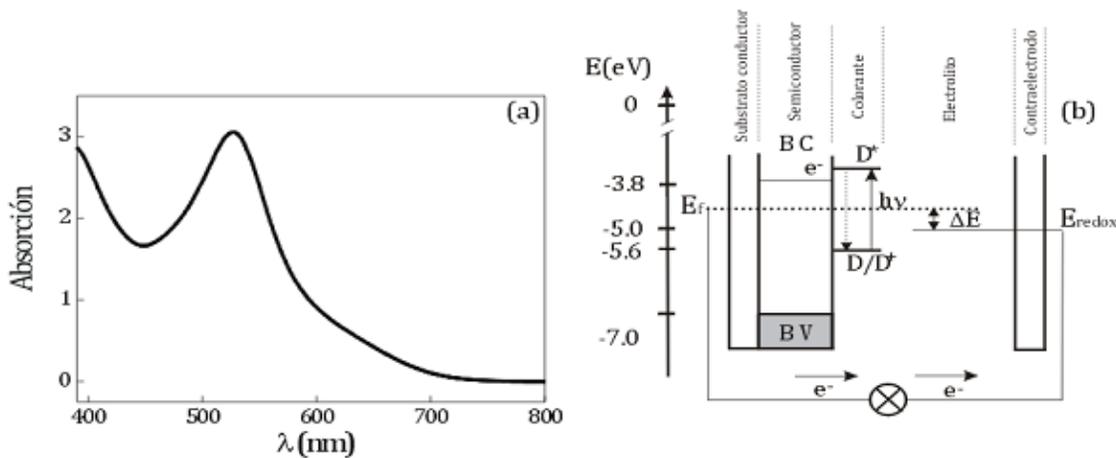
Las celdas solares fotoelectroquímicas constituyen otra variante en la conversión fotovoltaica. Estas celdas basan su principio de funcionamiento en la unión de un semiconductor con un electrolito. La interfaz electrolito-semiconductor es fácil de formar lo que constituye una ventaja frente a otras uniones sólidas y supone un abaratamiento de los costos en el diseño de celdas solares.

Utilizando celdas fotoelectroquímicas se lograron alcanzar eficiencias de 15-17% en la conversión fotovoltaica como reportan (Lewis, 2001) y (Meissner, 1999). Sin embargo, la aplicación a gran escala de esta interfaz como alternativa energética no fue posible, ya que los semiconductores idóneos para el aprovechamiento de la energía solar suelen degradarse con relativa rapidez en contacto con electrolitos. En electrolitos no acuosos resultan algo más estables, pero disminuye sensiblemente la eficiencia de las celdas. Los óxidos semiconductores resultan ser mucho más resistentes a la corrosión pero, por presentar una banda prohibida "gap" relativamente ancha, solo aprovechan una parte muy pequeña del espectro solar (Chandra y col., 1982) y [Mao y col., 1994].

## Estructura y Principio de Operación de una celda solar sensibilizada con colorante

Las celdas solares nanocrystalinas, (DSSC, dye-sensitized solar cell), son un tipo de celda fotovoltaica donde el material que absorbe la radiación electromagnética, un colorante orgánico, se encuentra absorbido a otro material queesdióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), por el cual se propagarán los electrones generados. En este tipo de dispositivos tiene lugar un fenómeno semejante al de la fotosíntesis, puesto que en ambos procesos intervienen colorantes orgánicos y, tanto en uno como en otro, la absorción de fotones y el transporte eléctrico tiene lugar en materiales diferentes. El sistema de operación de una DSSC es el siguiente: en primer lugar, el colorante pasa al estado excitado ( $\text{D}^*$ ) cuando captura la luz visible en el rango coincidente con su banda de absorción, cuyo máximo se centra en 535 nm tal y como se muestra en el espectro representado en la Figura 1(a). En segundo lugar, el colorante inyecta electrones en la banda de conducción del  $\text{TiO}_2$ , quedando así positivamente cargado ( $\text{D}^*$ ). Los electrones inyectados en la banda de conducción del Dióxido de Titanio viajan por la red nanocrystalina hasta encontrar el sustrato conductor por donde acceden al circuito externo. Por otro lado, el colorante vuelve a su estado original tomando electrones de los iones  $\text{I}^-$  presentes en el electrolito que pasan a formar  $\text{I}_3^-$ , estos últimos se regeneran a su vez en el contraelectrodo, reacción catalizada por la presencia del recubrimiento de Platino, cerrándose así el circuito. Estas transferencias de carga se realizan gracias a las diferencias entre los niveles energéticos de los componentes de la celda, como se ha representado en el diagrama de la Figura 1(b). A diferencia de las celdas solares basadas en uniones p-n de Silicio, en las celdas de semiconductor con colorante, los fenómenos de absorción y de transporte electrónico tienen lugar en regiones diferentes de la celda. Se cree que en este tipo de celdas, la separación de cargas no se debe a la acción de un campo eléctrico, sino más bien a la competición entre las cinéticas de transferencia de electrones, en un sentido y en el contrario, en las interfaces entre el óxido, el colorante y el electrolito. Más detalles sobre el funcionamiento de la transferencia de carga en este tipo de celdas solares se pueden encontrar en la literatura (Oregon y col., 1991), (Hagfeldt y col., 1995) y (Bisquert y col., 2004). En la Figura 1 (Mihi, 2008), se muestra el espectro de absorción del colorante N-535 así como un diagrama de los niveles de energía de los distintos componentes de una DSSC típica.

**Figura 22** (a) Espectro de absorción del colorante de rutenio polipiridilo N-535. (b) Diagrama de los niveles de energías de los distintos componentes de una DSSC típica



## Parámetros de Caracterización

Las celdas solares son caracterizadas por su curva voltaje-corriente. Es una curva de corriente de salida versus voltaje de salida bajo iluminación. Las siguientes propiedades eléctricas describen el rendimiento de las celdas:

$I_{sc}$	Corriente en corto circuito
$V_{oc}$	Voltaje en circuito abierto
$P_{max}$	Potencia máxima de salida
$\eta$	Eficiencia
$ff$	Factor de llenado
IPCE	La tasa de electrones generados por números de fotones incidentes por longitud de onda

Información adicional acerca de las formulas y graficas de estas características, son reportadas en la referencia de (Mihi, 2008).

## Eficiencias más altas registradas y datos de estabilidad

Los mejores dispositivos con un tamaño de más de  $1 \text{ cm}^2$  están enlistados con una eficiencia certificada de 10.4% bajo condiciones normales ( $1000 \text{ Wm}^{-2}$ , AM 1.5,  $298^\circ\text{K}$ ) en las tablas de eficiencia solar (Green y col., 2006). En áreas más pequeñas, han sido reportadas eficiencias más altas. La eficiencia está limitada a dos factores, la  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ , tal como se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22** Eficiencias más altas registradas de DSSCs, en dispositivos de varios tamaños (Lensmann y col., 2007)

Superficie area [ $\text{cm}^2$ ]	$\eta$ [%]	$V_{oc}$ [V]	$I_{sc}$ [ $\text{mA}/\text{cm}^2$ ]	$ff$ [%]	Colorante
< $1 \text{ cm}^2$	11.2	0.84	17.73	74	N-719
0.219	11.1	0.736	20.9	72	N-749
1.004	10.4	0.72	21.8.	65	N-749
1.31	10.1	0.82	17.0	72	N-719
2.36	8.2	0.726	15.8	71	N-3
26.5(submodulo)	6.3	6.145	1.7	60	N-749

La estabilidad a largo plazo es un parámetro clave en cualquier tipo de celda solar. Para una apropiada evaluación de la estabilidad deben considerarse factores intrínsecos y extrínsecos en donde los factores intrínsecos son debidos a las condiciones del sellado o sistema cerrado, mientras que los factores extrínsecos son debidos a los procesos de degradación inducidos por la difusión potencial de moléculas dentro o fuera de la celda solar (Sommeling, 2004). La penetración de agua y oxígeno son ejemplos de factores extrínsecos. Sin embargo, grupos de investigación, han logrado superar en mucho estas limitantes mediante la mejora en la tecnología de sellado.

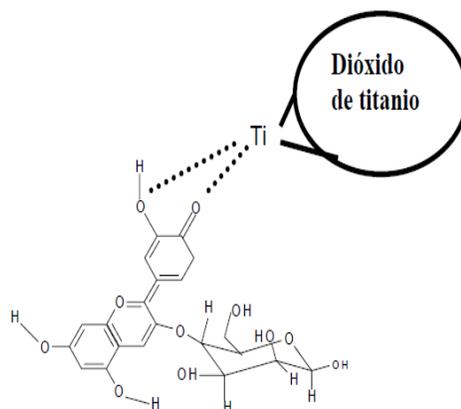
Buenos resultados en la estabilidad de los sistemas han sido reportados en laboratorios en los últimos años (Lensmann y col., 2007). Sin embargo, estos resultados necesitan ser probados en condiciones reales.

Uno de los problemas principales que han mostrado las celdas sensibilizadas ha sido su estabilidad en el tiempo. Esto se ha debido fundamentalmente a que los materiales que son usados para el sellado de estas celdas, suelen ser corroídos por el electrolito, unido a que dichos electrolitos en su mayoría son volátiles, lo que se agrava con el calentamiento propio del sistema durante el trabajo. Debido a estas dificultades, los dispositivos comerciales tienen una vida útil de 5 años en promedio [Sommeling, 2004].

## 22.1 Metodología

Este trabajo se basó en una celda fotovoltaica con colorante, como la diseñada por (Grätzel, 1996), misma que se construyó en base a un sustrato conductor transparente de sílice cubierta con una película de dióxido de estaño con flúor (F:SnO<sub>2</sub>), sobre el cual se depositó una capa de 5 a 10 micras de grosor de nanocristales de TiO<sub>2</sub> (anatasa). Sobre la superficie del semiconductor se encontraba absorbido un colorante natural a base de zarzamorras. En la literatura se han reportado tinturas orgánicas que contienen la molécula conocida como antocianina extraída de la pigmentación de las frambuesas, manzanas, peras, uvas, zarzamorras, ciruelas y semillas de granada; también de flores como la jamaica, rosas y verduras como col morada y maíz morado y de las hojas verdes de los cítricos de donde se extrae la clorofila (Xiao y col., 1998). La antocianina posee grupos -OH que se anclan al dióxido de titanio. En la Figura 2 se puede observar este proceso.

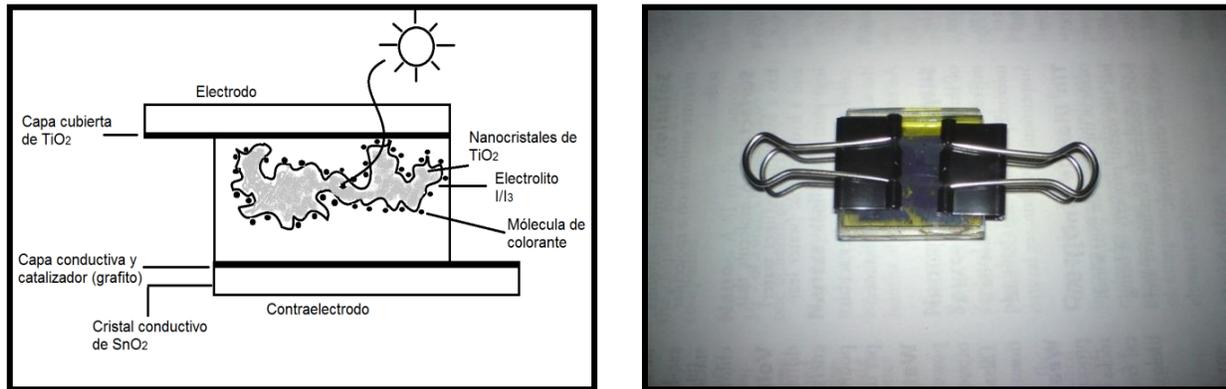
**Figura 22.1** Anclaje de la antocianina a la película nanoporosa del TiO<sub>2</sub> (Xiao y col, 1998)



El electrodo se encuentra sumergido en un electrolito que, siendo líquido, puede embeber completamente la estructura porosa de óxido, que a su vez contiene un par redox, yoduro-triyoduro (I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>) en un solvente orgánico.

Por último, el contraelectrodo es otro sustrato conductor cubierto ésta vez por una película delgada de grafito. Los distintos elementos que conforman la celda DSSC aquí construida se encuentran esquematizados en la Figura 22.2.

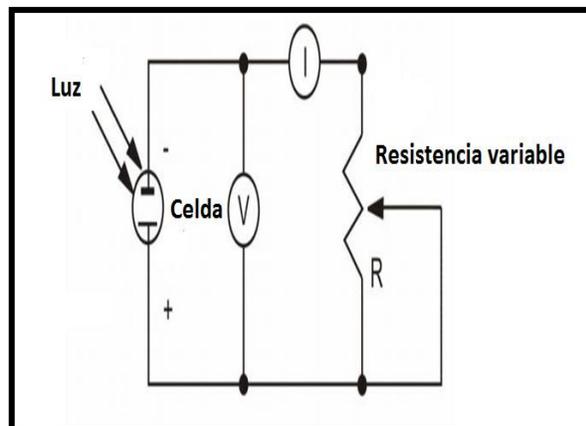
**Figura 22.2** Esquema y fotografía de una celda solar de dióxido de titanio con colorante



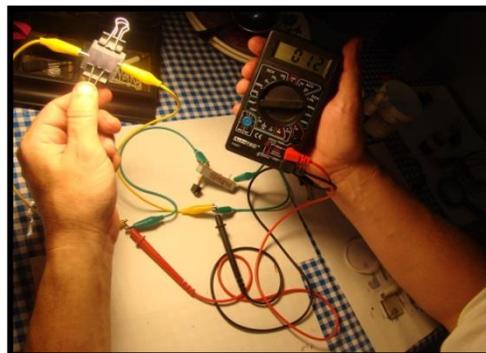
Una vez construida la celda se procedió hacer las conexiones debidas para observar las características fotoelectroquímicas tales como el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), la corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ ) y la potencia ( $P_m$ ).

En las Figuras 22.3 y 22.4 son mostrados tanto el diagrama del circuito hecho para evaluar la celda construida y la fotografía de la misma, respectivamente.

**Figura 22.3** Diagrama del circuito para la evaluación de la celda DSSC (Sekar y col., 2010)



**Figura 22.4** Fotografía mostrando las conexiones para la evaluación de la celda solar construida



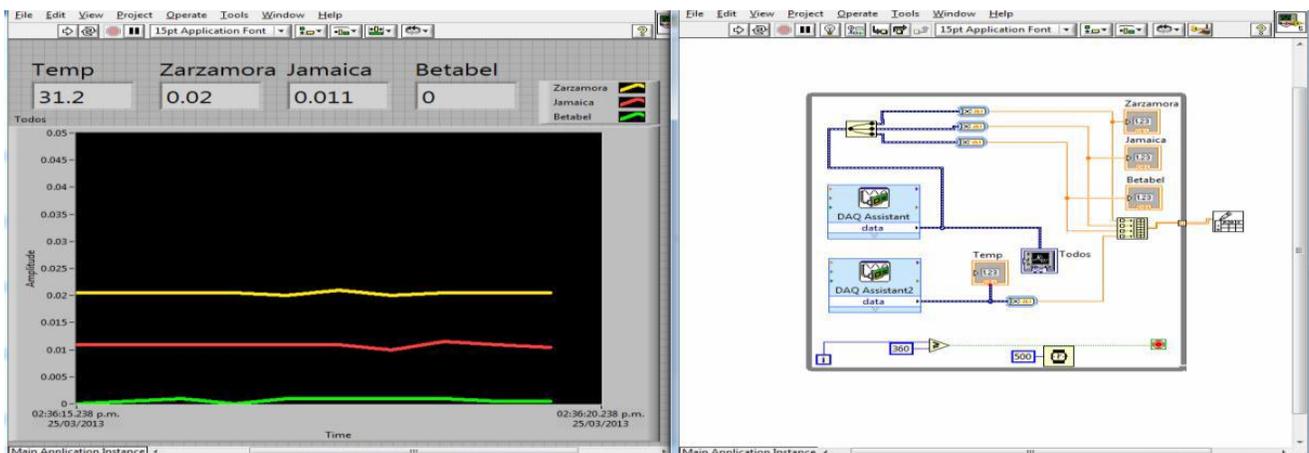
Basado en el registro de los datos con respecto a la corriente y voltaje se procedió a hacer las conexiones tal y como ya se mostraron en la Figuras 22.3 y 22.4; entonces se incrementaron los valores de la resistencia de manera gradual por medio de un potenciómetro de 500 ohms y también se procedió a hacer 14 mediciones cuyos resultados son mostrados en el siguiente apartado.

Para preparar el monitoreo de las celdas solares manufacturadas con diferentes colorantes, se reunieron los siguientes materiales, herramientas y equipo: Vidrios conductores ITO  $R_s < 10 \Omega$  marca Delta Technologies Limited, USA., Electrolito Yoduro de potasio-yodo (KI) en etilenglicol., Dióxido de Titanio Degussa P25, Grafito (Lápiz HB), Resistencia variable (potenciómetro) de 500 ohms, 1 multímetro digital, Colorantes naturales (zarzamoras, flor de Jamaica y betabel), Tarjeta DAQ USB-6008 de National Instruments, Computadora, Medidor de Temperatura NI USB-TC01 Termopar tipo “J”, Fuente de luz artificial (Lámpara de halógeno de 100 watts), Fuente de calentamiento (Pistola de calor), Acido nítrico o acético (10 ml de pH 3-4 en agua deionizada) o 0.2 mL de acetil acetona, Equipo de seguridad (guantes de látex, lentes), otros accesorios (caimanes, cotonetes, recipientes, cucharas, etc.).

El objetivo es que con cada celda construida por separado y con diferente colorante, se caracterice cada una eléctricamente, a fin de determinar algunos de los parámetros para la evaluación de la eficiencia de la celda, y de esa manera, iniciar con el monitoreo de las celdas a través de un sistema de adquisición de datos mediante la plataforma NI-LabVIEW. Las fuentes de luces utilizadas fueron tanto artificial a base de luz de halógeno, como natural a base de luz solar.

Las pruebas con luz artificial fueron hechas en interiores y en condiciones controladas y las pruebas con luz natural en exteriores fueron hechas en un día parcialmente nublado a una temperatura promedio de 20° C, en Cd. Victoria, Tamaulipas que se encuentra en una ubicación entre los 23° 59' y los 23° 24' de latitud norte y los 98° 55' - 99° 26' de longitud oeste, entre las 12:00 y 16:00 hrs de los meses de septiembre y octubre de 2013. El muestreo consistió en 360 tomas con 0.5 segundos por muestra durante un tiempo de 3 minutos. En la Figura 22.5 semuestra el panel de control y el diagrama de bloques con fuente de luz artificial.

**Figura 22.5** Panel de Control y diagrama de bloques con luz artificial

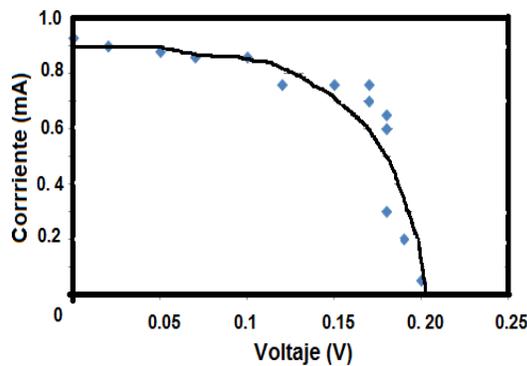


## 22.2 Resultados

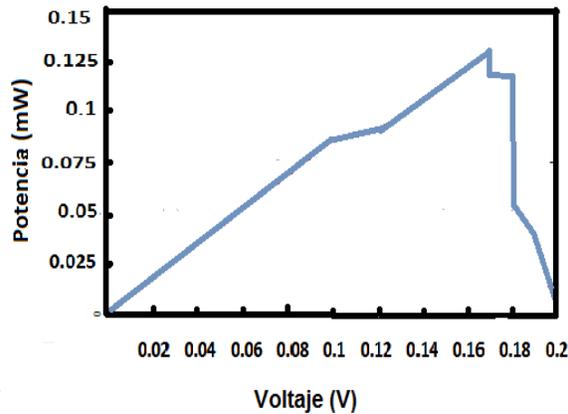
La gráfica de la Figura 7, muestra las mediciones de voltaje y corriente (V-I) correspondientes a la celda DSSC construida y la Figura 8 la gráfica de potencia y voltaje (P-V) y cuya fotografía es mostrada en la Figura 5. Se grafica la corriente en corto circuito  $I_{sc}$  y voltaje en circuito abierto  $V_{oc}$ .

El experimento se basó en 14 mediciones reguladas con un potenciómetro de 500 ohms como ya se mencionó y la celda fue iluminada con luz artificial en base a luz halógena, la cual reproduce condiciones de radiación similares a la luz solar (Abalos, 2005).

**Figura 22.6** Gráfica de la curva V-I de la celda DSSC con luz artificial



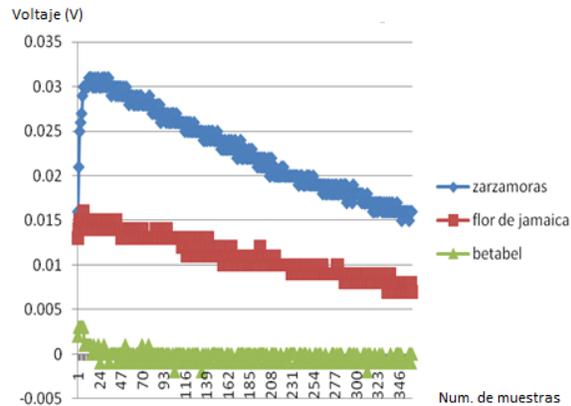
**Figura 22.7** Curva P-V de la celda DSSC con luz artificial



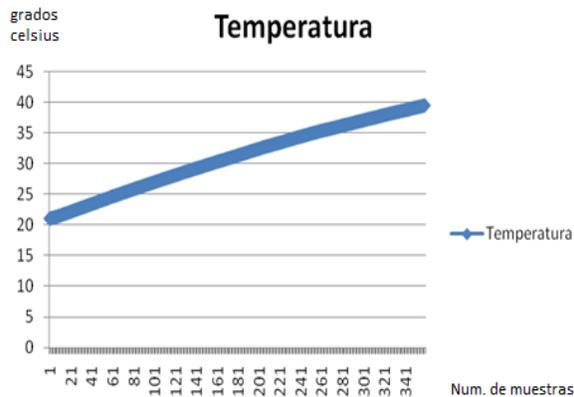
Las gráficas de las Figuras 22.6 y 22.7 presentan similitudes que corresponden a lo reportado en la literatura en donde además pueden ser evaluadas en otros parámetros tales como el factor de llenado, la corriente máxima, el voltaje máximo, la potencia máxima y la eficiencia de una celda solar (Zweibel, 1993).

Con el objetivo de hacer un análisis comparativo de la antocianina presente en algunas plantas y frutas se caracterizaron las celdas solares sensibilizadas con colorantes naturales tales como zarzamora, flor de jamaica y betabel haciendo mediciones de voltaje en cada una de ellas, y evaluando cada una con respecto la temperatura y con fuente de luz artificial. Las gráficas resultantes son mostradas en las Figuras 22.8. y 22.9.

**Figura 22.8** Gráfica mostrando los voltajes de los colorantes utilizados

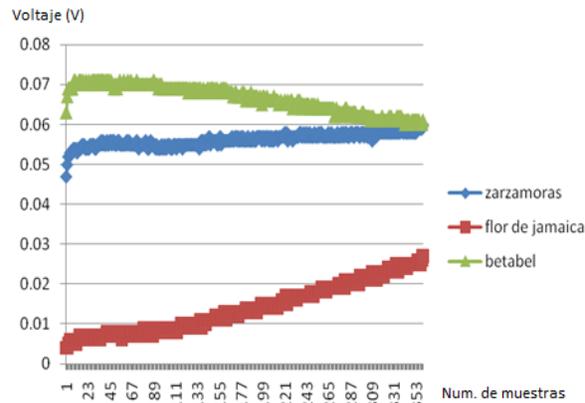
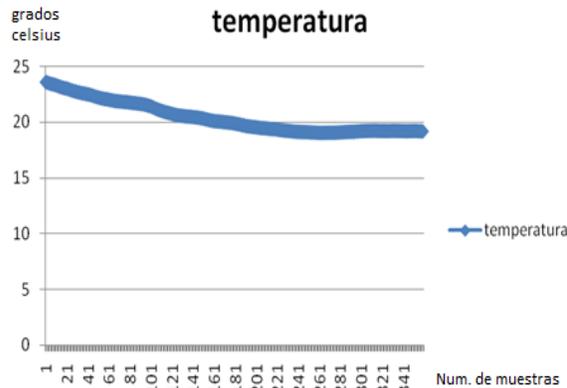


**Figura 22.9** Gráfica mostrando la temperatura de los colorantes en el sitio de las pruebas



Las Figuras 22.8 y 22.9 muestran la tendencia de los colorantes a disminuir sus niveles de eficiencia a medida de que son sometidos al calor producido por la fuente de luz de halogeno de 100 watts. Sin embargo, existen factores químicos que determinan la estabilidad de la antocianina durante el procesamiento y almacenamiento y al ser sometidos a temperaturas mayores a 70° C tal como es reportado en la literatura (Ceballos, 2004).

También se caracterizaron las celdas solares sensibilizadas con colorantes naturales tales como zarzamora, flor de jamaica y betabel haciendo mediciones de voltaje en cada una de ellas, y evaluando cada una de ellas con respecto la temperatura y con fuente de luz natural. La gráfica es la mostrada en las Figuras 22.10 y 22.11.

**Figura 22.10** Gráfica mostrando los voltajes de los colorantes utilizados**Figura 22.11** Gráfica mostrando la temperatura en el sitio de las pruebas

En lo mostrado en las Figuras 22.10 y 22.11 se puede observar que no cambiaron de manera notable sus niveles de eficiencia y estabilidad utilizando luz solar.

Cabe aclarar que las mediciones mostradas en el presente trabajo se encuentran en su etapa de investigación y desarrollo con el único objetivo de presentar las condiciones favorables para la evaluación y seguimiento de las celdas solares de este tipo (DSSC) y debido a que los bajos costos de manufactura pueden ser aprovechados para que investigadores interesados del tema puedan incorporarse en la dinámica de ir las mejorando cada vez más a través de la caracterización y el monitoreo permanente de las mismas.

### 22.3 Conclusiones

La tecnología de las celdas solares sensibilizadas con colorante actualmente se desarrolla de manera muy dinámica. Ha habido progresos en muchos aspectos, incluyendo la eficiencia, la estabilidad, y la comercialización. Las eficiencias han alcanzado más del 11% en áreas de dispositivos pequeños ( $\sim 1 \text{ cm}^2$ ) y más del 6% en áreas submodulares, aunque para sistemas más robustos, estos valores son menores.

Sin duda alguna las investigaciones sobre los materiales que los componen mejoraran su eficiencia.

Por otro lado, se ha realizado la caracterización de las celdas solares sensibilizadas con colorantes naturales y la preparación para el monitoreo de las mismas mediante la plataforma NI-LabVIEW y con base en los resultados obtenidos en la construcción de las celdas solares y las respuestas generadas en la evaluación de sus propiedades fotoelectroquímicas se puede concluir que las celdas solares tipo DSSC: Pueden ser evaluadas y tener seguimiento en su eficiencia y estabilidad de manera permanente y en condiciones controladas de temperatura u otros factores, lo cual con el uso de la plataforma NI-LabVIEW o de otro sistema, se pueden ir optimizando favoreciendo su investigación y desarrollo.

## 22.4 Agradecimientos

Los autores agradecen al PROMEP el apoyo otorgado para la realización de la investigación presente a través del proyecto de Fortalecimiento a Cuerpos Académicos Clave: UPV-CA-3

## 22.5 Referencias

Abalos, C. (2005), “Comportamiento de la intensidad de la luz de las lámparas halógenas y leds a través de la resina compuesta”, *Dentum*, 5(3) 102-106.

Bisquert, J. (2004). Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Phys. Chem. B.*, (108) 24.

Cevallos-Casals, B., Cisneros-Zeballos, L. (2004). Stability of Anthocyanin based Aqueous Extract of andean purple corn and red fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants, *Food Chemical*, vol. 86, p. 69-77.

Chandra S. and Pandey R. K. (1982). Semiconductor Photoelectrochemical Solar Cells, *Phys. Stat. Sol. (a)* (72), 415-454.

Gessert T., Coutts T., Duda A., Dhere R., Johnston S., and Levi D. (2003). NREL National Center for Photovoltaics and Solar Program, *Review Meeting*, Denver, Colorado.

Grätzel M. (1996). Low cost and efficient photovoltaic conversion by nanocrystalline solar cells, *invited lecture presented at a workshop on Photochemical Sciences, Texas*.

Green M. A., Emery K., King D. L., Hishikawa Y., and Warta W., (2006). Solar cell efficiency tables, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 14, no. 5, pp. 455–461.

Hagfeldt, A. and Gratzel M. (1995). Light-Induced Redox Reactions in Nanocrystalline Systems. *Chem. Rev.*, (95) 1 .

Halme J. (2002). Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: Technical Review and Preliminary Tests”, Master's thesis, Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics, Finland.

- Lensmann, F.O. and Kroon J.M. (2007). Recent Advances in Dye-Sensitized Solar Cells, 5.
- Lewis N. S. (2001). New Directions and Challenges in Electrochemistry: Frontiers of Research in Photoelectrochemical Solar Energy Conversion, *Journal of Electroanalytical Chemistry* (508) 1–10.
- Mao D., Kim K., and Frank A.J., J. (1994). Open Circuit Photovoltage and Charge Recombination at Semiconductor /Liquid Interfaces, *Electrochem. Society* (141) , 1231-1236.
- Meissner D. (1999). Solar Technology - Photoelectrochemical Solar Energy Conversion, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Sixth Edition, Electronic Release.
- Mihi, A. (2008). Preparación, Caracterización y Modelización de Cristales Fotónicos Coloidales para Aplicaciones en Células Solares. Universidad de Sevilla, España. pp. 75-104.
- Oregan, B. and Gratzel M. (1991). A Low-Cost High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*. (353) 6346.
- Sekar, N.; Gehot, V. (2010). Metal Complex Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells: Recent Developments, *India: Institute of Chemical Technology*, p-819-831.
- Sommeling P. M., Späth M., Smit H. J. P., Bakker N. J., and Kroon, J. M. (2004). Long-term stability testing of dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, vol. 164, no. 1–3, pp. 137–144.
- Xiao, Z.; Li, M.; Xu, M.; Lu, Z. (1998). *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 59, p.911-914.
- Zumeta, I. (2004). Estudio de capas nanoestructuradas de TiO<sub>2</sub> para celdas fotoelectroquímicas. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias físicas, Universidad de la Habana, Cuba.
- Zweibel, K. (1993). Thin-Film Photovoltaic Cells, *American Scientist*, vol.81, p. 362-369.

## **Bases para la toma de decisiones locales en reubicación post-desastre del hábitat en riesgo**

Dora Artilles, Andrés Olivera, Gloria Santiago, Gonzalo González y José Morales

D. Artilles, A. Olivera, G. Santiago, G. González y J. Morales  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 4 Sur 104, Centro Histórico, 72000 Puebla.  
arq\_olivera@uclv.edu.cu

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## **Abstract**

The increment of occurrence and impact of natural disasters in the cities and the built habitat, besides the effects of Climate Change in global scale, has caused that millions of peoples in the world are living in places where the relocation is the only solution in order to reduce the risks of disasters.

This article explains the research findings about an action scheme to take decisions based on a systematical study about the theory and practice to risk management through the permanent displacement of people toward safer zones that where they lived since many years.

A relocation basis for the risky habitat is proposed, and fixes the requirements for its application in different contexts. Are discussed selected cases from Mexico and Cuba. This research was developed through a joint project between the Academic Body 115 "Habitat for sustainable environment" of the Faculty of Architecture of the Autonomous University Benemèrita of Puebla and Cuban counterparts Construction Faculty of the Central University "Marta Abreu" of Las Villas, Cuba.

## **23 Introducción**

### **Tendencias globales de los desastres en el mundo.**

Los fenómenos destructivos por su impacto y consecuencias constituyen motivo de creciente preocupación a nivel mundial. Se plantea que la marcada tendencia al aumento de los desastres en los últimos tiempos, ha sido provocada en gran medida por la contaminación ambiental originada por la actividad irresponsable del hombre. En este sentido, se ha comprobado el incremento de la frecuencia y potencia de los ciclones, las lluvias intensas e inundaciones, entre otros fenómenos asociados al calentamiento global. También se producen otros desastres de tipo antrópico como las guerras, accidentes industriales e incendios.

Las mayores pérdidas de vidas humanas y afectaciones económicas las sufren las sociedades con mayor grado de vulnerabilidad, esta última, determinada por la situación económica, por condiciones físicas respecto a amenazas naturales en cada contexto y aspectos relacionados con la cultura e integración social, coincidiendo con autores como Cardona (2003). Se plantea que el impacto y acción de un desastre en una región puede repercutir en los riesgos de otra, y viceversa. A ello se suma la vulnerabilidad mencionada, que se ve exacerbada por la evolución de las condiciones demográficas, tecnológicas y socioeconómicas, la urbanización sin planeación, el desarrollo en zonas de alto riesgo, el subdesarrollo, la degradación del medio ambiente, el cambio climático, las amenazas geológicas, la competencia por los recursos naturales y el impacto de epidemias como la del VIH/SIDA.

Los devastadores efectos de los fenómenos perturbadores en México se han magnificado por una elevada vulnerabilidad que afecta a la sociedad y a la economía, especialmente de los estratos más vulnerables de la población.

La vivienda es un factor fundamental para el bienestar integral de la sociedad, una de las consecuencias más visibles de muchos desastres es la amplia devastación de viviendas en mayor medida, en los sectores pobres.

Después que ocurre la amenaza natural, se emprenden diversas acciones postdesastre en el hábitat construido.

Una parte es la reconstrucción de las viviendas dañadas, otras es de rehabilitación y en algunos casos se ha debido realizar la reubicación de viviendas y pequeños asentamientos, dado que su ubicación en determinadas zonas, crean situaciones de riesgo incompatibles con la permanencia estable en dichos lugares (proximidad a cauces de ríos, barrancas, zonas bajas de inundación, de posibles deslizamientos, etc.)

Se han tomado decisiones de reubicación que no han tenido en cuenta de manera adecuada determinados aspectos locales de índole social, cultural, tecnológico y económico lo que ha traído como consecuencia el retorno de pobladores a los lugares originales de asentamiento, reconstruyendo entornos de riesgo y otros problemas para normalizar la vida de los que se asientan en la nueva localización.

Para el caso de México ya en el Programa Nacional de Desarrollo (2007-2012) en referencia al tema de Protección Civil, se relaciona la necesidad de desarrollar una política pública que consolide la cultura de la prevención y autoprotección de la sociedad, para enfrentar el cambio climático, reorientando el desarrollo hacia la sustentabilidad.

Una de las formas de concretar estas metas es a través del Programa Especial de Cambio Climático, donde se consideran cuatro componentes fundamentales para el desarrollo de una política integral para enfrentar el cambio climático: Visión de largo plazo, Mitigación, Adaptación y Elementos de Política Transversal.

Pudiéndose notar que en los cuatro componentes se hace referencia a la necesidad del ordenamiento de los asentamientos, que incluya la reubicación de los sistemas humanos expuestos. Esta situación también constituye un problema para el caso de Cuba, en relación con viviendas y asentamientos edificados en zonas próximas a las costas y en la ladera de los ríos y donde, bajo la acción de huracanes, tormentas tropicales y fuertes inundaciones, existe un estado de inseguridad y riesgo solamente soluble a través de la reubicación.

La complejidad de estos procesos actuales conlleva primeramente, al fortalecimiento de las naciones en la prevención y mitigación de los riesgos, así como de los sistemas de alerta temprana y el aumento de la resiliencia de las sociedades, pero ante el inminente o impredecible impacto de un fenómeno destructivo, se deben activar otros mecanismos específicos de cada contexto para garantizar la salvaguarda de vidas humanas y bienes materiales.

En dependencia de la magnitud de los daños y de la gravedad de la situación resultante del desastre, en las acciones de emergencia inmediata y dentro de la intervención de recuperación definitiva, suelen intervenir diversos actores externos (acciones de los niveles federales y estatales, ayuda humanitaria, organismos internacionales, donaciones externas, entre otras).

Las cuales no logran una adecuada coordinación entre sí, lo cual trae como consecuencia la implantación en el escenario post-desastre de diversas soluciones de vivienda cuyos diseños, materiales y tecnologías no responden totalmente a las condiciones del contexto local en las cuales se insertan, reduciendo así la sostenibilidad futura de estas alternativas e incluso fomentando la aparición de nuevos riesgos ante futuros desastres.

Por otra parte, ante la movilización de recursos y soluciones tecnológicas procedente de niveles externos, se reduce el ámbito de acción local para explotar sus propias capacidades, tanto materiales como subjetivas, que les permita contribuir endógenamente a la recuperación post-desastre.

La dimensión social de la intervención gira fundamentalmente alrededor de la solución de las consecuencias del desastre para la población damnificada y se le da participación casi exclusiva como mano de obra en la auto-construcción, sin explotar otras facetas sociales, sociológicas y culturales de la localidad en la microlocalización, diseño y reconstrucción del hábitat afectado.

En las acciones de reubicación post-desastre también se introducen materiales y tecnologías que no tenían presencia en el ámbito local, brindando soluciones rápidas de alojamiento para los damnificados; pero creando nuevas vulnerabilidades y riesgos a mayor plazo, ya sea por sus propias características técnicas o por las dificultades de su conservación y mantenimiento futuro. Las soluciones de diseño de las nuevas viviendas que sustituyen a las destruidas son bien acogidas, por cuanto le restituyen el alojamiento perdido a las familias damnificadas; pero muchas veces no satisfacen plenamente sus aspiraciones socio-culturales y sus condiciones de confort.

A fin de abatir esta problemática, las actividades de investigación y desarrollo permiten optimizar la aplicación de recursos que fortalecen capacidades locales y nacionales y producen acervos documentales que facilitan la implementación de acciones oportunas de reubicación temprana, como parte de la prevención y mitigación ante fenómenos naturales.

Este panorama reclama la necesidad de profundizar en el carácter multidimensional de la reubicación del hábitat en riesgo, dada la carencia de bases metodológicas que permitan aplicar el estudio de casos locales para identificar buenas prácticas susceptibles de replicar, para lo cual el proyecto se plantea estudiar, bajo una plataforma conceptual y metodológica común, la problemática en Puebla, México y Santa Clara, Cuba, lo cual permite identificar las regularidades existentes en ambos escenarios, extraer lecciones aprendidas de las prácticas en ejecución y generar recomendaciones dirigidas a resolver de mejor manera el complejo asunto de la reubicación de viviendas de las zonas de riesgo al desastre natural.

### **Relación entre vulnerabilidad, riesgo y desastre. Marco teórico**

En términos actuales Herzer, Rodríguez, Celis, Bartolomé, y Caputo (2002), los desastres ya no se conciben como sucesos aislados y extremos, sino que son manifestaciones de un proceso social continuo que impacta en las condiciones de la vida cotidiana de una sociedad, perfilándose un enfoque más integral, que analiza al desastre no sólo como producto sino también como proceso.

El *desastre* como producto puede ser de gran impacto, y afectará independientemente de las medidas preventivas y lo concerniente a la gestión del riesgo a las ciudades o comunidades que se encuentren bajo su radio de acción de manera ineludible.

Sin embargo, también se evidencia en la presencia de pequeñas rupturas o desequilibrios (inundaciones leves, cortes de fluido eléctrico, incendios puntuales, etc.), que suceden con mayor frecuencia pero que, acumulados, adquieren un valor significativo, a veces, hasta más importante que el de los grandes desastres.

El *desastre* como proceso se percibe en la creación de las condiciones de riesgo a través del tiempo, como el resultado de la interacción entre determinados eventos desencadenantes (amenazas), y las vulnerabilidades de la sociedad.

En tal sentido, la probabilidad de que un evento desencadenante se convierta en desastre depende de la vulnerabilidad de la sociedad o de determinados grupos sociales, planteándose que las condiciones de vulnerabilidad de una población dependen de la acción humana, se gestan y se pueden ir acumulando progresivamente, configurando así una situación de riesgo y vulnerabilidad progresivos. Tal es el caso que en los esfuerzos de familias por construir sus viviendas, sostiene Argüello-Rodríguez (2004), es común el hecho de que conozcan los riesgos y hayan sido víctimas de situaciones de desastre, pero asuman que no tienen otra salida que vivir en el riesgo.

El tratamiento de los desastres con este nuevo enfoque condiciona que como parte del proceso del antes y el después del desastre, la intervención una vez ocurrido el mismo, se vea condicionada en el caso del desastre como producto, por acciones y políticas que fortalezcan a las sociedades y se encaminen a reducir el riesgo.

Al tratar los temas de las vulnerabilidades creadas y acumuladas, se perfilan conceptos y enfoques destinados a reducir las mismas y mejorar las condiciones de seguridad y resiliencia, estos aspectos son tratados en la gestión del riesgo.

Según Argüello-Rodríguez (2006), el proceso de generación de vulnerabilidad y riesgo está inmerso en todas las formas de actividad humana en diversos grados, pero en particular en el diseño y construcción de su hábitat. La satisfacción de la necesidad de vivienda lleva a una serie de acciones constructivas que incluyen el uso de tierras inadecuadas para habitar, de edificios urbanos en malas condiciones y la generalizada autoconstrucción, entre otras formas de satisfacer una demanda no solvente. Sostiene Argüello-Rodríguez (2004), que unido a la carente cultura de mantenimiento, conforman el proceso de creación y reproducción de las vulnerabilidades físicas más comunes, que al añadirle las amenazas latentes en cada contexto producen el riesgo.

En el caso de Maskrey (1993), señala que la vulnerabilidad también se refleja cuando no existen condiciones económicas que permitan satisfacer las necesidades humanas (dentro de las cuales debe contemplarse la creación de un hábitat adecuado). Por lo que si los hombres no crean un "hábitat" seguro para vivir es por dos razones: la necesidad extrema y la ignorancia. Ambas razones a su vez tienen causas detectables y modificables, algunas de las cuales forman parte de la misma estructura social y económica de un país.

Existen además, condiciones de vulnerabilidad física detrás de las cuales, refiere Maskrey (1993), hay causas socioeconómicas.

Hay pueblos que han sido contruidos desde su origen sin ningún o con muy poco criterio de seguridad y puede llamárseles vulnerables por origen, y adicionalmente hay pueblos enteros que su fondo habitacional y otras infraestructuras con el tiempo van envejeciendo (entre otros factores por falta de mantenimiento), a lo cual se le denomina vulnerabilidad progresiva.

La *gestión del riesgo*, según Cardona (2003), se entiende como el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, con el fin de disminuir o mitigar los riesgos existentes. Resulta un concepto preventivo que conforma el campo de los preparativos para la atención de emergencias, la respuesta y la recuperación una vez ocurrido el suceso. Tiene como objetivo articular estos tipos de intervención, dándole un papel principal a la prevención-mitigación. Se vincula al desarrollo de las políticas preventivas que a largo plazo conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ya ocurridos.

La gestión del riesgo está orientada a enfrentar los desastres de forma preventiva, se relaciona con la intervención post-desastre al ejecutar durante la misma, acciones que garantizan la seguridad y resistencia ante futuros desastres y la no reproducción de vulnerabilidades.

### **La intervención post-desastre dentro del manejo de desastres.**

Las respuestas en caso de emergencia, rehabilitación y la reconstrucción constituyen las acciones correspondientes al manejo del desastre una vez ocurrido el mismo. Estas actividades pueden contener acciones de evacuación o desplazamiento de comunidades, de búsqueda y rescate, de asistencia y alivio a poblaciones afectadas, es comúnmente aceptado como una de las medidas para reducir la exposición de poblaciones para determinadas amenazas naturales, cuando el riesgo no puede ser controlado con ninguna otra medida.

Olivera (2009) sostiene que cuando la magnitud del desastre supera las posibilidades nacionales o regionales de acometer trabajos de emergencia, y mucho menos de recuperación definitiva, intervienen actores externos (ayuda humanitaria, organismos internacionales, donaciones externas, etc.), manifestándose como tendencia la realización de numerosas acciones, no necesariamente coordinadas entre sí y por lo general en un tiempo corto e inmediatamente posterior al desastre, producto de las cuales se implantan en el escenario post-desastre diversas soluciones de alojamiento transitorio o de emergencia, con materiales y tecnologías ajenas al contexto en las cuales se insertan, todo lo cual conspira contra la sustentabilidad futura de estas alternativas, una vez que se plantee una recuperación definitiva de las consecuencias del desastre.

La rehabilitación, corresponde al período de transición que se inicia al final de la etapa de emergencia y en la cual se restablecen los servicios vitales indispensables y el sistema de abastecimientos de la comunidad afectada.

La reconstrucción, se caracteriza por los esfuerzos que se realizan con el fin de reparar la infraestructura afectada y restaurar el sistema de producción con miras a revitalizar la economía y lograr alcanzar o superar el nivel de desarrollo previo al desastre.

La reconstrucción resulta el proceso completo del retorno a la normalidad de la comunidad y del ambiente físico en aras del desarrollo.

Esta etapa tiene varios objetivos simultáneos:

- a) Restablecimiento del tejido social y de las relaciones de la comunidad afectada.
- b) Recuperación de los medios de producción y de las fuentes de trabajo.
- c) Reparación de los daños materiales en materia de vivienda y de infraestructura.
- d) Incorporación de las medidas de prevención y mitigación en el proceso de desarrollo para evitar reconstruir la vulnerabilidad.

La reubicación o relocalización del hábitat dentro de la recuperación post-desastre es un proceso que lleva a desplazar una comunidad cuando concurren las siguientes situaciones: ya la población ha sido desplazada como consecuencia de la ocurrencia de un desastre; cuando el lugar actual de asentamiento se considera inhabitable y/o cuando la reubicación es considerada la mejor opción para reducir la vulnerabilidad y el riesgo ante futuros desastres (Jha et al. (2010), Duyne (2008).

Artiles, Olivera, Gonzalez y Santiago (2013) sostienen que reubicar poblaciones corresponde a construirlas con la participación de la comunidad desde la reflexión, planificación, diseño y ejecución, crear un nuevo espacio de vida habitable, amigable, confortable, donde se reconoce y se siente el lugar del cual se puede apropiarse, arraigar y finalmente ser ahí un actor reconocido. Esto representa un problema político, alrededor del que tiene que trabajar la colectividad y la comunidad correspondientes, con el fin de llegar a decisiones negociadas pues si los procesos son involuntarios y no se permite la participación activa de la población, no mejorará su adaptación, ya que los programas deben responder a sus formas de vivir, sus hábitos, su cultura y no a modelos impuestos y lejos de su cotidianidad y sus necesidades.

Por tanto, los proyectos de reubicación tienen que responder a situaciones complejas, tanto individuales como colectivas y por ende tienen que ir mucho más allá de la simple búsqueda de un techo seguro. Los procesos implican un alto costo social, económico, cultural, político, e impactos físico-territoriales tanto en el hábitat de origen como en el sector de destino. Un programa de reubicación consiste precisamente en prever todas estas implicaciones y actuar de tal manera que el resultado consista en observar un desarrollo continuo de la comunidad reasentada.

La relocalización de un asentamiento de viviendas debe producirse siempre bajo el criterio de necesidad demostrada, dado que en el emplazamiento original existan riesgos colectivos e incompatibles con la ubicación y desarrollo de la vida en el hábitat existente, a causa de factores de amenaza por cuestiones geográficas, naturales o de otro tipo.

Los procesos de reubicación del hábitat en riesgo son complejos y contradictorios. El desplazamiento y reasentamiento de una población presupone resolver múltiples problemas que no siempre encuentran una solución satisfactoria para todas las variables que se manejan.

Para poder llevar a cabo las actividades mencionadas es necesario contar con una organización interinstitucional que se realice en cada nivel (nacional, regional y local), de una manera multidisciplinaria, con la participación de todos los sectores y actores sociales y la coordinación de un amplio número de profesionales de las entidades de carácter técnico-científico, de planificación, de educación y de trabajo comunitario. Es necesario crear dentro de la organización o sistema una *gerencia* que oriente y coordine el proceso. También, es necesario formular un plan de acción cuyo alcance debe limitarse con claros indicadores de gestión para evitar falsas expectativas.

### **23.1 Métodos**

El objetivo fijado para la investigación consistió en la propuesta de un modelo de relocalización del hábitat construido, basado en la caracterización multidimensional de dichos procesos.

Se trazaron los objetivos específicos:

- Establecer el marco teórico-conceptual, tanto internacional como nacional de la intervención post-desastre para la reubicación del hábitat en riesgo, partiendo de enfoques multidimensionales que tengan en cuenta factores sociales, políticos, económicos, ambientales y culturales que se dan en el contexto local.
- Determinar buenas prácticas y las bases para la toma de decisiones locales en reubicación post-desastre del hábitat en riesgo.

- Proponer un modelo para basar decisiones efectivas de reubicación del hábitat en riesgo de desastres naturales.

En el trabajo que se presenta solo se resume parte del proyecto de investigación por lo amplio y extenso del mismo, no se hace referencia al modelo y si a las bases que se definieron para servir de guía en su elaboración.

### **Determinación de las Buenas Prácticas locales de relocalización post-desastre del hábitat el riesgo.**

La ONG suiza sobre Construcción Sostenible SKAT emplea un sistema de criterios para identificar las prácticas constructivas más sostenibles para determinados contextos de referencia dados, lo cual fue sometido a validación en Cuba, en un seminario de aplicación de herramientas de sostenibilidad. SKAT distingue en tres niveles de categorización de las prácticas referenciales:

- PMC: Prácticas Más Comunes
- BP: Buenas Prácticas
- MB: Mejores Prácticas

Como Prácticas Más Comunes (PMC) se reconocen aquellas prácticas constructivas establecidas en un contexto dado y consideradas como aceptables para sus condiciones específicas.

Se identifican como Buenas Prácticas (BP) las que deben considerarse de referencia para un contexto dado, teniendo en cuenta los niveles de cumplimiento de las normativas y especificaciones y cuya aplicación asegura buenos criterios de efectividad y calidad.

Las Mejores Prácticas (MP) son las que se equiparan a niveles de excelencia y cumplimiento de estándares nacionales e internacionales. Requieren de determinadas condiciones para su logro y se constituyen en una aspiración a alcanzar.

Tanto las Buenas Prácticas como las Mejores Prácticas, se armonizan con los niveles establecidos por la Organización Internacional de Normalización, conocida por sus siglas en inglés ISO (International Standards Organization), al regular los conceptos de Good Practices y de Best Practices, de general reconocimiento.

Con el objetivo de disponer de los mejores criterios que pueden ser compartidos y generalizados en otros contextos, se plantea la identificación de las Buenas Prácticas en la intervención del hábitat construido, ya que en el marco de un trabajo como el presente y con el alcance del estudio local que se desarrollan en el trabajo de campo, en ocasiones es complejo caracterizar Mejores Prácticas (Best Practices).

Para el reconocimiento de lo que puede considerarse como una Buena Práctica en esta investigación, se siguen los siguientes criterios de evaluación e identificación:

Criterio 1. Que armonice con los principios y sistemas políticos y de gobierno establecidos a escala local.

Criterio 2. Que contribuya a la sostenibilidad económica local, en la factibilidad de activar un cofinanciamiento por la población de las acciones de recuperación post-desastre del hábitat construido, en condiciones asequibles a la economía familiar, de tal manera que permita reducir la carga presupuestaria al gobierno municipal y estatal

Criterio 3. Que apunte hacia una real activación del protagonismo de los individuos, la familia y la comunidad local en las acciones de intervención post-desastre que se emprendan en el contexto local, tanto en la toma de decisiones que involucran al ámbito socio-comunitario, como en la capacidad de auto-gestión de la población que armonicen con la identidad social y cultural de la localidad, el municipio y el país.

Criterio 4. Que sea apropiada con las características y posibilidades técnicas y materiales comunes a las condiciones tecnológicas y económicas de la localidad, el territorio y el país y permitan una efectiva mitigación del riesgo existente de desastre y prevención del mismo ante amenazas y peligros recurrentes.

Criterio 5. Que contribuya a reducir el impacto ambiental y a lograr criterios de desarrollo sustentable en el medioambiente natural y construido de la localidad y el territorio, aprovechando el conocimiento tradicional y local de resiliencia o pervivencia ante las amenazas y peligros recurrentes.

Siguiendo las consideraciones anteriores, se relacionan a continuación los Rasgos de Buena Práctica en la relocalización.

En cada caso también se señala la Práctica Más Común (PCM) registrada en la generalidad de los casos estudiados; así como la Mala Práctica que se haya encontrado en el trabajo de campo:

Diseñar viviendas económicamente accesibles, de fácil construcción; pero que a su vez resuelvan satisfactoriamente la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo ante desastres futuros y las necesidades de confort, habitabilidad y condiciones higiénico-sanitarias de sus residentes, que guarden relación con los rasgos identitarios de la localidad y permitan su desarrollo progresivo a través del tiempo.

Práctica Más Común: Aplicación de diseños únicos repetitivos, logrando mínimamente un carácter apropiado a la localidad y a sus residentes locales.

Mala Práctica: Viviendas con dimensionamiento espacial insuficiente y carencia de servicios urbanos a su disposición.

Aprovechar al máximo las construcciones y facilidades existentes antes del desastre para la localización, reconstrucción o adaptación de viviendas y para sus servicios básicos (suministro de agua y electricidad, evacuación y tratamiento de residuales, vialidad y otros).

Práctica Más Común: Ubicación de las nuevas viviendas post-desastre en zonas de desarrollo previstas en la localidad, aprobadas por instancias gubernamentales; pero que puede no tener completa su infraestructura urbana (vialidad vehicular y peatonal, acueducto y alcantarillado).

Mala Práctica: No preverse servicios sanitarios en las viviendas, no se construyeron soluciones de evacuación y tratamiento primario de aguas residuales.

Utilizar materiales de construcción de fácil adquisición y bajo costo, preferiblemente locales y cuya extracción, fabricación, procesamiento y aplicación provoquen un mínimo impacto ambiental, tanto en la localidad como a nivel global.

Práctica Más Común: Utilización de materiales y componentes destinados por las instancias provinciales y municipales, procedentes de reservas de emergencia activadas para dar respuesta al desastre; independientemente del costo global de los mismos, tanto monetario como ambiental, con el incremento de los gastos energéticos por transportación, equipos de estiba y almacenamiento, entre otros.

Mala Práctica: Utilización de materiales y tecnologías que muchas veces no corresponden a los usos y costumbres de las localidades y tampoco responden a las condiciones climáticas y necesidades de acondicionamiento ambiental espacial.

Aprovechar, mediante tecnología accesible de procesamiento, los desechos reutilizables resultantes del desastre como material de construcción o como materias primas para los mismos.

Práctica Más Común: Aprovechamiento de la madera derribada, ya sea de arbolado destruido o afectado por el huracán, o procedente de techos y otras estructuras de las edificaciones derribadas o dañadas.

Mala Práctica: Desaprovechamiento de residuos. Acción perjudicial al medio ambiente. Falta de tratamiento y destino final de los mismos.

Aplicar tecnologías y soluciones constructivas de bajo costo financiero, material y energético, asimilables en su desarrollo por la mano de obra local y que utilicen o armonicen con los modos locales de construcción, a la vez que su aplicación provoque un mínimo impacto ambiental, tanto local como global.

Práctica Más Común: Aplicación de soluciones tecnológicas comunes a los materiales y componentes para la reconstrucción y la rehabilitación post-desastre.

Mala Práctica: Transferir tecnologías ajenas al contexto.

Relocalizar viviendas, asentamientos u otros conjuntos de viviendas y otras edificaciones que resulten destruidas o dañadas debido a estar ubicadas en zonas de riesgo, altamente peligrosas, debido a sus características geográficas, geológicas y otros peligros del contexto natural o construido que recomienden evitar la reconstrucción en ese propio lugar.

Práctica Más Común: Reubicación de viviendas y asentamientos según programas y conceptos integrales y multidimensionales.

Mala Práctica: Reubicación forzosa sin participación ni análisis del contexto a reasentar.

## **23.2 Resultados**

Bases para la toma de decisiones locales en reubicación post-desastre del hábitat en riesgo.

Objetivos y alcances de las bases para la toma de decisiones.

La toma de decisiones en materia de recuperación post-desastre del fondo habitacional es un proceso multiactoral y multifactorial donde intervienen diversas circunstancias y consideraciones.

El hecho de que la fase donde se enmarca este Informe sea cuando la sociedad está trazando su retorno a la normalidad (una vez vencida la fase de emergencia post-desastre o respuesta inmediata), permite que se trabaje acorde con determinados lineamientos de actuación, a los cuales se refieren las presentes bases para la toma de decisiones.

Los objetivos de las bases son los siguientes:

Contribuir a que las decisiones de recuperación del fondo habitacional sean más eficaces y efectivas, no sólo en materia de restitución física del hábitat construido, sino de solución y evitación de problemas en el plano económico, socio-cultural y ambiental.

Hacer más sostenible la labor de recolocalización, basándose en las capacidades y potencialidades locales existentes.

Coadyuvar a que la recuperación del fondo habitacional no sólo resuelva eficazmente los daños y efectos del desastre, sino que evite los riesgos futuros ante una potencial recurrencia de los peligros y amenazas.

El alcance de las bases para la toma de decisiones es para su utilización como guía o recomendación a los decisores en su compleja función de adoptar las medidas y acciones que no sólo resuelvan las consecuencias del desastre en el hábitat construido, sino que sean sustentables a largo plazo.

Bases para la reubicación del hábitat en riesgo de desastres.

Durante el estudio y revisión de la bibliografía y las experiencias de buenas y malas prácticas en el ámbito internacional, el análisis de algunos ejemplos ejecutados de recolocalización del hábitat como vía de reducción o mitigación de situaciones de vulnerabilidad y riesgos constituye un acervo de información sobre determinadas prácticas, sus resultados y las lecciones aprendidas de aspectos que no reportaron el beneficio previsto o que generaron, a su vez, nuevas situaciones que afectan la estabilidad y sostenibilidad de la reubicación.

Lo anterior hizo posible establecer las bases económicas, sociales y culturales, tecnológicas y ambientales que definen patrones a seguir y que resultan rectoras para lograr una exitosa recolocalización. Se definen a continuación:

Bases económicas.

Bajos costos y asequibilidad. Las nuevas viviendas deben ser asequibles a la economía de la municipalidad u otras formas de administración local, así como para sus habitantes, debiendo ser condiciones mínimas indispensables que rijan el diseño de las viviendas la reducción de la vulnerabilidad y la minimización de riesgos de desastre.

Financiamiento progresivo. Aplicar conceptos de construcción progresiva de las viviendas que permitan un financiamiento paulatino en relación con plazos apropiados a los ingresos de la población local.

Minimización de recursos no locales. En el diseño y las tecnologías de las viviendas deben aplicarse criterios de mínimo gasto de combustibles y portadores energéticos; así como de componentes no locales o de elevado costo.

Aspectos socio-económicos. Generar o reactivar empleos entre la población local, vinculados con las acciones a realizar para la recuperación del medio construido; dar ayudas que permitan su acceso económico a los beneficios de la reubicación (subsidios, créditos, precios diferenciados, etc.), así como en lo referente a los recursos adicionales de alimentación y sustento social.

Bases sociales y culturales.

Apropiabilidad de la vivienda al perfil sociológico local. El diseño de las nuevas viviendas es apropiado a las características psicosociales y sociológicas locales de la comunidad y la idiosincrasia de sus habitantes.

Protagonismo participativo de la población local. La población relocalizada, representada y apoyada por las organizaciones formales y no formales y los órganos populares de gobierno, deben tener una participación activa en las consultas y decisiones relativas al lugar de asentamiento y otras cuestiones propias de la vida social y comunitaria en dicho nuevo territorio.

Respeto por la cultura local. La vivienda propuesta debe ser producto de un diseño participativo, capaz de responder creativamente a las condiciones del contexto local y a las necesidades, intereses e idiosincrasia socio-cultural de la población, a la vez que sepa aprovechar las ventajas tecnológicas y económicas de la tipificación y la modulación en los proyectos, así como el marco de recursos materiales y presupuestarios que se establezcan eventualmente.

Enfoque de género y atención a grupos en desventaja social. En la gestión de recuperación del fondo habitacional y en los aspectos inherentes al diseño y ejecución de las nuevas viviendas, deben respetarse las prioridades de los grupos humanos en desventaja social y de las mujeres.

### **23.3 Bases tecnológicas.**

Uso de materiales y productos locales. Las tecnologías aplicadas deben emplear materiales locales o regionales y herramientas de fácil obtención, fabricación o transformación en el propio contexto local; como resultado del análisis de aquellas soluciones constructivas existentes que demostraron un mejor comportamiento hacia los fenómenos naturales que generaron el desastre.

Adaptabilidad al contexto local. Las tecnologías para viviendas deben ser versátiles y abiertas para responder a diversas alternativas de soluciones de diseños y modelos, pudiéndose aplicar el principio de su desarrollo progresivo a través del tiempo, partiendo de un núcleo semilla inicial que permita una satisfacción mínima aceptable de las necesidades y del confort de sus residentes y sea susceptible de irse ampliando a mediano y largo plazo.

Compatibilidad con la cultura local. Siempre que sea posible, deben emplearse tecnologías y modos de construir endógenos, acorde con las tradiciones y saberes culturales de la localidad aplicados en la construcción de las viviendas.

Apropiabilidad local y consolidación sostenible. En caso de asimilarse tecnologías transferidas de contextos ajenos a la localidad, las mismas deben permitir su fácil apropiación por la mano de obra del lugar, así como la introducción de determinadas adaptaciones locales que favorezcan su consolidación.

Uso de mano de obra local e intensiva. Las tecnologías aplicadas en la construcción de las viviendas deben requerir mano de obra intensiva, de tal manera que generen empleos locales con alta productividad.

Supervisión técnica enfocada hacia la calidad. Las tecnologías y procesos constructivos que se ejecuten debe contar, aunque sea protagonizada por la población local, de formas y métodos de supervisión técnica que permitan niveles aceptables de calidad y seguridad.

Selección de materiales de construcción y las tecnologías constructivas. Deben permitir la rapidez de ejecución basada en la productividad, manteniendo un adecuado balance entre su nivel de mecanización e industrialización y la posibilidad de emplear mano de obra directa de la propia localidad.

Reutilización de desechos y materiales resultantes del desastre. Es deseable que las tecnologías constructivas para viviendas admitan la máxima utilización posible de desechos y materiales procedentes de las construcciones y la vegetación destruidas por el desastre.

Evitación de la reproducción del riesgo. Los materiales y soluciones constructivas utilizadas para la construcción de las viviendas deben ser menos vulnerables que las anteriores, con el propósito de reducir el riesgo a largo plazo del hábitat construido.

### **Bases ambientales**

Racionalidad energética de la vivienda. La racionalidad energética de la nueva vivienda, debe constituir un requisito indispensable, para lo cual el confort bioclimático debe lograrse a merced del buen aprovechamiento de la ventilación e iluminación natural, un adecuado acondicionamiento ambiental y de la orientación de la edificación y un diseño centrado en el ahorro de energía, sobre todo de la no renovable.

Reutilización de desechos resultantes del desastre. Las soluciones y procesos constructivos de las nuevas viviendas y de las que se reconstruyan y rehabiliten en la etapa post-desastre deben reutilizar al máximo la madera, escombros y otro material útil generado por la destrucción de bosques, arbolado y construcciones provocados por el desastre.

Racionalidad del uso del agua. Los procesos de fabricación local de materiales para la construcción de viviendas, así como en su ejecución constructiva, deben minimizar el uso de agua proveniente de las fuentes hidrológicas naturales del lugar, necesarias para atender las urgencias sanitarias y de vida y sostenimiento de la población damnificada.

Minimización del impacto ambiental local. Los procesos de fabricación local de materiales, así como en su ejecución constructiva, deben lograr el menor impacto ambiental posible en la localidad: generación de desechos no reutilizables, las emisiones a la atmósfera y al subsuelo, el elevado consumo de portadores energéticos no renovables y consumo de leña vegetal.

Selección del lugar de destino de la relocalización de un asentamiento de viviendas. Debe ser aprobada en primera instancia por las entidades de Planificación Física correspondientes, las cuales se basarán en los planes de ordenamiento territorial y urbano, especialmente en el mapeo o estudios de vulnerabilidad y riesgos existentes para dicho territorio.

Racionalidad en el uso del suelo de construcción. El planeamiento de las nuevas viviendas debe lograr el máximo aprovechamiento en el uso del suelo, evitando utilizar suelo agrícola, de arbolado o de otros destinos económicos o ambientales que sean valiosos para la normalización de la vida socio-productiva de la comunidad y la sociedad.

Minimización del movimiento de tierras para construcción. La nivelación topográfica y conformación general de los planos o terrazas de construcción de las nuevas viviendas post-desastre deben conciliar la evitación de cotas de riesgo por inundación u otros fenómenos, con la menor cantidad de movimiento de tierras y, por ende, gastos por concepto de maquinaria de obra, combustibles y otros insumos de poca disponibilidad por las consecuencias resultantes del desastre.

### **Bases jurídico-institucionales.**

Influencia de las condiciones de propiedad de las personas naturales y jurídicas sobre inmuebles, terrenos y otros bienes y servicios implicados en la reubicación. Las características de la reubicación se ven influidos por el régimen de propiedad de la población sobre sus casas y terrenos (propietarios, arrendatarios, rentistas, ocupantes).

Así mismo hay que estudiar las propiedades públicas y de las instituciones o personas jurídicas.

Respeto por el marco legal e institucional de las decisiones y acciones de la reubicación: La reubicación no puede desarrollarse a contrapelo de las leyes, disposiciones y normativas. Es importante que tenga en cuenta los planes de ordenamiento territorial y urbano, las políticas de desarrollo.

Necesidad de establecimiento de funciones institucionales de los diferentes actores en el proceso de reubicación: Cada actor institucional que interviene en el proceso de reubicación debe seguir un marco de funciones y prerrogativas, según sea el momento del proceso en que interviene y existir un espacio de coordinación y guía de la acción de los actores.

Gobernabilidad del proceso de reubicación liderado por los actores de gobierno local: Como forma de garantizar la institucionalidad del proceso de reubicación, le corresponde al gobierno local y sus estructuras llevar un papel clave en la dirección y control de dichos procesos.

### **23.4 Discusión**

Criterios para la implementación.

En un trabajo como el presente es difícil lograr una validación de sus propuestas, partiendo de que la investigación científica sólo reconoce bajo esta categoría el pilotaje, la prueba previa o el ensayo preliminar. Quiere esto decir, que la fuente de validación con científicidad sólo lo constituye la práctica, con mayor o menor grado de amplitud y bajo determinadas condiciones de manifestación y análisis.

No es posible en el marco temporal del proyecto y bajo las prerrogativas y facultades que el mismo puede alcanzar, diseñar y llevar a efecto una prueba práctica limitada con las mínimas condiciones de confiabilidad y validez.

Por ello lo que se enfatiza son dos categorías que constituyen atributos necesarios para lograr la validación práctica de las propuestas: efectividad y aplicabilidad que son los fundamentos de la implementación. Tales aspectos traen en sí mismos la potencialidad de validación de los resultados obtenidos.

De la discusión realizada, se reafirman las siguientes ideas:

El análisis de las prácticas referenciales determinadas para el trabajo de campo, permitió establecer criterios y valoraciones sobre el comportamiento de cada dimensión, se proponen criterios para identificar Buenas Prácticas que se realizan en los contextos locales

Las prácticas que se realizan en los contextos locales unido a los criterios y conceptos desarrollados por SKAT, permitieron confeccionar los Rasgos de Buena Práctica, los que constituyen la antesala de las bases a proponer.

La determinación de las Bases para la toma de decisiones en la recuperación post-desastre, estuvo enfocada a los procesos de relocalización de asentamientos, diseño de viviendas y selección de materiales y tecnologías para las mismas.

Las Bases responden al análisis de resultados de los casos referenciales ya explicados y su implicación con actores responsables en los procesos correspondientes de cada decisión a tomar.

Las propuestas de implementación de las Bases, tienen en cuenta las vías para su logro, los actores claves, actores participantes y los resultados a obtener en el proceso de aplicación. Por otra parte se manejan fundamentos de la validación de las mismas como la efectividad y aplicabilidad, las que se ponen a consideración de especialistas que representan actores dentro del proceso de recuperación, obteniéndose resultados adecuados, de acuerdo a los criterios de evaluación previstos.

### **23.5 Conclusiones**

El carácter multidimensional e integral que tiene la intervención post-desastre en la reubicación o relocalización del hábitat en riesgo de desastres queda establecido en la definición de factores caracterizadores de tipo económico, social y cultural, tecnológico y ambiental, producto de un amplio estudio de la bibliografía, experiencias nacionales e internacionales y de la valoración por expertos seleccionados.

Se establecieron las bases para la ejecución de futuros trabajos de campo que abarquen diferentes contextos locales, para lo cual se brinda una herramienta, basada en indicadores y parámetros y en criterios para caracterizar Buenas Prácticas en la reubicación post-desastre del hábitat.

Se proponen bases para la toma de decisiones post-desastres en los procesos de relocalización de asentamientos, teniendo en cuenta aspectos de diseño de viviendas, de selección de tecnologías y materiales apropiados, ambientales, socio-culturales y jurídicos institucionales, que contribuyen a que la recuperación del fondo habitacional logre eficacia y sustentabilidad.

El proyecto de investigación fortaleció la colaboración científica con el Instituto Virtual de Estudios sobre Desastres (IVED) de Santa Clara, Cuba y profesores investigadores del CA 115. Constituyó además el trabajo inicial para integrar una red de información e investigación de alcance internacional, con la participación de miembros de Canadá, Suiza, Nicaragua y Cuba.

El alcance del proyecto no abarca el nivel nacional; no obstante, sus conclusiones y resultados serán susceptibles de generalizarse a otros ámbitos del país, donde existen muchos otros casos afines de hábitat en riesgo cuya solución consiste en la relocalización integral y sostenible. Además de crear bases documentales para el desarrollo de las asignaturas del programa educativo.

Las recomendaciones científicas del proyecto de investigación se dirigen a:

Aplicar las bases en el trabajo de campo, teniendo en cuenta varios tipos de contextos que aumenten la representatividad, incluyendo centros urbanos y otras zonas en riesgo. Además, se debe considerar la investigación en lugares que hayan sufrido diferentes fenómenos destructivos como inundaciones, deslizamientos de tierra, eventos sísmicos, entre otros.

Se debe profundizar el estudio en el tema de la relocalización de asentamientos, proceso que se complejiza por su fuerte implicación social con las poblaciones afectadas, teniendo en cuenta aspectos de idiosincrasia, costumbres y cultura local.

En aras de implementar las bases propuestas, se debe ampliar el panel de especialistas que valoren la efectividad y aplicabilidad de las mismas, considerando su procedencia de otros contextos municipales y provinciales.

La aplicación y/o generalización de los resultados propuestos, conlleva a su divulgación entre los diferentes actores técnicos y responsables directos en su implementación.

Se deben entregar los resultados logrados a las instituciones que constituyen actores ya definidos, permitiendo su conocimiento y utilización en las condiciones actuales de recuperación y ante futuros desastres.

La investigación permite incursionar en campos paralelos a los temas tratados como los aspectos sociales y culturales, los que pueden ser profundizados y pueden contribuir al enriquecimiento de los resultados obtenidos.

Debe tenerse en cuenta en los aspectos económicos abordados, su posterior actualización y seguimiento, partiendo de las circunstancias actuales y los procesos de cambios económicos que se llevan a cabo en el país y en el mundo.

### **23.6 Agradecimientos**

Esta investigación y sus resultados se derivan del proyecto financiado por PROMEP, en el marco del programa de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos (convocatoria 2011-2012), IDCA 4216 y reflejan el trabajo realizado sobre las líneas de investigación que cultiva el Cuerpo Académico 115, "Hábitat para entornos sostenibles".

La actualidad y pertinencia sobre el tema nos compromete a seguir, sobre la base de los resultados expuestos, con el estudio de esta temática que lamentablemente adquiere cada día mayor relevancia por el incremento en la frecuencia y magnitud de las afectaciones.

Agradecemos también a las Instituciones vinculadas, a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba, por su apoyo y a quienes de manera directa o indirectamente contribuyeron con sus aportaciones.

### **23.7 Referencias**

Argüello-Rodríguez, M. (2004). *Riesgo, Vivienda y Arquitectura*.

Argüello-Rodríguez, M. (2006). *Gestión de la vivienda en riesgo: de la emergencia a la reconstrucción*. Instituto de arquitectura tropical.

Artiles, D., Olivera, A., Gonzalez, G., & Santiago, G. (2013). *El hábitat en riesgo de desastre natural. Ira edición. México. Editorial Feijoo y BUAP.*

Cardona, O. (2003). *Gestión integral de riesgos y desastres.* Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

CIDEM (2004). *Relatoría. Seminario sobre la Herramienta de Evaluación de la Sostenibilidad en la Construcción (SBET)* [en disco compacto]. Santa Clara: CIDEM.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2003). *Manual para la evaluación del impacto socio-económico y ambiental de los desastres.*

Duyn, J. (2002). *Housing reconstruction in Tamil Nadu one year after the Tsunami.* Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana.

Jha, A., et al. (2010). *Safer Homes, stronger Communities: A handbook for reconstructing after natural disasters.* Washington: International Bank for Reconstruction and Development, World Bank.

Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, A., Bartolomé, M., & Caputo, G. (2002). *Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo.* 10 años de La Red.

Maskrey, A. (1993). *Los Desastres No Son Naturales.* La Red.

Olivera, A. (2009). *¿Emergencia vs Sustentabilidad?: Encrucijada tecnológica de los proyectos de recuperación temprana en el hábitat construido.* Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Olivera, A. y González, G. (2010). Enfoque multidimensional de la reconstrucción post-desastre de la vivienda social y el hábitat en países en vías de desarrollo: estudios de casos en Cuba.

*Revista de la Construcción*, vol. 9, núm. 2, pp. 53-62.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. (2008). *Evaluación de las necesidades ambientales en situaciones post-desastre. Metodología práctica para su ejecución.*

PROGRAMA REGIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO EN AMÉRICA CENTRAL. (2003). *Gestión local del riesgo: nociones y precisiones entorno al Concepto y la Práctica.*

## **Caracterización de harina de Yuca (Manihot esculenta) como materia prima para la elaboración de Pastel**

Moisés Mata & María Vázquez

M. Mata & M. Vázquez

Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, Avenida Universidad Tecnológica Lote Grande No 1, sin colonia CP 96360. Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz.

Moisesmg2000@hotmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

In this paper cassava (*Manihot esculenta*) was obtained by two methods of porridge and grated, which characterized by the jurisdiction physicochemical parameters and then spiked in the formulation of cakes. The flour had a pH of 6.36 and 6.21, 0.29 and acidity of 0.32%, humidity of 13%. Solutions flour showed viscosity values of 1616.67 and 1276.67 Cp, oil retention values of 1.05 mL / g were observed. The content of fats and oils exhibited values of 0.0033%, ash 1.63 and 1.15%, the swelling power was 0.10 and 2.30. Flour was analyzed by infrared spectroscopy and seobservaron typical bands. The starch granules in the flour were observados. Los cakes made with cassava flour acceptability presented the judges with a probability of 0.001.

## 24 Introducción

Hoy en días los avances logrados en los últimos años en el desarrollo de variedades de yuca con alto potencial de rendimiento ayudan a mejorar la productividad y la competitividad del cultivo, incrementando el consumo en la industria alimentaria (Vargas, 2010; Alvarado y Cornejo, 2009 y Benitez et al., 2008). La producción mundial de yuca en el 2012 fue 282 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 7 por ciento con respecto al volumen de 2011, la mayoría de la producción se encuentra en África, donde crecen 99.1 millones de toneladas, 51.5 en Asia y 33.2 en América Latina. En México, 79.80% de la producción nacional de yuca se concentra en el estado de Tabasco.

La yuca es un tubérculo con alto contenido de carbohidratos por lo que representa una importante fuente energética, en Veracruz este tubérculo es consumido de forma artesanal en la elaboración de pan, dulce y adicionado en diferentes patillos típicos del estado. Sin embargo no ha sido aprovechado en el área de alimentos ya que por sus propiedades (alto contenido de carbohidratos) tiene gran potencial para ser comercializado como harina para ser utilizado en la industria de la confitería en la elaboración de pasteles.

La yuca se puede transformar en alimentos de alto valor agregado, tales como productos fritos u horneados como pan (Rodríguez et al., 2006).

La yuca se puede procesar para obtener harina de calidad que aminore la dependencia de los granos importados” (Rendón et al. 2012), ya que el método de obtención de la harina de yuca presenta ventajas: es de fácil obtención, puede realizarse de forma artesanal, es considerablemente económica que su contraparte de trigo, es nutritiva, sabrosa al paladar y conserva gran parte de su sabor, color durante largos periodos. Además la yuca está disponible en cualquier temporada y durante el proceso de deshidratación tiene una pérdida mínima de sustancias nutritivas además, puede ser consumida por personas con intolerancia al gluten (Hoover, 2001).

El propósito de este trabajo es caracterizar la harina de yuca obtenida por dos métodos rallado y papilla, para la elaboración de pastel y evaluar la aceptabilidad en un grupo de jueces no entrenados

### 24.1 Metodología

La yuca (*Manihot esculenta*) fue comprada en un supermercado de la ciudad de Nanchital Veracruz.

### Proceso de obtención de la harina

Por el método de papilla: La yuca fue lavada, pelada, trozada y molida hasta obtener una papilla que posteriormente fue exprimida con una telay secada a temperatura ambiente, una vez seca realizó una segunda molienda para obtener un polvo fino el cual se tamizó utilizando una malla de 60  $\mu\text{m}$ , una vez obtenida la harina se empaquetó en bolsas ziploc.

Por el método de rallado: el método consistió en lavar, pelar, rebanar la yuca en forma de chips y ponerla a secar en una estufa a 55 °C, a continuación se molió y se tamizó para que finalmente fuera empacada.

### Determinación de pH

La determinación del pH se llevó a cabo aplicando el método 943.02 de la *AOAC*, se utilizó un pHmetro marca Hanna Instruments pH 211 que anticipadamente se calibró, la determinación se realizó a partir de 5g de harina de yuca, disolviéndola en un vaso precipitado con 10 mL de agua destilada.

### Determinación de Acidez

La determinación de acidez se llevó a cabo bajo la (NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002).

Para la elaboración de este análisis se tomó una muestra de harina de 5gr y se procedió a diluir en 100 mL de agua en un vaso de precipitado de 200 mL. Posteriormente se le agregó 3 gotas de fenolftaleína y luego se procedió a titular con hidróxido de sodio. Después del vire se procedió a realizar los cálculos para lo cual se tomaron los mL gastados de hidróxido de sodio.

Para poder calcular este parámetro utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez} = \frac{\text{Volumen de NaOH}}{\text{gr de harina}} \quad (24)$$

### Microscopio

Se tomó una cantidad pequeña de la harina a analizar en un portaobjetos, posteriormente se añadió una gota de agua y se esparció sobre el portaobjetos, se recubrió con una solución de yodo-lugol al 1% durante 8 minutos para luego eliminar el exceso con papel filtro, se tiñó con violeta de genciana al 1% por tres minutos y se lavó con alcohol y al final con agua (Sílvoli et al., 2012).

### Viscosidad

La viscosidad se determinó mediante el método de Grace, 1977, utilizando un viscosímetro Brookfield modelo DV-E Stuttgart Alemania, la solución se preparó a partir de 10 gramos de harina en 400 mL de agua destilada. La lectura fue tomada con 7 agujas, a 4 temperaturas; 23°C, 40°C, 50°C y 60°C, y a velocidades de 10, 20, 30, 50, 60 y 100rpm

### Retención de aceites

Para la retención de aceites se utilizaron 10mL de aceite y 1gr de harina, se centrifugo a 3000g durante 30 minutos (Kaur y Singh, 2005).

La capacidad de retención de aceite se expresó como mL de aceite absorbidos por g de producto. Se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\text{Retención de aceite} = \frac{\text{mL de aceite retenido}}{\text{gr de la muestra}} \quad (24.1)$$

### Grasas y aceites

Se determinó utilizando el método de la norma NMX-F-215-SCFI-2006 con el método de Soxhlet.

Fueron utilizados 8 gr de harina para el análisis.

Se utilizó como solvente benceno. Se destiló hasta obtener 20 reflujos. El % de grasas y aceites se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa y aceite} = \frac{\text{Peso matraz con muestra} - \text{Peso matraz vacío}}{\text{gr de muestra}} \quad (24.2)$$

### Cenizas

Para la determinación de cenizas se realizó a partir de 5 g de harina basándose en la norma NMX-F-066-S-1978. Para el cálculo de cenizas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P-p) \times 100}{M} \quad (24.3)$$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

### Poder de hinchamiento

Para determinar el poder de hinchamiento se utilizó el método de Tosh y Yada., 2010 y Umaña et al., 2012 con algunas modificaciones. A 1.50g de harina se le adiciono 30 ml de agua destilada precalentada a 60°C, se calentó la mezcla a baño maría durante 15 min., posteriormente se centrifugó 3000 rpm durante 20 min. a temperatura ambiente, inmediatamente se decantó y se midió el volumen, 10 mL del sobrenadante se colocó en un vaso de precipitado de 50 mL para secarlo en un horno por 5 horas.

El poder de hinchamiento se determinó de acuerdo a la ecuación.

$$\text{Poder Hinchamiento} = \frac{\text{Peso gel (gr)}}{\text{Peso de muestra gr} - \text{Peso seco sobrenadante (gr)}} \quad (24.4)$$

## IR

Las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro marca Spectrum One FT-IR (Perkin Elmer, Shleton USA) (Henrique *et al.*, 2007).

## Humedad

La determinación se realizó a partir de 5 gr de haría, se utilizó una termo balanza marca Denver Instrument IR 35 (Denver, Colorado USA), se programó a una temperatura de 130°C durante 60 minutos, se tomaron lecturas en intervalos de 4 minutos. La cantidad de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

## Análisis sensorial

Para determinar el análisis sensorial se llevó a cabo el método mencionado por Benítezet al., 2008. Se evaluó el nivel de agrado del pastel elaborado a base de harina de yuca rallada comparado con pasteles elaborados con harina trigo, mediante una escala hedónica estructurada por 9 puntos.

**Tabla 24** Escala hedónica de nueve puntos para evaluar el nivel de agrado

Puntaje	Escala de medición
9	Gusta en extremo
8	Gusta mucho
7	Gusta moderadamente
6	Gusta ligeramente
5	Ni gusta, ni disgusta
4	Disgusta ligeramente
3	Disgusta moderadamente
2	Disgusta mucho
1	Disgusta en extremo

En esta evaluación participó un panel de 50 jueces no entrenados con edades comprendidas entre 19 y 22 años. Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA).

## 24.2 Resultados

En la tabla 2 se muestran los valores promedios de pH, acidez, cenizas, grasas y aceites y retención de aceite que se obtuvieron en las muestra de harina obtenida por dos métodos.

**Tabla 24.1** Valores promedios de pH, acidez, cenizas, grasas y aceites y retención de aceite en muestras de harina obtenidas por el método de papilla y rayado

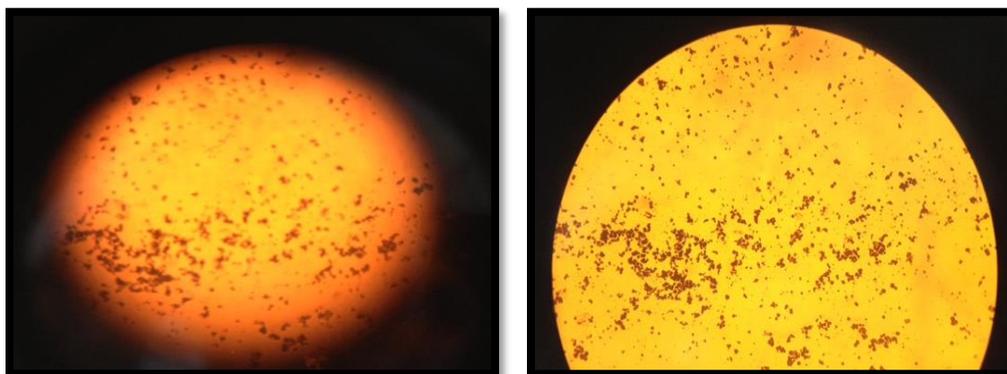
Método de obtención de harina	pH	Acidez (%)	Cenizas (%)	Grasas y aceite (%)	Retención de aceite (mL/g)
Papilla	6.36	0.29	1.15	0.003325	1.05
Rayado	6.21	0.32	1.63		

Los valores obtenidos de pH son aproximados a los reportados por Alvarado y Cornejo(2009) en harina de trigo. Con respecto a los valores de acidez la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 define a la harina con un límite permisible de 0.32% de acidez, encontrándose los valores obtenidos de acidez dentro de este rango. Los valores promedios de cenizas en el método de rayado se encontraron dentro de los límites máximos permisibles que establece el método AOAC 923.03 los cuales son de 1.3 a 1.75. Benitez et al., 2008, reportan valores más altos de porcentaje de ceniza de harina de yuca 2.58 por otra parte Castaño et al., 2012 mencionaron en su estudio valores de 2.15. En ambas harinas obtenidas por los diferentes métodos se mostró valores promedios de grasas de 0.003325%. Valores superiores fueron reportados por Benitez et al., 2008 de 0.61 % en harina de yuca. Los valores obtenidos de retención de aceites fueron de 1.05 mL/g, similares a los obtenidos por Kaur y Singh (2005) y Wang y Toews 2011 en harina de garbanzo de 1.16 a 1.05 ml/g. La capacidad de retención o absorción de aceite de harinas es importante, ya que tiene un efecto en la sensación en la boca y en el sabor (Kinsella, 1976); Según Kaur y Singh (2005).

### Microscopio

En la determinación microscópica se observaron muchos gránulos en formas elípticas y redondeadas (figura No. 1) de color violeta con un sombreado central característico de los gránulos de almidón de harina de yuca. Navia et al., 2010 y Sívoliet al., 2012 mencionan que se puede observar en el microscopio gránulos de almidón en forma perfecta o semi-perfectamente elípticas y redondeadas.

**Figura 24** Harina de papilla secado natural (a); harina de rallado secado natural (b) observados a 40X con un microscopio compuesto



## Viscosidad

El análisis de la viscosidad se realizó con el viscosímetro Brookfield modelo DV-E Stuttgart Alemania, utilizando como muestra 10g de harina, disolviéndola con 400 mL de agua destilada.

La solución de harina de yuca obtenida por el método de papilla a 60°C, con la aguja número 7 obtuvo el punto mayor de 1276.67 Cp, mientras que la harina de yuca obtenida por el método de rallado a la misma temperatura y aguja presentó un valor de viscosidad de 1616.67 Cp, ambas a una velocidad de 20 rpm (Tabla3).

Aristizabalet al., 2007, informan que el almidón de yuca debe alcanzar un valor de 1480 Cp a una temperatura entre 62 °C a 73°C, para una fácil cocción y requerir menos consumo de energía durante su cocción.

**Tabla 24.2** Determinación de viscosidad de la harina de yuca a 23, 40, 50 y 60°C a diferentes rpm (10, 20, 30, 50, 60, 100)

VELOCIDAD (rpm)	MÉTODO DE PAPILLA				MÉTODO DE RALLADO			
	23°C	40°C	50°C	60°C	23°C	40°C	50°C	60°C
10	3166.67	2056.67	2233.33	2548.33	3566.67	2200.00	2483.33	2616.67
20	1343.33	1920.00	1886.00	1276.67	1443.33	1833.33	1865.00	1616.67
30	898.33	945.00	1358.33	1122.33	853.33	953.33	1406.67	1443.33
50	567.33	631.00	780.00	780.00	641.33	693.33	803.33	884.33
60	391.67	426.67	500.00	572.67	346.67	413.33	493.33	665.67
100%	272.67	181.67	246.67	343.33	275.00	185.33	283.33	373.33

## Poder de hinchamiento

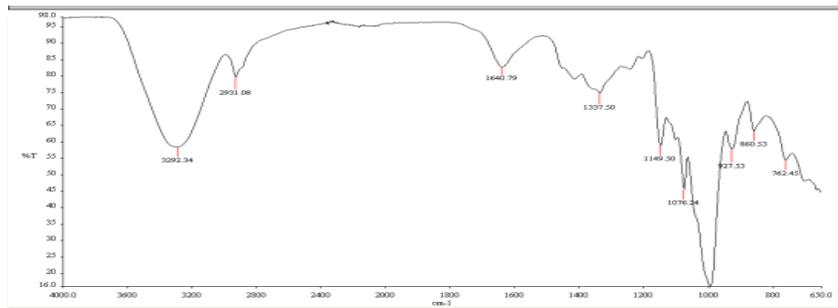
El poder de hinchamiento es la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. Se presentó valores de poder de hinchamiento de 0.10 para la harina obtenida por el método de papilla y valores de 2.30 en harina obtenida por el método de rallado. Umaña et al. 2012 reportaron valores de poder de hinchamiento en harina de Teff de  $3.33 \pm 0.011$ . Este incremento en los valores puede ser probablemente al alto contenido de grupos fosfatos, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del granulo (Hoover, 2001), el contenido de grasa en la harina (Singh et al. 2005) o por el contenido de ibra presente en la harina Umaña et al., 2012.

Los valores de capacidad de retención de agua (Rangel et al., 1997, Márquez et al., 2005) permitirán que la harina sea utilizada en la formulación de alimentos para consumo humano Marquez et al., 2006.

## IR

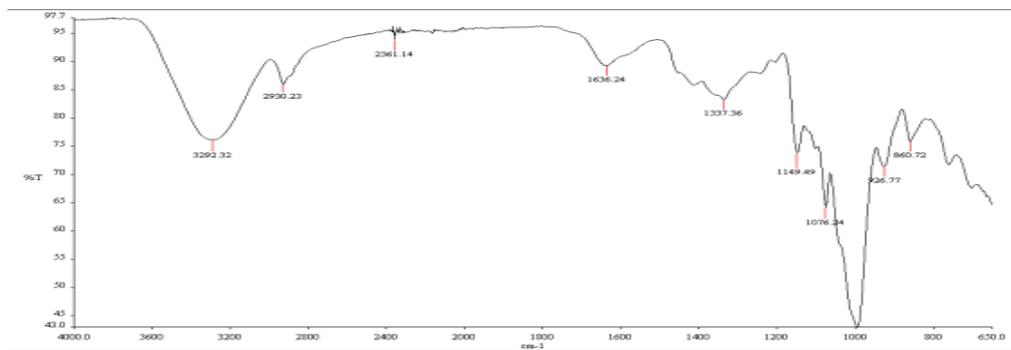
Los siguientes picos fueron observados en la harina de yuca obtenida por el método de papilla: la primer banda característica es de estiramientos de la unión del O-H, ya que se encuentra en una intensidad entre  $3292\text{ cm}^{-1}$ ,  $2931\text{ cm}^{-1}$  se presenta vibraciones de estiramiento de la unión de C-CH<sub>2</sub>-C,  $1640\text{ cm}^{-1}$  (H<sub>2</sub>O vibraciones de flexión), también se presentan las bandas correspondiente a la amilosa  $1076.24\text{ cm}^{-1}$  y la amilopectina  $928\text{ cm}^{-1}$ . Estas bandas coinciden con lo reportado por Quintero *et al.*, 2012

**Figura 24.1** Espectro de la harina, método de papilla



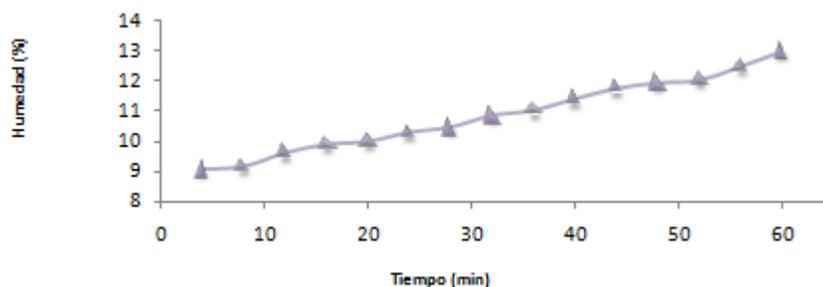
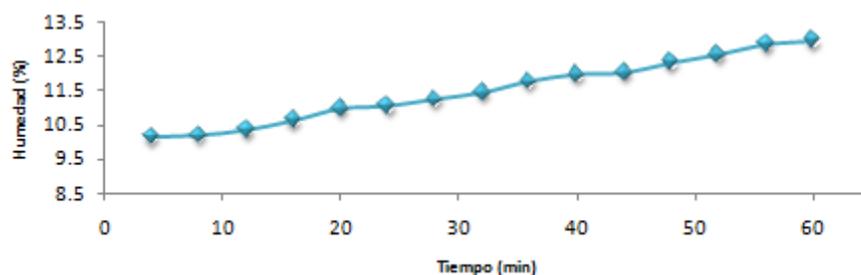
En cuanto a la harina obtenida por el método de rallado se presentaron los picos observados en la harina obtenida por el método de papilla, sin embargo se observó una menor intensidad en las bandas donde se presentan los estiramientos de la unión del O-H.

**Figura 24.1** Espectro de la harina obtenida por el método de rallado



## Humedad

Se determinó la humedad (ver figura 4 y 5) de la yuca utilizando termo balanza dando como resultado un valor de 79.65%. Montalvo (1972) reporta valores más bajos de humedad e yuca fresca de 61%. Con respecto a la harina obtenida por el método de papilla y rallado se obtuvo un valor de humedad de 13 %, este valor se encuentra entre los límites establecidos por la norma oficial mexicana NOM-116-SSA1-1994, que indica un rango humedad de 1 a 15% en harinas. Los valores reportados por Alvarado y Cornejo (2009) de humedad de 12. 8% son aproximados a los obtenidos.

**Figura 24.2** Humedad de harina obtenida por el método de papilla**Figura 24.3** Humedad de harina obtenida por el método de rallado

### Análisis sensorial

Al comparar la aceptación de pasteles elaborados con harina de yuca por el método de rallado y con harina de trigo, los resultados de la evaluación sensorial mostraron que los jueces ubicaron el nivel de agrado en “gusta ligeramente” los pasteles elaborados con harina de trigo. Mientras que los pasteles elaborados con harina de yuca fueron ubicados por los jueces en el nivel de agrado “me gusta mucho”. Los pasteles elaborados con harina de yuca presentaron mayor aceptación ( $p < 0.05$ ). Esto concuerda con lo reportado por Akubor y Ukwuru, 2003, ya que en su estudio mencionan que la harina de yuca mejorar el sabor y la textura de gasa y bizcochos.

### 24.3 Conclusiones

De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos obtenidos en las muestras de harina de yuca y los resultados obtenidos de la evaluación sensorial en los pasteles formulados con harina de yuca y trigo concluimos que la yuca es un tubérculo que puede ser procesado en harina para ser utilizado en la industria de los alimentos como sustituto de harina de trigo, lo cual permitirá aprovechar este tubérculo en la región del Sur de Veracruz.

### 24.5 Referencias

Alvarado, T. G. y Cornejo, Z. F. 2009. Tesis: Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Igalvara@espol.edu.ec.

Akubor, P.I, Ukwuru, M.U., 2003. Functional properties and biscuit making potential of soybean and cassava flour blends. *Plant Foods for Human Nutrition*. 58, 1-12.

AOAC (2005) Official Methods of Analysis. 20th ed. Association of official Analytical Chemists. Gaythersburg, MD. EEUU. 1110-1117.

Aristizabal, J.; Sánchez, T.; y Mejía, L. D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación Roma. ISBN 987-92-5-305677-4.

Benítez, B.; Archile, A.; Rangel, L.; Ferrer, K., Barboza, Y. y Márquez, E. 2008. Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*. Vol. 33 No1. 61-65.

Berry, S. S., 1993. Socio-economic aspects of cassava cultivation and use in africa implication for development of appropriate technology. COSCA Working Paper No 8, Collaborative Study of Cassava in Africa. IITA. Ibadan, Nigeria.

Castaño, P.H. Mejía, G. C. y Ríos, M. O. 2012. Producción de etanol a partir de harina de yuca utilizando diferentes estrategias en modo continuo. *Producción + Limpia* Vol 7 No 1, 88-100.

FAO. 2012. Perspectivas alimentarias, análisis del mercado mundial. Noviembre de 2012. ISSN 1564-2798.

Recuperado <http://www.fao.org/docrep/017/al993s/al993s00.pdf>

Fonseca, L. J. M.; y Saborío, A. M. 2001. Tecnología post cosecha de yuca fresca parafinada (*Manihot esculenta Crantz*) para exportación en Costa Rica. Ministerio de agricultura y ganadería Sistema Unificado de Informacion Institucional. Aprobada su publicación en sesión No. 8 de fecha 16 de marzo 2001. ISBN: 9977-9921-7-7.

Grace, M.R. 1977. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. pp.116.

Henrique, C. M.; Cereda, M. P. y Dupuy, N. 2007. Análisis del Color, Transparencia e Infra-Rojo de las Películas del Almidón Modificada de Yuca. *Agronomía Tropical* 57 (1). 25-30.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Elsevier Appl. Sci. Carboh. Poly.* 45:253-267.

Kaur, M. y Singh, N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Food Chemistry* 91. 403-441.

Kinsella, J. E. 1976. Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7, 219-232.

Márquez E, Bracho M, Archile A, Rangel L, Benítez B. 2005. Proteins, isoleucine, lysine and methionine content of bovine, porcine and poultry blood and their fractions. *Food Chemistry* 93: 503-505.

Marqu ez, E.; Ar evalo, E.; Barboza, Y.; Ben itez, B.; Rangel L. y Rchile, A. 2006. Formulación de un embutido con agregados de piel de pollo emulsificada con sangre de bovino. *Rev. Científica FCV-LUZ* 4: 438-444.

NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimiento donde se procesa. Especificaciones sanitarias. Métodos de pruebas.

[http://www.aladi.org/nsfaladi/normasTecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/41d830e5d4bd8b63032579e500637adb/\\$FILE/NOM%20N%C2%B0%20187-2002.pdf](http://www.aladi.org/nsfaladi/normasTecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/41d830e5d4bd8b63032579e500637adb/$FILE/NOM%20N%C2%B0%20187-2002.pdf)

NMX-F-215-SCFI-2006 alimentos- aceites y grasas vegetales o animales- determinación de impurezas insolubles – método de prueba (cancela a la nmx-f-215-1987).

NMX-F-066-S-1978. Determinación de Cenizas en Alimentos. Food Stuff Determination of Ashes. Normas Mexicanas

Paola, N. D.; Samuel, V. H.; y Andrés, T. G. 2010. Caracterización morfológica de harina de siete variedades de yuca y polvillo de fique por microscopia óptica de alta resolución- Moar-. Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol. 8 No 2 Julio-Diciembre. 79-85.

Quintero, C. V., Giraldo, G. G., y Lucas, A. J. 2012. Modificación del almidon de yuca por *A. niger*. *Vitae* 19 (supl 1). 177-179.

Rangel, L. Archile, A. Castejón, O, Izquierdo, P, Márquez, E. 1995. Utilización del tripolifosfato como anticoagulante y su efecto sobre las propiedades emulsificantes del plasma. *Revista Científica-Facultad de Ciencias Veterinarias* 2: 111-116.

Rendón, O.; Garzón, C.; Alonso, L. y Vélez, C., 2012. Influencia del momento de aplicación de un recubrimiento en la conservación de yuca. *Información Técnica (Colombia) Edición 76, Enero-Diciembre* , pag. 26-31. [inftec.metabiblioteca.org/index.php/inf\\_tec/article/download/49/43](http://inftec.metabiblioteca.org/index.php/inf_tec/article/download/49/43)

Rodríguez, S. E.; Fernández, Q. A.; Alonso, A. L. y Ospina, P. B.; 2006. Reología de suspensiones preparadas con haría de yuca. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte* 19. 17-30.

S lvoli, I. Pérez, E. y Rodríguez, P. 2012. Análisis estructural del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Revistas de la Facultad de Agronomía Luz.* 29: 293-313.

Singh, N. Kaur, M. 2005. Studies on functional, termal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry* 91, 403-411.

Tosh, S.M.; Yada, S.; 2010. Dietary fibres in pulse sedes and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International* Sep 10. 450 (2). 460-43.

Vargas, A. P. 2010. Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta crantz*) variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería. *Tecnología en marcha.* Vol.23 No 3, Julio- Septiembre, 15-23.

Umaña, G. J.; Restrepo, L. I.; Lopera, S. M. y Gallardo, C. C. 2012. Caracterización de harina de Teff (*Eragrostis tef*) como materia prima alternativa para panificados libre de gluten. Vitae 19 (Supl.1).

Wang, N. Toews, R. 2011. Certain physicochemical and functional properties of fibre fractions from pulses. 2011. Food Research International 44, 2515-2523.

## **Caracterización de soportes de aluminosilicatos ácidos elaborados en el laboratorio de química de superficies y análisis industrial de la Universidad Autónoma de Zacatecas para su posible utilización en la industria del petróleo**

Edna Rosales, Javier Aguayo, Manuel Macías, María Aguayo, Pablo Ibarra, Sara González

E. Rosales, J. Aguayo, M. Macías, M. Aguayo, P. Ibarra, S. González.

Programa de Ingeniería Química, UACQ, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carr. Zacatecas-Guadalajara Km. 6, Ejido “La Escondida”, Zacatecas, Zac, C.P. 98160, MÉXICO.

milied0722@hotmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

The State of Zacatecas is rich in metallic and non-metallic mineral deposits natural resources that are not yet exploited, such as kaolin that have desired structure and composition can be used either as a makeup base, building material or as a catalytic support.

The conditions of heat and chemical treatments for use as catalytic materials used in catalytic disintegration of refinery plants, were additionally studied to learn about its structure and chemical composition were diffraction techniques and x-ray fluorescence, as well as selective Chemisorption of Gases, helping the economy gives the region.

## 25 Introducción

Un catalizador es un material que puede modificar la reacción sin formar parte de los productos, dependiendo de las características de los soportes usados en la producción de este catalizador se obtendrán propiedades y afinidades diferentes al momento de reaccionar como nos dice José Felipe Izquierdo (2004). Una de las propiedades más importantes de los catalizadores es la acidez superficial de esos materiales sólidos, que depende en gran medida de los centros activos que forma el soporte del catalizador, ya sean centros de Brönsted (con capacidad de liberar protones) o centros de Lewis (con capacidad de capturar electrones) según Olgúin, M. T (2003) y López, J. (2000), ya que dependiendo de cuál sea esta se tienen aplicaciones importantes desde el punto de vista industrial.

Un soporte catalítico debe poseer además de alta área superficial, estabilidad térmica y química y resistencia mecánica darle un mayor tiempo de vida dentro del reactor. Sus propiedades están fuertemente afectadas por cada una de las etapas de preparación, junto con la calidad de las materias primas empleadas como argumenta Lausell Borja, J. V (2001). En la actualidad aproximadamente el 75% de los procesos industriales emplean catalizadores, y es sabido que las innovaciones tecnológicas en la industria se deben en gran medida al desarrollo de nuevos catalizadores y soportes catalíticos, esto en base a Chamba, L. (2005). Es por esto que se considera necesario buscar un material con características mejores para su posible comercialización. En el Estado de Zacatecas hemos encontrado que en la Localidad de San José de Ranchos del municipio de Sombrerete existe un yacimiento de caolín que actualmente está poco explorado debido a que no se conoce la composición y calidad del mismo.

En el presente trabajo se presentan la caracterización de los soportes preparados a partir de este caolín en el Laboratorio de Química de Superficies y Análisis Industrial de Universidad Autónoma de Zacatecas con los resultados obtenidos en el Instituto Mexicano del Petróleo de la caracterización de los soportes preparados el Laboratorio de Química de Superficies y Análisis Industrial de la Unidad Académica de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

### 25.1 Metodología

Las muestras de aluminosilicato se homogeneizaron y fueron sometidas al siguiente tratamiento térmico.

**Tabla 25** Tratamiento térmico del colín

Incremento de temperatura	350°C	400°C	450°C	500°C
Caolín "E"	6.5h	10h	3h	2h

La caracterización se llevó a cabo por medio de Difracción de Rayos X y por Fluorescencia de Rayos X; estos estudios se realizaron en el Instituto Mexicano del Petróleo en el Laboratorio de Catálisis Combinatoria, en este se uso el equipo Difractómetro de Rayos X D-500-Siemens y el equipo de Fluorescencia FRX-S2 Ranger de 28 posiciones.

## 25.2 Resultados

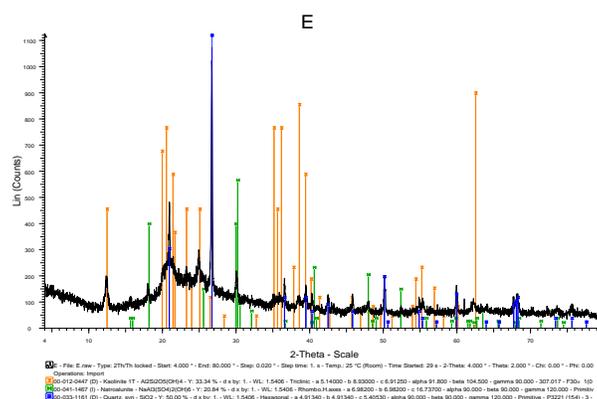
A partir de la prueba de florescencia se pudo obtener la composición química (tabla 2), donde podemos ver la comparación de la composición de este caolín con un caolín estándar, (KAOLIN CLAY).

**Tabla 25.1** Composición de Caolines E y Clay

Compuestos (%)	Caolín E	Kaolin Clay	Compuestos (%)	Caolín E	Kaolin Clay
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.24	44.26	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.00
SiO <sub>2</sub>	36.92	47.87	ZrO <sub>2</sub>	0.01	0.05
SO <sub>3</sub>	9.93	0.37	SnO <sub>2</sub>	0.01	0.02
Na <sub>2</sub> O	6.06	0.00	ZnO	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	1.91	0.27	CoO	0.01	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.39	1.94	NiO	0.01	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.05	0.69	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.55	3.97	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.03
Cl	0.37	0.43	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02
CaO	0.22	0.00	PbO	0.00	0.01
BaO	0.21	0.00	CuO	0.00	0.01
SrO	0.05	0.01	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.01

El caolín E se amorfizó con el tratamiento térmico como se muestra en el difractograma.

**Figura 25** Difractograma de la muestra E, donde se pueden apreciar la amorfización de este caolín



### 25.3 Conclusiones

De acuerdo al análisis se pudo observar que el tratamiento térmico de 21.5 horas, con los diferentes incrementos de temperatura hasta llegar a 500°C vuelve al material amorfo; esto hace que el área superficial aumente y hace que sea viable para utilizarlo como soporte catalítico.

Los resultados de composición del caolín muestran que no está lejano de los porcentajes de compuestos que forman los colines comerciales, además que es rico en compuestos óxidos, siendo esto no un obstáculo en su utilización. El análisis de la caracterización nos dice que se trata de un sólido ácido, esto hace viable que pueda ser utilizado como catalizador en plantas de desintegración catalítica de hidrocarburos.

### 25.4 Referencias

José Felipe Izquierdo, “Capítulo 5 Reacciones catalizadas por sólidos”, Cinética de las reacciones químicas, Ediciones de la Universidad de Barcelona, p. 143-149, 2004, ISBN 8483384795.

Olgúin, M. T. “Zeolitas características y propiedades” Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Depto. de Química, A. P. 18-1027, 2003, México.

López, J. (2000). Las arcillas como minerales industriales: caolines, bentonitas y arcillas especiales. Discurso, academia de ciencias exactas, físicas, químicas y naturales de Zaragoza. <http://www.unizar.es/acz/02AcademicosNumerarios/Discursos/Gonzalez.pdf> (noviembre 2012)

Lausell Borja, J. V (2001). Análisis microestructural de caolinitas y génesis de caolines en el Macizo Ibérico. Coruña. Vol. 26, pp. 11-89.

Chamba, L. (2005) arcillas UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
<http://www.unl.edu.ec/educativa/wp-content/uploads/2010/06/RELIEVES-Y-VOLUMENES.pdf>  
 (noviembre 2012)

## **Análisis numérico-experimental del comportamiento mecánico de tutores producidos con PET**

Rodolfo Ponce, Víctor Santana, Armando Vázquez, Alfonso Toledo y Arturo Flores

R. Ponce, V. Santana, A. Vázquez, A. Toledo y A. Flores  
Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, C.P. 40030  
mecanica@utrng.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

This work details the analysis of the mechanical behaviour of tutors produced with PET (modified polyethylene), in a plastic injection machine located at the Technological University of the Northern Region of Guerrero. Instead of traditional wood sticks, plastic tutors are employed in crops of tomatoes.

Specifically, tensile and bending loads were applied to a tutor in a universal testing machine, to determine its mechanical properties such as yielding stress and elasticity modulus (Young modulus). On the other hand, numerical simulations were carried out by means of the Finite Element Method (FEM) using ANSYS Workbench® software, in order to know deeply the tutor's mechanical behaviour in load conditions.

## 26 Introducción

En el presente existen muchos problemas ambientales que aquejan a la humanidad, como la contaminación y la deforestación, y México no se encuentra exento de esta situación, debiendo mencionar que ya se empiezan a realizar acciones para combatir esta problemática.

Anteriormente estos contaminantes eran de carácter orgánico, pero con la industrialización de los procesos, se desechan materiales difíciles de degradar. Uno de estos materiales es el plástico, los cuales son polímeros que proceden del petróleo, gas natural, carbón y la sal común.

Actualmente los residuos sólidos se están reinsertando en el sector productivo como recurso, abatiendo de cierta manera la contaminación.

La deforestación generalmente es provocada por el hombre, debido a la tala en la industria maderera, agricultura, minería y la ganadería. Específicamente, para el cultivo de jitomate es necesario la utilización de varas que servirán de sostén para las plantas herbácea bienal, erecta o decumbente, y de tamaño variable.

Esto significa la utilización de arbustos denominado otates, los cuales suelen medir aproximadamente 2.5 metros de altura y se colocan a una distancia de 3 metros lineales, por lo que se requieren unas 3,000 varas (conocidos como tutores) por hectárea.

En el estado de Guerrero se siembran aproximadamente 664 hectáreas de jitomate, lo que equivaldría a cortar en un solo ciclo (2 ciclos/año) 1,992,000 arbustos de otate.

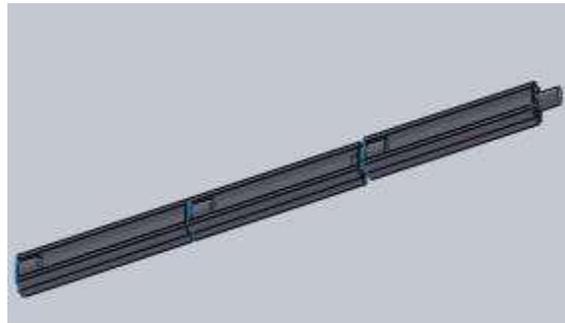
En la República Mexicana se siembra un promedio de 51,579 hectáreas, lo que equivaldría a cortar 154,737,000 arbustos de otate.

**Figura 26** Cultivo de jitomate empleando tutores



Para combatir estos problemas, la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, diseña y crea un tutor de plástico para el cultivo de jitomate, utilizando maquinaria y equipo para tal fin. Además, se fomenta una conciencia ecológica en la comunidad universitaria. Se recolectan las botellas de plástico que se consumen en las diferentes escuelas de los niveles de preescolar, primarias, secundarias y bachillerato. Una vez recolectadas estas botellas de plástico de Polietilentereftalato (PET), se clasifican y se procede a triturar en molinos, creando una hojuela de plástico de alrededor de 5 cm de diámetro, para posteriormente realizar una mezcla del PET con material virgen de plástico de polipropileno (PP) y producir así el tutor de plástico, utilizando una inyectora de plástico.

**Figura 26.1** Tutores de PET producidos en la máquina de inyección de plástico



Al tener un material nuevo, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas del tutor de plástico, por lo cual es necesario desarrollar la metodología para la determinación de dichas propiedades para garantizar su uso, factibilidad y aplicación en los cultivos de jitomate. Debido a ello, se hace necesario entonces realizar pruebas mecánicas y análisis numéricos para determinar cuál será el comportamiento de los tutores de plástico propuestos, una vez que sean sometidos a la carga y a las condiciones de trabajo de su entorno real. Por medio de la simulaciones numéricas se pueden ensayar los modelos tridimensionales de piezas y ensamblajes al mismo tiempo que se definen conceptualmente la geometría de los mismos.

Asimismo, se puede validar el diseño sin necesidad de fabricar un prototipo físico y tener conocimiento exhaustivo del mismo antes de su existencia. Se puede acortar el tiempo de definición de un producto con la certeza de que el diseño es el adecuado y que soportará las condiciones de uso a las que estará expuesto durante su uso (Gómez, 2010).

## 26.1 Metodología empleada

La metodología que se siguió en la realización de este trabajo, fue efectuar pruebas experimentales en una máquina con probetas de plásticos (tutor), y por otro lado, simulaciones numéricas en el software ANSYS Workbench®, con base en el Método del Elemento Finito. La finalidad es obtener un conocimiento más claro sobre las propiedades mecánicas del nuevo plástico obtenido.

### Método experimental

Con la finalidad de registrar y conocer las propiedades mecánicas del polietileno modificado a partir del PET, se realizaron pruebas con especímenes del tutor en la máquina de ensayos universal de la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero. Esta máquina permite obtener datos del material de la probeta que esta siendo ensayada. En este artículo se reportan los resultados obtenidos como producto de diferentes combinaciones de polietileno con otros injertos de plástico, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas del nuevo plástico obtenido, como por ejemplo, elevar el esfuerzo de ruptura. La siguiente figura muestra la máquina empleada para tal fin.

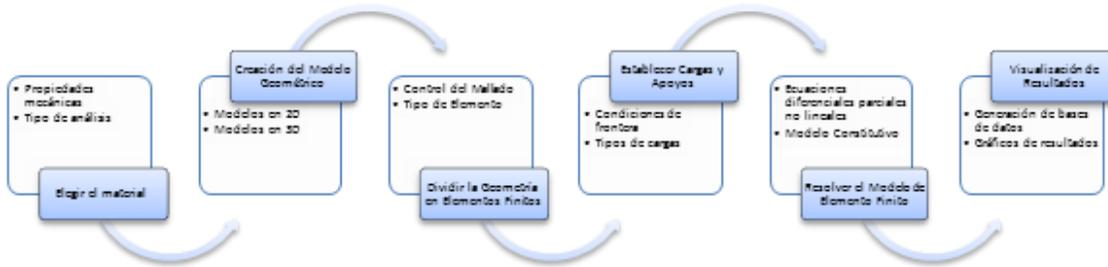
**Figura 26.2** Máquina universal de ensayos, marca Shimadzu modelo UH-300 kNI, con capacidad de carga de 300 kN



### Método numérico

El software ANSYS Workbench® es una implementación de las simulaciones de elementos finitos. Sus funcionalidades incluyen análisis estructurales, dinámica de fluidos, electromagnetismo, térmicos, etc. (Lee, 2010). La metodología de Elemento Finito consiste en varias etapas, como a continuación se describe en el esquema.

**Figura 26.3** Metodología del Elemento Finito



**26. 2 Resultados obtenidos**

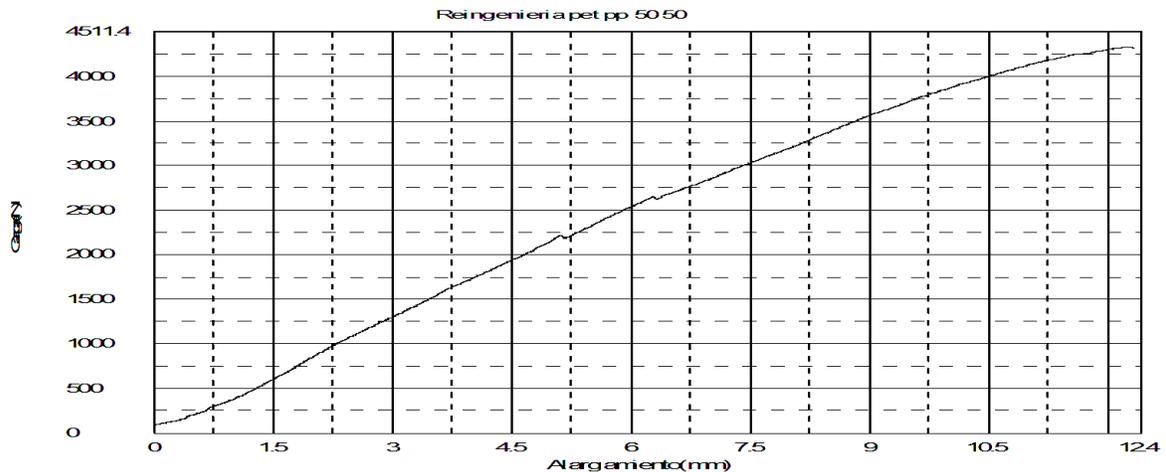
Las siguientes tablas y figuras presentan los resultados obtenidos al variar las proporciones de polipropileno con mezclas de otros plásticos. Se demuestra claramente el cambio en las propiedades mecánicas al realizar tal variación de componentes.

Resultados experimentales

**Tabla 26** Resultados experimentales de los especímenes del tutor

Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
N	mm	N/mm2	%	N	mm	N/mm2	%
4338.00	12.2680	7.88727	4.90720	4328.06	12.3180	7.86920	4.92720

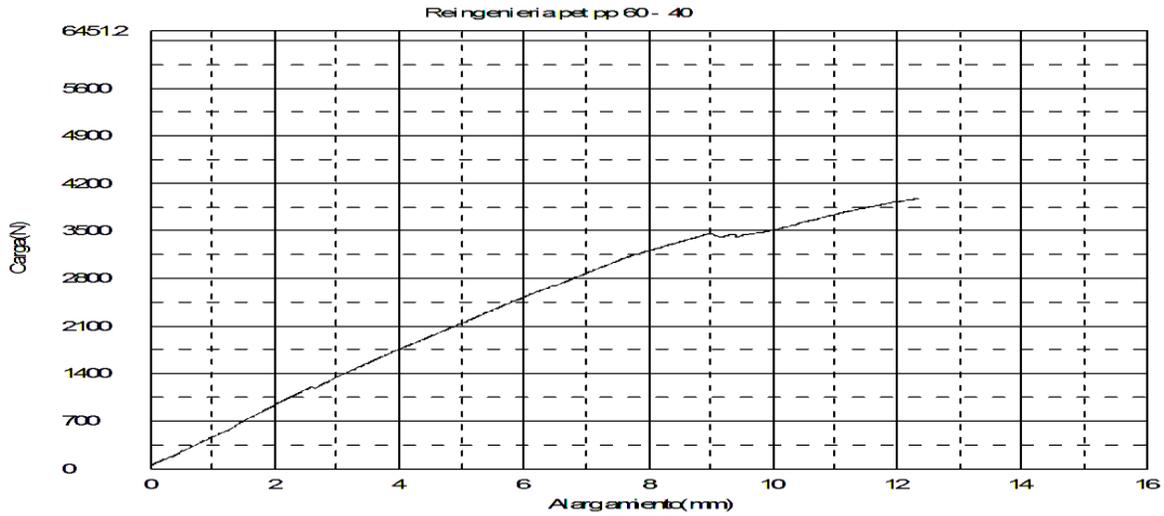
**Grafico 26** Prueba de Tensión a la Mezcla PET PP (polipropileno) 50-50



**Tabla 26.1** Resultados experimentales de los especímenes del tutor

Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
N	mm	N/mm2	%	N	mm	N/mm2	%
3988.31	12.3560	7.25148	4.94240	3988.31	12.3560	7.25148	4.94240

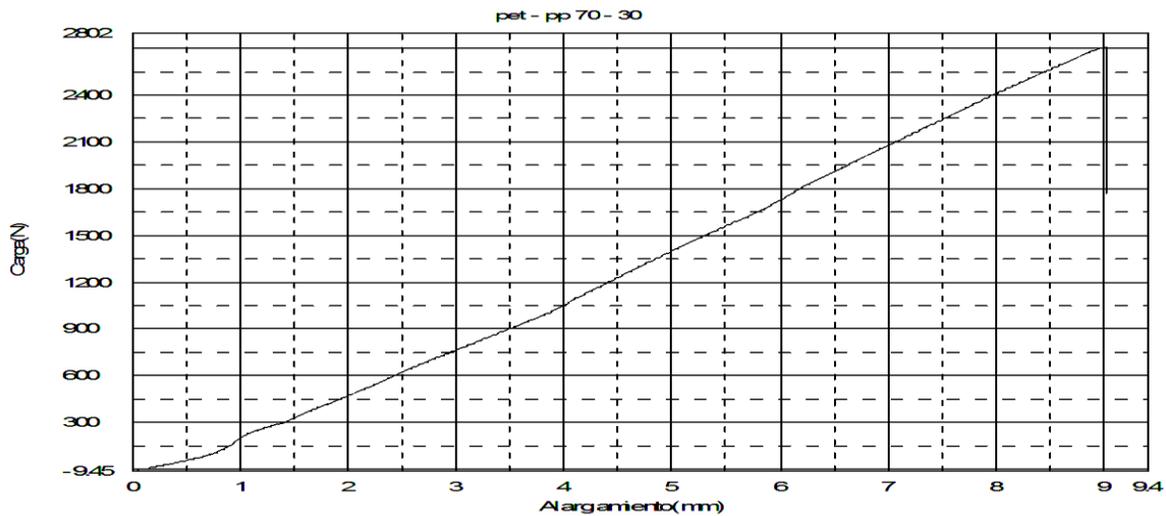
**Grafico 26.1** Prueba de Tensión a la Mezcla PET PP 60-40



**Tabla 26.2** Resultados experimentales de los especímenes del tutor

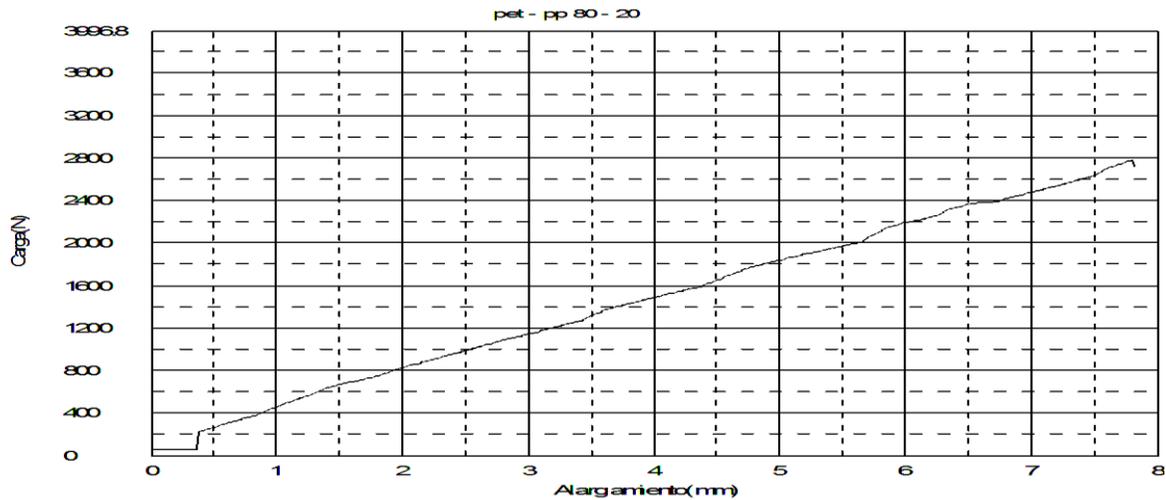
Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
N	mm	N/mm2	%	N	mm	N/mm2	%
2713.13	9.01600	4.71848	3.60640	1780.31	9.02600	3.09620	3.61040

**Grafico 26.2** Prueba de Tensión a la Mezcla PET PP 70-30



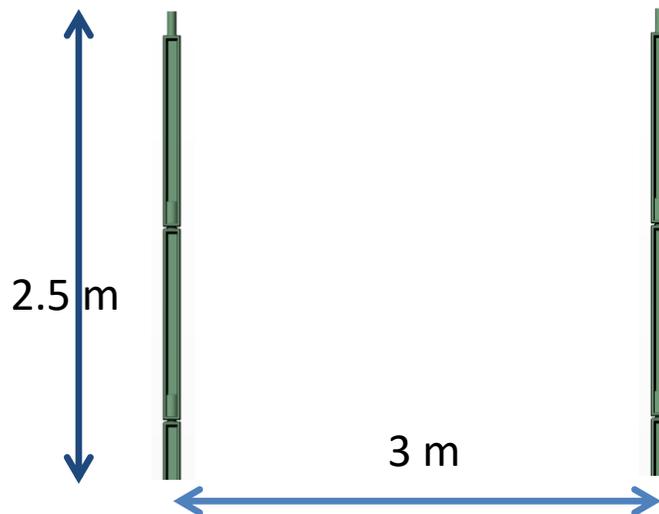
**Tabla 26.3** Resultados experimentales de los especímenes del tutor

Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
N	mm	N/mm2	%	N	mm	N/mm2	%
2786.06	7.80600	4.84533	3.12240	2734.13	7.82800	4.75500	3.13120

**Grafico 26.3** Prueba de Tensión a la Mezcla PET PP 80-20

Resultados numéricos

La siguiente figura presenta la colocación de los tutores tal y como se haría con varas de ocote en el cultivo de jitomates.

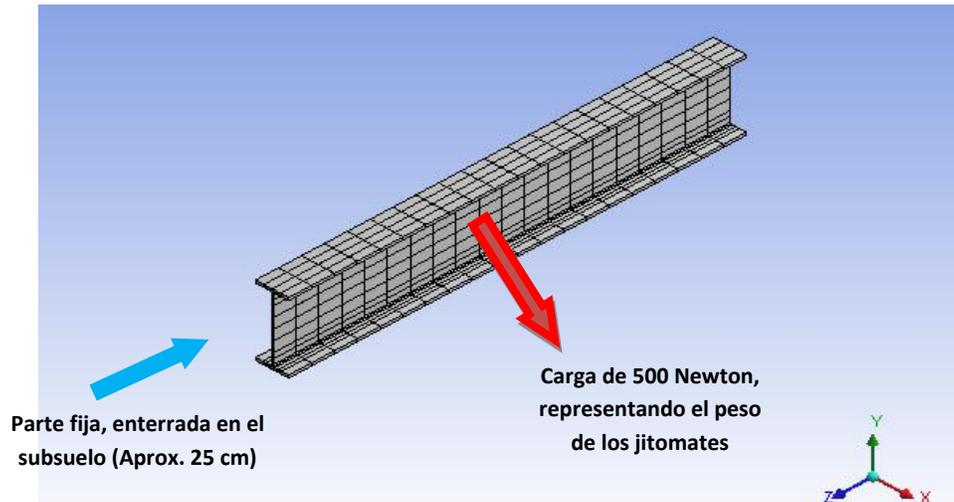
**Figura 26.4** Colocación y altura de los Tutores de PET empleados en sustitución de otate

Análisis del eslabonamiento de tutores

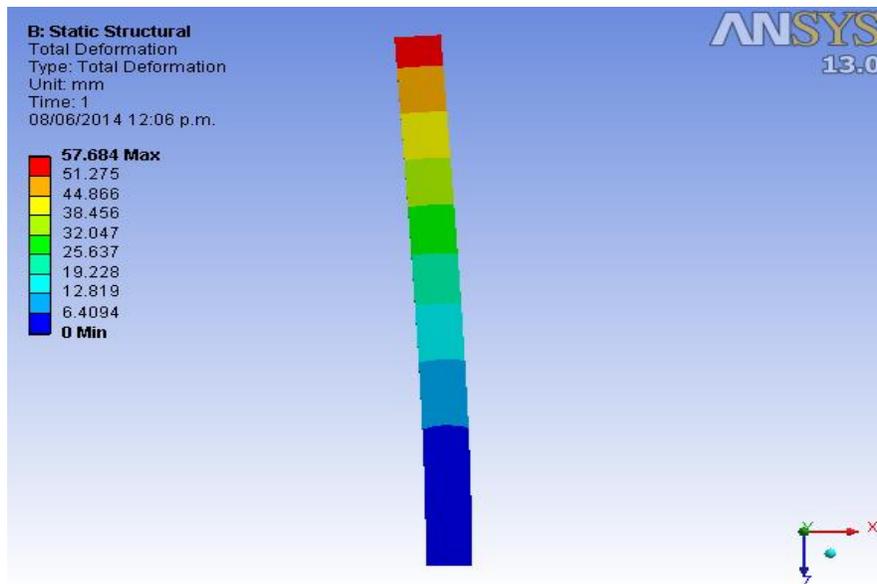
La unión de los 5 tutores (2.5 metros) será aproximada para su análisis mediante una viga en cantiliver vertical con sección transversal en I, que está sometida a un esfuerzo flexionante ocasionado por la carga uniformemente distribuida ejercida del peso de los tomates. La figura 10 representa el modelo de la viga una vez que ha sido generada la malla de elementos finitos. Asimismo, se representa la carga aplicada de 500 N (51 kg aprox.) y la parte de la viga que se denomina soporte fijo.

La figura ilustra el resultado obtenido en cuanto a deformación total producida por la carga de flexión, siendo el valor máximo de 57.684 mm y localizándose en la parte extrema superior. Por otro lado, la figura 12 muestra claramente que el valor máximo de esfuerzo resultante (Esfuerzo combinado de Von Misses) se encuentra en la parte inferior del tutor (viga) y cuyo valor es de 3.4792 MPa.

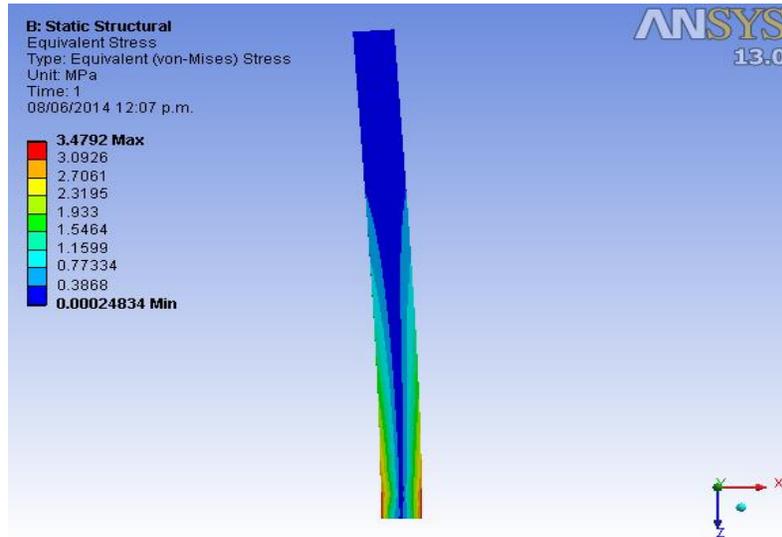
**Figura 26.5** Colocación y altura de los Tutores



**Figura 26.6** Deformación total de la viga sometida a flexión pura



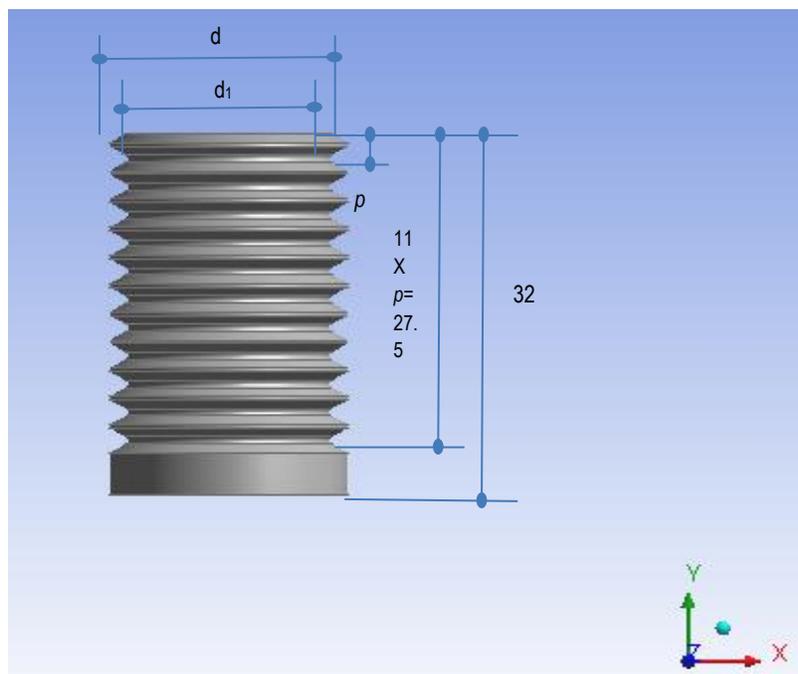
**Figura 26.7** Esfuerzo resultante de Von Mises en la viga sometida a flexión pura



#### Análisis de contacto entre dos tutores

El contacto que existe entre el extremo macho de un tutor y el correspondiente hembra del tutor adyacente, será aproximado para su análisis estructural por medio de un par roscado tornillo-tuerca, lo cual simplificará bastante la simulación y análisis de esta unión de dos tutores adyacentes. La figura 13 ilustra a detalle la nomenclatura empleada para describir el tornillo empleado en el análisis numérico, en función de sus diferentes parámetros.

**Figura 26.8** Nomenclatura de la cuerda del tornillo empleado para la simulación



Siendo,  $p = 2.5 \text{ mm}$  (Paso de la cuerda);  $d = 20 \text{ mm}$  (Diámetro nominal); y calculando la holgura de contacto entre el tornillo y la tuerca por medio de la expresión:

$$H = \left( \sqrt{\frac{3}{2}} \right) p = 2.165 \text{ mm}$$

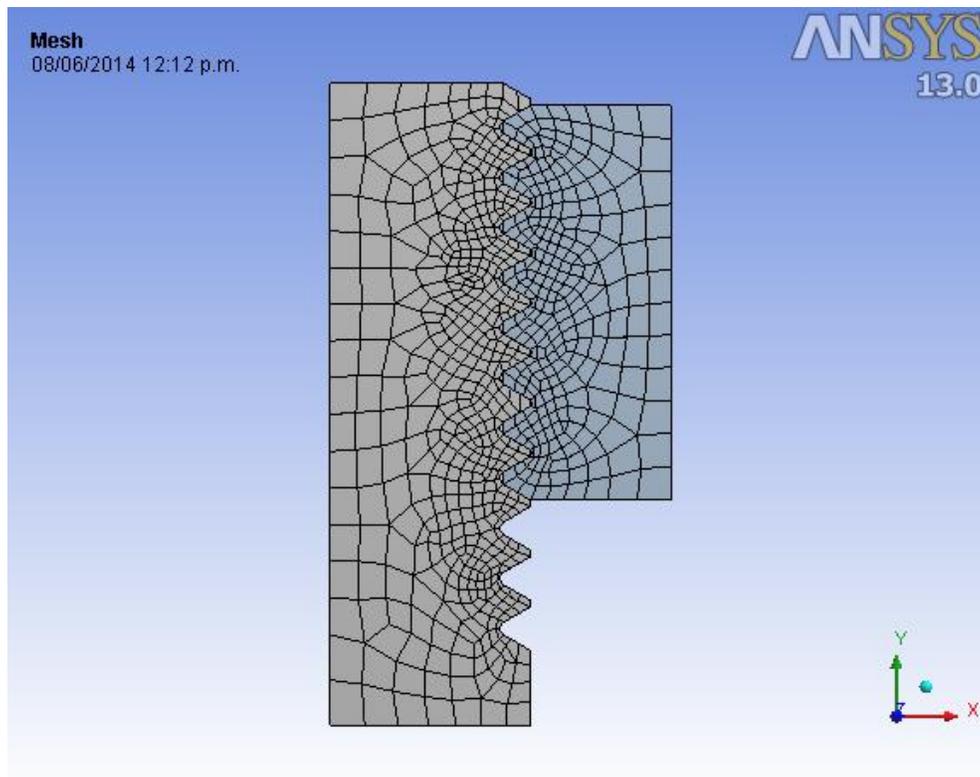
Y finalmente se determina el diámetro menor de la rosca interna a través de:

$$d_1 = d - (5/8)H \times 2 = 17.294 \text{ mm}$$

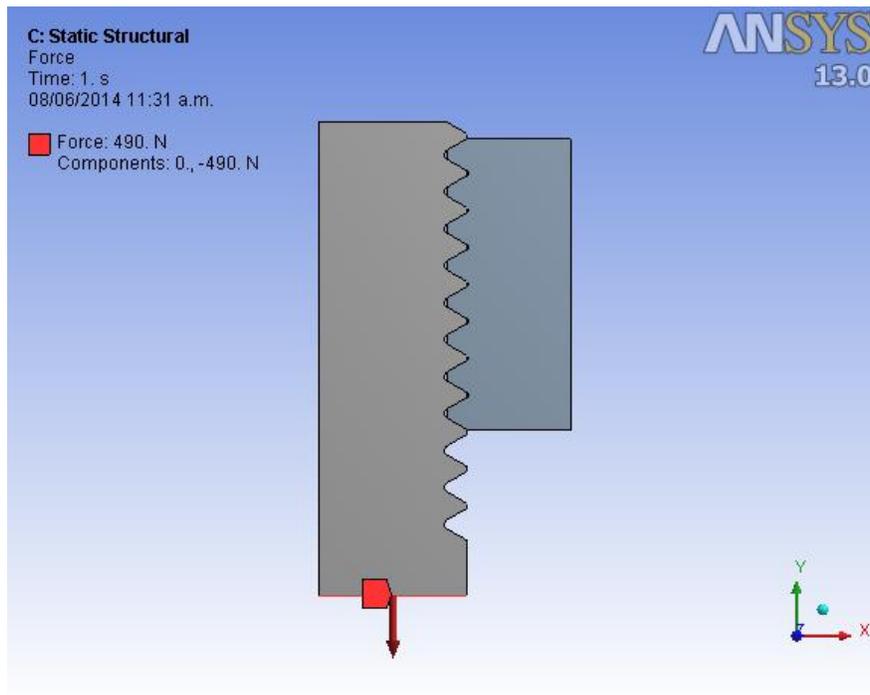
En esta simulación en 2D, se harán algunas simplificaciones. Se analizará el modelo bidimensional que representa el contacto entre dos tutores por medio de un tornillo y una tuerca. En este caso se requiere conocer cuál es el esfuerzo cortante en las roscas que están en contacto, al momento de aplicar la fuerza ejercida al ser cargado el tutor con el peso de los tomates, la cual se estima en un valor de 500 N.

Se asume que el coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca es de 0.3. La figura 14 presenta la forma en que es colocada la malla en el par tornillo-tuerca, siendo más densa precisamente en la parte que está en contacto en ambas cuerdas. El valor de la carga aplicada, así como su ubicación se detalla en la figura 15.

**Figura 26.9** Mallado del contacto mecánico entre el tornillo y la tuerca

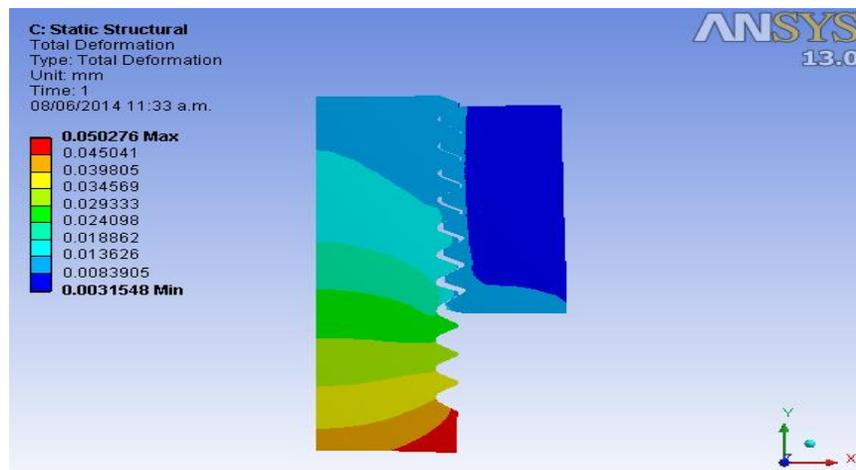


**Figura 26.10** Aplicación de la carga sobre el tornillo



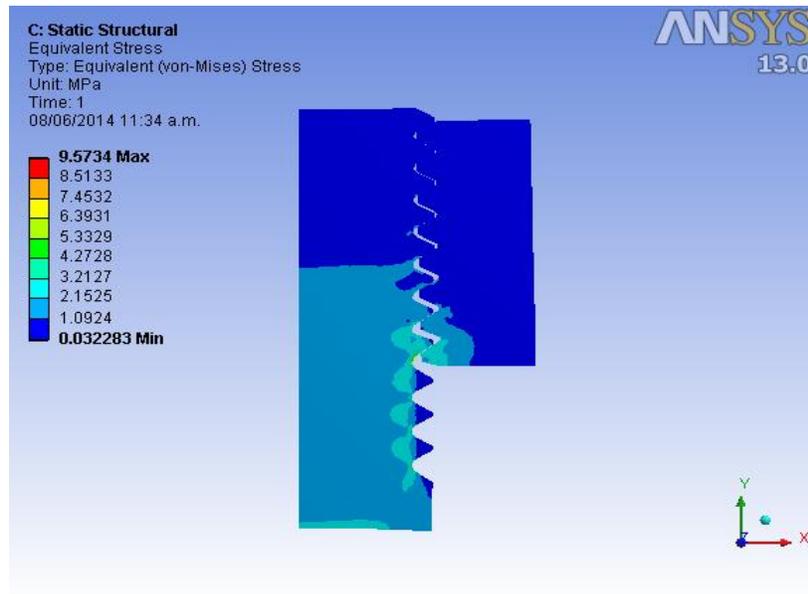
Como se puede apreciar en la figura 16, el valor de la deformación sufrida es de 0.0502 mm, lo cual es una cantidad pequeña. Teóricamente, esto representaría una condición de que el diseño es seguro y no fallaría, al menos con este valor de carga aplicada. Sin embargo, debe hacerse hincapié de que esta simulación asumió muchas simplificaciones, y es solamente una aproximación al modelo real de unión entre dos tutores conectados.

**Figura 26.11** Deformación sufrida por la carga aplicada en el contacto tornillo-tuerca.

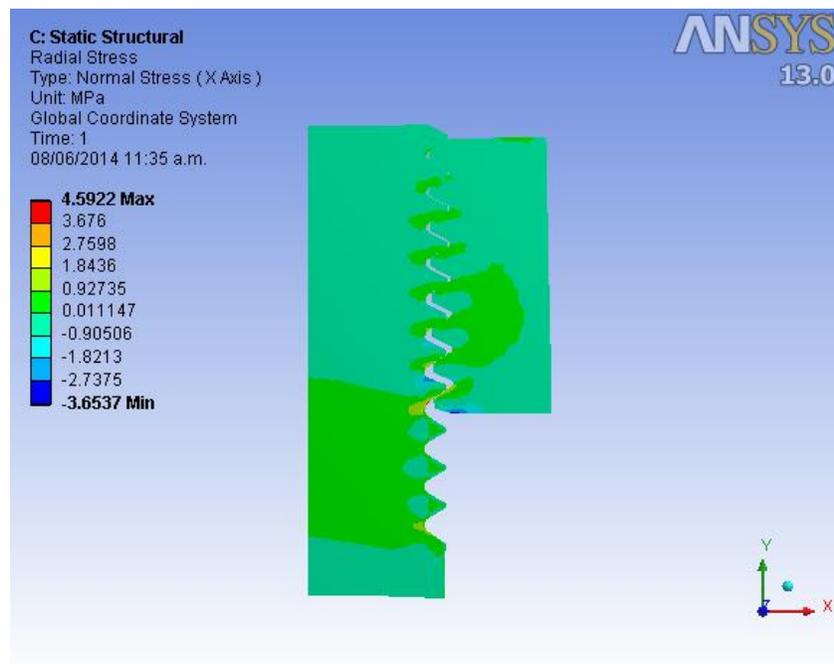


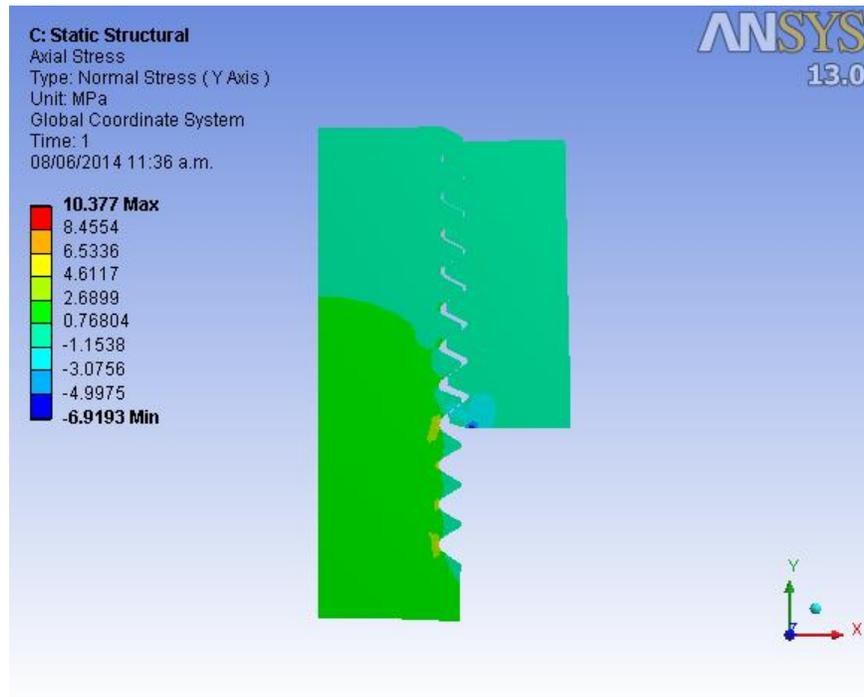
Finalmente, las figuras 17, 18 y 19 presentan el resultado obtenido en cuanto a esfuerzos se refiere. El esfuerzo máximo equivalente de Von Mises, el esfuerzo normal y el esfuerzo axial son, respectivamente, 9.5734 MPa, 4.5922 MPa y 10.377 MPa.

**Figura 26.12** Esfuerzo equivalente de Von Mises



**Figura 26.13** Esfuerzo normal (Eje x)



**Figura 26.14** Esfuerzo normal (Eje y)

### 26.3 Conclusiones

Como resultado de las simulaciones obtenidas en el software ANSYS Workbench®, se puede apreciar que simplemente demuestran ser, para estos casos de análisis, una aproximación a los modelos reales del tutor de plástico utilizado en los cultivos de jitomate, y que por lo tanto, son simplificaciones que reducen considerablemente el tiempo y complejidad de cálculo en el análisis por elemento finito. Sin embargo, tal metodología de elemento finito representa un enfoque útil cuando se tiene una geometría compleja o condiciones de carga que no pueden ser determinadas fácilmente por métodos analíticos. Es por ello, que los resultados mostrados en la sección anterior son sencillamente una aproximación de solución al problema planteado, debiendo indagar aun mas y mejor en el modelo, propiedades mecánicas del plástico, condiciones de carga reales y ensamble real de los tutores.

Por otro lado, las pruebas realizadas experimentalmente a los tutores en la máquina de ensayos universal, proporciono información muy útil al ir variando el contenido de aleación con otro injerto de plástico al polipropileno, con la finalidad de conocer cómo cambian las propiedades mecánicas con estas alteraciones a la composición química del material. Esta información del nuevo plástico obtenido fue a su vez empleada en las simulaciones numéricas, teniendo de este modo una aproximación más exacta en el análisis por medio del método del elemento finito.

El presente trabajo de investigación establece las bases para poder iniciar un análisis exhaustivo y profundo acerca del comportamiento mecánico de los tutores de plástico, el cual debería incluir un análisis de fatiga (envejecimiento del material) y de efectos de la temperatura (térmico). Sería recomendable incluso la posibilidad de considerar la vibración producida por el tendido de cables los cuales sujetan a los jitomates, es decir, realizar un análisis modal.

#### **26.4 Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, por el apoyo y recursos otorgados para la realización del trabajo reportado en el presente artículo.

#### **26.5 Referencias**

Lee, H. (2010). Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 12. Schroff Development Corporation Publications, USA.

Gómez, S. (2010). SolidWorks Simulation®. Alfaomega Grupo Editor. México.

## **Buses de campo. Estrategias de aplicación**

Elizabeth Gómez, Leopoldo García, Leticia Hernández

E. Gómez, L. García, L. Hernández  
elizags\_2000@yahoo.com.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

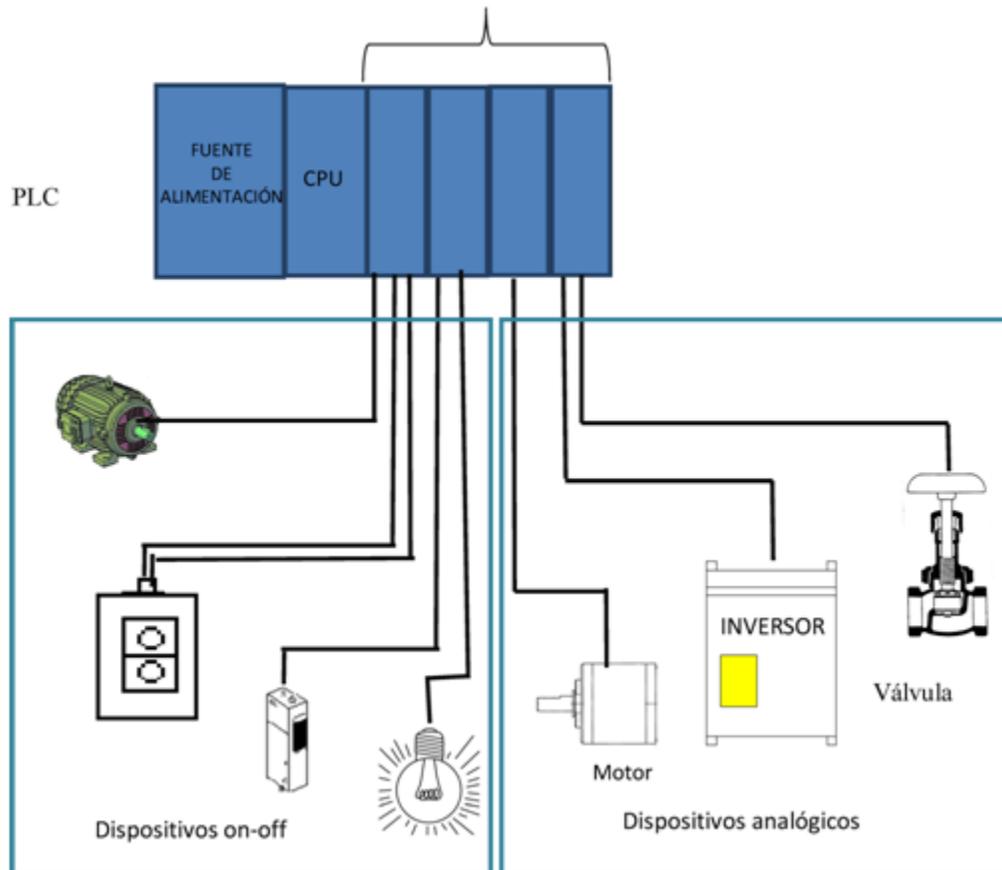
Be defined which is a fieldbus general operation, and under that demands technological and industrial process must be applied, their advantages and disadvantages. It is important to take into account when you decided to use a fieldbus in the automation of a process, in reality what is proposed is the structure under which the automation strategy will be sustained, therefore the selection of fieldbus is important to the difficulty of choosing between the variety of such systems on the market.

## 27 Introducción

La necesidad de las redes industriales en la automatización de un proceso o planta productiva, radica en la toma de decisiones que se debe realizar cuando se eligen los diferentes tipos de ellas, desde la base operativa hasta la gerencial, utilizando lineamientos de calidad, planeación de la producción, demanda de insumos, seguridad del personal, gestión del mantenimiento, diseño de producto, rentabilidad y competitividad. Es fundamental considerar las condiciones que hacen idónea su implementación, situaciones que generalmente no son analizadas con la profundidad adecuada. El diseño de los diferentes tipos de redes industriales en la implementación de un sistema automatizado, sostendrá el nivel de automatización utilizado por un determinado proceso industrial y lo hace operable de forma óptima, ya que el proceso con esta base podrá contar con diferentes aplicaciones en la planta para el personal de producción, mantenimiento, gestión de calidad, logística, planeación de producción y la seguridad con la que trabaja; también se deben tomar en cuenta las normas de calidad existentes para los diferentes giros de las industria en las cuales el manejo y registro de información es fundamental. Por tanto, un diseño inadecuado de la red industrial trae como consecuencia desde dificultades en la velocidad con que se toman acciones correctivas del proceso, acciones de visualización, registro y gestión de alarmas para mantenimiento, así como de acceso y registro de información para el resto de las áreas de administración.

Para entender el contexto de aplicación de los buses de campo es preciso conocer su evolución considerando que para su implementación la base son los controladores lógicos programables (PLC's). La comercialización de los controladores lógicos programables inicia a finales de los años sesenta para realizar el control de máquinas o procesos relativamente sencillos, enfocados a realizar básicamente control eléctrico, su tarea principal es la de sustituir relevadores y temporizadores, cuyas interfaces de entrada y salida fueron esencialmente todo o nada (onoff), las cuales convierten estas magnitudes de control eléctrico en variables eléctricas tipo bit y viceversa. Sin embargo, las máquinas o procesos más sofisticados no se limitan solamente al control señales on-off, incluyen el control de variables físicas tales como temperatura, nivel, presión, peso, posición velocidad, etc., dichas variables analógicas se convierten por medio de interfaces analógicas de entrada y salida a variables eléctricas binarias agrupadas en 8,12,16, 32 y 64 bits. Ambos tipos de interfaces de entrada y salida (on-off y analógicas) se conectan con cableado independiente a los dispositivos de entrada y salida como se muestra en la figura 27.

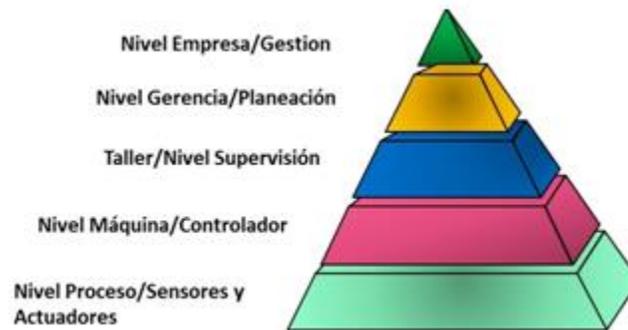
**Figura 27** Conexión de dispositivos a interfaces de entrada y salida



En el plazo comprendido en los años 70's y 80's, la demanda de mejores productos finales hace que se eleve la complejidad y la especialización de las máquinas, adicionando un grado más de dificultad a la comunicación entre máquinas considerando que estaban diseñadas por diferentes proveedores, los cuales utilizaban diferentes tipos de PLC's e incluso computadoras de uso industrial como control del proceso, lo cual generaba falta de estandarización y comunicación entre la maquinaria instalada debido a que cada fabricante de PLC's manejaba conceptos propios en comunicaciones, lo cual provocaba aislamiento en las máquinas de trabajo y por ende la utilización de una sola marca o redes industriales propietarias. A finales de los años 80's la evolución en la tecnología de microprocesadores permitió un aumento en la velocidad, cantidad y procesamiento de la información, impulsando el desarrollo de computadoras e interfaces que facilitaron el desarrollo de diferentes redes de comunicación industrial, que basados en las demandas del mercado impulsaron la estandarización y diseño de protocolos abiertos.

### 27.1 Funcionamiento y Clasificación de las Redes Industriales

En la actualidad se utiliza la pirámide CIM (acrónimo de Computer Integrated Manufacturing), para plantear la estrategia de una industria para implementar la automatización donde se incluye la integración desde el proceso productivo hasta el nivel de gestión empresarial, lo cual implica la utilización de PLC's y computadoras en diferentes áreas de la empresa.

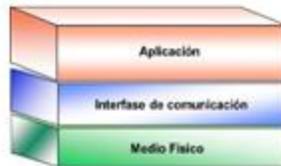
**Figura 27.1** Pirámide CIM

Dicha integración es posible estableciendo Redes de Comunicación Industriales que permitan la comunicación desde la base de la pirámide hasta el nivel de gestión. Los diferentes niveles de integración de la pirámide CIM se describen a continuación: Nivel de Proceso.- Se obtienen datos desde el proceso o máquina por medio de dispositivos de entrada (sensores) y de acuerdo a las referencias pre-ajustadas se corrigen las variables a controlar, por medio de dispositivos de salida (actuadores) y así mantener el buen funcionamiento de la máquina. Nivel máquina.- En este nivel se organiza la información recabada del nivel anterior para presentar y analizar informes de los valores de las variables controladas, así como reportes de alarmas. Nivel de supervisión.- Se realiza la planeación de los trabajos a realizar y la administración de planta productiva basada en la información obtenida del nivel máquina, concentrándose en las tareas de seguridad del personal, continuidad de la producción y mantenimiento. Nivel Gerencia.- Se enfoca a la organización de los trabajos, la obtención y la administración de los recursos. Se planifica la producción, los niveles de aseguramiento de calidad y el mantenimiento en la planta productiva basándose en la información obtenida desde la base de la pirámide CIM. Nivel Empresa.- En este nivel se integra la información obtenida en los niveles inferiores para realizar la logística general de la planta productiva, basado en los objetivos estratégicos planteados en la planeación enfocada al corto, mediano y largo plazo tomando en cuenta las actividades principales de la administración que son las ventas, compra de insumos y comercialización. Generalmente, el control de un proceso se distribuye entre diferentes PLC's, ubicados próximos al proceso que se debe controlar, los cuales se conectan por medio de una red local incluyendo la conexión a un sistema SCADA (acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition) cubriendo los tres niveles base de la pirámide CIM, donde aprovechando la estandarización, diseño de protocolos abiertos y teniendo la estrategia de integración predeterminada permite el crecimiento de la pirámide integrando a futuro el nivel de gerencia y empresa. Se utiliza el modelo de conexión OSI (acrónimo de Open Systems Interconnection) que se muestra en la figura 3, para entender el proceso de estandarización y apertura de Redes Industriales así como la forma que ha incidido en la implementación de la pirámide CIM, haciendo posible la integración de distintos sistemas digitales con diversas características como ocurren en los procesos de fabricación industrial.

**Figura 27.2** Modelo OSI

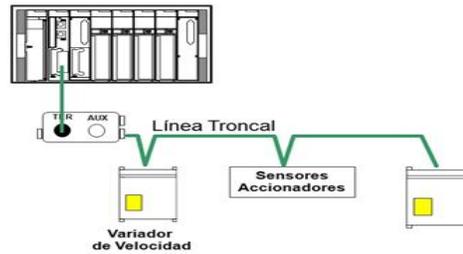
El modelo OSI tiene como virtud separar en siete niveles las diferentes tareas de comunicación y cada una de las cuales tiene asociado un protocolo, el modelo OSI sirve como base para la mayor parte de las Redes Industriales. En las Redes industriales no son utilizados todos los niveles del modelo OSI, encontrando dos tipos usuales de redes industriales:

- a) Buses de campo
- b) Redes de supervisión

**Figura 27.3** Buses de Campo**Figura 27.4** Redes de Supervisión

## 27.2 Funcionamiento y Clasificación de Buses de Campo

Un Bus de campo es una red multipunto que recibe y envía datos, conectando dispositivos de entrada y salida (analógicos y/o on\_off) a una línea troncal.

**Figura 27.5** Bus de Campo

Los buses se encuentran ubicados en la base de la pirámide CIM, debido a que este tipo de Red Industrial está enfocada al control de la máquina (nivel proceso) y es la base para obtener la información que deberá utilizarse a lo largo de la pirámide CIM y de forma inmediata a los niveles de máquina y supervisión (éstas utilizan Redes Industriales de tipo Supervisión). En el mercado han existido diferentes tipos de Buses dentro de las Redes Industriales sin embargo de forma conveniente se divide en dos sectores:

#### Propietarios.

Abiertos. Los buses propietarios respetan cierto nivel de estandarización, sin embargo solo el fabricante que los diseña es el dueño de los derechos de lanzar al mercado dispositivos de comunicación, dispositivos de entrada (sensores) y salida (actuadores). El proceso de estandarización es difícil, en él inciden diferentes intereses de investigación, comerciales y por tanto económicos, porque generalmente cada fabricante impulsa investigación tecnológica para desarrollar equipo que cumpla con ciertos requerimientos de un sector del mercado, lo cual significa que cuando se satisfacen las expectativas del producto, cada uno de ellos desea que las bases de su sistema se conviertan en estándar porque para ellos es la mejor opción del mercado y significaría una ventaja competitiva. Sin embargo, esto ha dado lugar a la generación de distintas Redes Industriales abiertas entre ellas los buses de campo que dan solución a diversos requerimientos de la industria que además facilitan que un proceso sea implementado en base a la pirámide CIM, permitiendo así el mejor manejo de la información. Históricamente los buses de campo representaron el nivel más bajo de la pirámide CIM incluyendo exclusivamente actuadores y sensores (on\_off), lo cual implicó manipulación de pocos bits, debido a lo anteriormente mencionado su trabajo fue relativamente sencillo. En la actualidad los buses de campo han evolucionado para integrarse a estructuras de comunicación superior tales como redes de máquina y supervisión que generalmente constan de comunicaciones entre PLC's, terminales de diálogo y sistemas SCADA respectivamente.

Adicionalmente, cubriendo diferentes requerimientos lo cual conlleva el manejo actuadores y sensores analógicos (instrumentación), mayor velocidad de actualización y diagnóstico, el cual incluye errores de comunicación, detección de fallas en el enlace físico y en los propios dispositivos permitiendo mejorar la atención de alarmas y mantenimiento al proceso.

### 27.3 Aplicación

El bus de campo abierto es la base estructural para una buena estrategia de automatización, porque permite facilitar tareas con los dispositivos de entrada y salida, que comparadas con el cableado punto a punto representan de difícil solución, tales tareas son:

Reemplazo de dispositivos.

Flexibilidad de uso.

Visualización. Reemplazo. Los dispositivos conectados al bus facilitan la localización de falla en los mismos, debido a las herramientas de programación y monitoreo con que cuenta el software de configuración del bus de campo. Flexibilidad.

La conexión a un PLC permite utilizar no solo los parámetros de lectura de los dispositivos de entrada y de corrección en los dispositivos de salida, se utilizan también como parte de la programación las variables de diagnóstico, que incluyen características propias de la calibración en los dispositivos de entrada o salida lo que favorece la implementación de un buen programa de mantenimiento a cualquier nivel.

Visualización. La integración a niveles superiores de la pirámide CIM permite monitorear la información recibida o enviada a través de dispositivos del bus con aplicaciones diferentes, tales como diagnóstico del proceso, conteo de producto, conteo de rechazo, monitoreo de materia prima, requerimiento de insumos, etc.

Las desventajas que podemos encontrar en la implementación de buses de campo son:

Proyecto de integración de procesos a corto, mediano y largo plazo.

Inversión inicial alta.

Personal altamente especializado.

Un caso de aplicación típica se puede encontrar en la industria petroquímica donde los dispositivos a controlar son de tipo analógico como: temperatura, presión, flujo, nivel y dispositivos on\_off, como sensores de presencia, presostatos, termostatos y alarmas luminosas o sonoras, las cuales son extremadamente sensibles, lo que obliga a acatar las normas que resguardan la seguridad de la vida humana y el medio ambiente. Estos dispositivos de proceso generalmente se sitúan en lugares remotos y en caso de fallo resulta peligroso o casi imposible hacer una revisión local de forma minuciosa al sensor o actuador, en lo cual las redes industriales y en este caso específico los buses de campo, son aplicados en este sector iniciando por la característica que tienen dichos sensores y actuadores de auto diagnóstico, permitiendo en primer lugar disparar alarmas preventivas y en tiempo real para la ejecución de mantenimiento preventivo y predictivo.

Así como alarmas de fallo mayor para la ejecución inmediata de mantenimiento correctivo o en casos graves tomar medidas de preservación de vida humana y medio ambiente. El control y visualización que se debe tener sobre los insumos y de los productos terminados enviados por transporte terrestre o tubería, también son razones de peso para la utilización de los buses de campo para permitir el manejo de la información obtenida de todo el proceso.

## **27.4 Conclusiones**

La aplicación de los buses de campo son sustantivos en industrias que cuentan con procesos delicados tales como farmacéuticos, alimenticios, de cuidado personal, químicos, petroquímicos, etc., en los cuales el control del proceso hace que la integridad del usuario final, el personal que lo opera y el cuidado ambiental estén en peligro inminente, por el control del proceso o el consumo de los productos.

Sin embargo dentro de dichos procesos la mayoría de los dispositivos de entrada y salida (botones, selectores, sensores y actuadores) no son susceptibles de integrar a un bus de campo ya sea porque:

Sus datos no son críticos para el funcionamiento

No requieren mantenimiento.

Se encuentran instalados en puntos de fácil acceso.

No requiere ser visualizado o registrado a niveles de supervisión y gestión de información.

Si no se toman en cuenta estos parámetros, el bus de campo puede saturarse sacrificando velocidad, lo cual es crítico en las aplicaciones antes mencionadas y el costo de los proyectos se eleva.

### **27.5 Referencias**

Rodríguez, A. (2013). Sistemas SCADA (3ª. Edición). México: Alfaomega Grupo Editor

S.A. de C.V. Bolton, W. (2013). Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica eléctrica (5ª. Edición). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Guerrero, V., Yuste, R., Martínez, L. (2010). Comunicaciones Industriales (1ª. Edición). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Mandado, P., Marcos, J., Fernández, C., Armesto, J. (2009). Autómatas programables y sistemas de automatización (2a. Edición). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Mengual, P.(2009) Step 7 Una manera fácil de programar PLC de Siemens (1ª edición). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C

## **Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato**

Marcos Rodríguez, Hernando Chagolla y María López

M. Rodríguez, H. Chagolla y M. López  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2, Valle de Santiago, Gto. México,  
C.P. 38400  
Instituto Tecnológico de Querétaro, Av Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Querétaro, Qro., México, C.P. 76000  
mrodriguez@utsoe.edu.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## **Abstract**

This paper presents a conceptual framework for automating the greenhouse one of the Technological University of the West of Guanajuato. It is presented as a concept where proposals for climate control of variables such as temperature, humidity, air flow is present; models and run times. The control system for greenhouse vegetables should be such a system that allows control in the first place: The humidity, temperature, air flow and irrigation, so that control can be adjusted depending on the type of vegetable farming.

## **28 Introducción**

La tecnología para la producción de alimentos en invernaderos ha avanzado considerablemente en los últimos años. Hoy en día, el uso de los sistemas electrónicos en la agricultura es imprescindible dado que con el uso de éstos se logra alcanzar un máximo desempeño del terreno cultivado. El control del ambiente aéreo y de raíz es de suma importancia en los sistemas agrícolas, éste control del ambiente recae en los equipos electrónicos.

Los sistemas agrícolas automatizados están equipados para realizar un control de la temperatura del aire y de las raíces, de la intensidad luminosa, del agua y múltiples variables del ambiente, este control protege a los sistemas agrícolas de los climas adversos, creando un ambiente artificial o microclima, el cual ofrece las mejores condiciones de crecimiento y de desarrollo para las plantas.

El desarrollo de un sistema de control climático para invernaderos toma vital importancia debido a las consecuencias favorables que éste método conlleva para con el cultivo, como la producción en todo el año, precocidad, calidad, control sobre el cultivo, menor consumo de agua, más cosechas por año, mayores rendimientos, producción en lugares marginales y cosecha oportuna. Éstas estructuras cuentan con diseños especiales y entre las ventajas más importantes para el agricultor están las siguientes: permite proteger los cultivos de contingencias climatológicas, plagas y enfermedades, además de controlar temperatura, humedad, nutrición y tiempo de riego.

El invernadero es el único sistema de protección que permite el cultivo totalmente fuera de temporada. Las plantas en invernadero necesitan más cuidado y atención en un periodo de tiempo menor al cultivo tradicional; pero los resultados en cuanto a producción son óptimos o las pérdidas son mínimas, en comparación con el tradicional. La calidad del producto final se ve elevada, dándole un valor agregado a la producción.

### **28.1 Metodología**

Se utilizó el S.O.P(Situación-Objetivo-Propuesta) que es una herramienta metodológica de mejoramiento continuo que pertenece al TQE(Total Quality Excellence). Con esto se pretende ver al invernadero como un todo que está íntimamente ligado al sistema de control.

#### **Situación Actual**

Para la determinación del diseño conceptual fue necesario analizar las condiciones en las que se encuentran los sistemas del invernadero y que se mencionan a continuación:

- Cubierta plástica y malla antiáfidos totalmente deterioradas.

- Sistemas electromecánicos como mecanismos de persianas laterales dañados, no se cuenta con ventiladores para flujo de aire forzado, ni con sistema de calefacción artificial.
- Sistema hidráulico incompleto, pues la bomba no tiene instalación eléctrica, la línea de riego solo cuenta con un cabezal, sin derivaciones, los nutrientes se colocan en los depósitos de agua y se dosifica con la misma bomba de agua.
- No se cuenta con instalación eléctrica que alimente los sistemas para el control.
- No cuenta con control climático.

Las siguientes imágenes muestran lo anteriormente dicho.

**Figura 28** Cubierta plástica y mecanismos dañados



**Figura 28.1** Falta de instalación eléctrica y sistema hidráulico incompleto



## **Objetivo**

Establecer un diseño conceptual de sistema para la automatización del invernadero uno de la UTSOE que permita su habilitación para el establecimiento de cultivos que sirvan para la experimentación, la generación de conocimiento y la transferencia de estas tecnologías.

## **Propuestas**

### **Rehabilitación de la cubierta plástica y malla antiáfidos**

Para determinar la cubierta plástica para el invernadero, se definen los cultivos a establecer, los cuales consisten en hortalizas, cuyos requerimientos de luz son semejantes para todas, por lo que se selecciona una cubierta plástica tipo difuso con un 85 % de paso de luz, para la temporada de primavera donde los niveles de iluminación son altos y prolongados, se recomienda usar una malla sombra en el exterior, que también ayuda a disminuir la temperatura.

### **Rehabilitación de los sistemas electromecánicos**

Analizando el estado de los mecanismos, se propone el mantenimiento de los motorreductores existentes, así como de las flechas acopladas al eje que enrolla la cubierta plástica de las ventanas laterales. Para evitar que la temperatura llegue a valores críticos tanto hacia arriba como hacia abajo, se propone la instalación de dos ventiladores extractores para la circulación forzada de aire para el enfriamiento y un sistema de calefacción a base de gas L.P. para elevar la temperatura en tiempo de frío.

### **Rehabilitación del sistema hidráulico**

Derivado del diagnóstico que se realizó a este sistema se propone la instalación independiente del sistema de fertirriego, con bombas dosificadoras independientes y agitadores para el nutriente, además de terminar la instalación de líneas de riego localizado para cada planta.

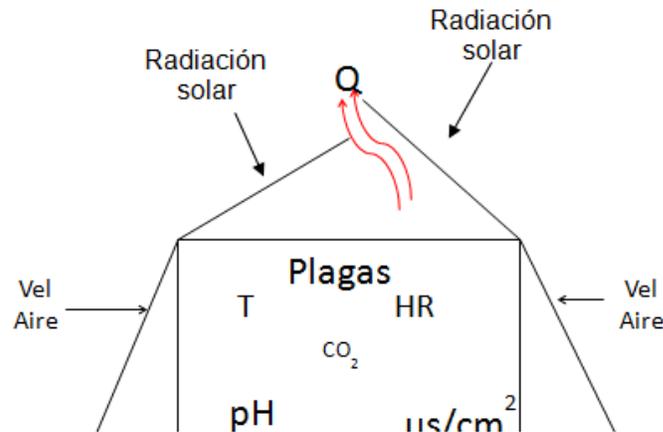
### **Instalación eléctrica**

Se debe realizar el cálculo de los conductores alimentadores, conductores secundarios, las canalizaciones y los dispositivos de protección.

### **Instrumentación y control**

Para poder determinar el concepto para el sistema de control climático es necesario identificar el sistema físico, la siguiente figura muestra los principales parámetros que se tienen que considerar para comenzar con la conceptualización.

**Figura 28.2** Sistema de parámetros físicos de control

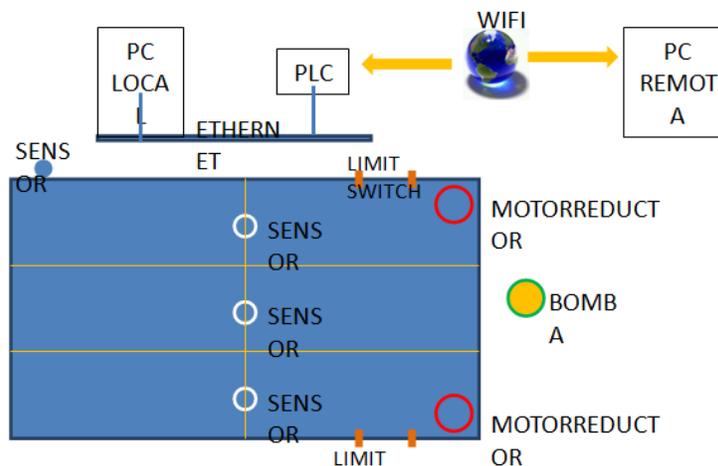


Como puede observarse se tiene como entradas la radiación solar y el aire que en sí lleva consigo temperatura y humedad exteriores que afectan la temperatura y humedad interior.

## 28.2 Resultados y discusión

El sistema de control se conceptualiza como un sistema flexible que permita tener un crecimiento a futuro en cuanto al procesamiento del mayor número de variables a controlar, donde en primera instancia y como alcance del proyecto, se controlará la temperatura, humedad y velocidad del viento. La flexibilidad del sistema debe permitir la capacidad de adicionar el control de otras variables no menos importantes como nivel de CO<sub>2</sub>, pH, conductividad y nivel de iluminación; esto como una segunda etapa. Como tercera etapa se hará una interfaz hombre-máquina para monitoreo tanto local como remoto de dichas variables. A continuación se muestra un diagrama esquemático con los elementos del control climático.

**Figura 28.3** Diagrama esquemático de elementos de control climático



### Elementos que conforman el sistema.

Para el control de temperatura, humedad y flujo de aire, se dispondrá de sensores que permitirán medir y monitorear las diferentes variables, enviando la información al controlador para su procesamiento y toma de acción a través de la manipulación de los actuadores.

### Sensado de Temperatura y Humedad

El crecimiento vegetativo se da gracias al proceso fotosintético, de modo que si el cultivo dispone de suficiente luz, la temperatura es el factor de mayor influencia en su desarrollo. Además, la temperatura ha sido el parámetro tradicionalmente manejado en los invernaderos, por lo que se considera la variable principal a controlar. El sensor a utilizar debe enviar una señal estándar de 4 a 20 mA.

En un invernadero, valores extremos de la humedad del aire limitan determinados procesos fisiológicos del cultivo. Por otro lado, si se produce la condensación del vapor de agua, pueden desarrollarse enfermedades por hongos. Para la medición se hará uso de un sensor de tipo capacitivo, ya que al variar la humedad se modifican las características del dieléctrico del condensador, pudiendo así obtener una referencia de la variable.

Los transmisores programables de temperatura y humedad de la serie T3110 están equipados de sensores para la medida directa de ambas magnitudes así como el cálculo de otras magnitudes derivadas de ambas: temperatura de punto de rocío, humedad absoluta, humedad específica, "mixing ratio" o entalpía. La circuitería del transmisor dispone de un microprocesador de control de los circuitos y está alojada en una carcasa en robusto ABS en la que también se alojan los terminales de conexión.

Todos los sensores de humedad están protegidos con un filtro de acero inoxidable con capacidad de filtrado de 0,025mm. La configuración de las salidas 4-20 mA son ajustables en todo el rango de salida, por el usuario con ayuda del Software T-Sensor suministrado con el equipo.

Un amplio display de dos líneas permite la lectura simultánea de la temperatura y la humedad u otra magnitud derivada de ambas.

Incluye certificado de calibración conforme a EN ISO/IEC 17025

La siguiente figura muestra la forma física de dicho transmisor

**Figura 28.4** Transmisor programable de temperatura y humedad T3110



## Sensado de velocidad del viento

Estas magnitudes no afectan de forma directa al crecimiento del cultivo, pero sí al control del invernadero y principalmente daños a su infraestructura como rompimiento de la cubierta plástica y daños en sus soportes metálicos del invernadero. La velocidad del viento es medida por un anemómetro basado en un encoder incremental. Por su parte, la dirección es captada por una veleta que utiliza un encoder absoluto.

**Figura 28.5** Sensor de velocidad de viento



Las características del sensor de velocidad de viento seleccionado, se muestran a continuación:

- Salida: 4-20 mA
- Rango: 0 a 180 km/h
- Precisión: 3,22 km/h en el rango de 17 a 88 km/h
- Voltaje de operación: 10-36 VDC
- Consumo: El mismo que la salida del sensor
- Respuesta rápida de datos programable a 3 segundos mínimo
- Temperatura de operación: -40°/+55°C
- Tamaño del sensor: 7" diámetro x 8 1/2"

## Controlador

Como controlador se selecciona un PLC ya que tiene la robustez industrial. Dicho PLC corresponde a un Micrologix 1400 Boletín 1766 que se basa en características fundamentales de MicroLogix 1100: EtherNet/IP, edición en línea y una LCD incorporada.

Estos controladores ofrecen mayor conteo de E/S, contador de alta velocidad más rápido, salida de tren de impulsos, capacidades de red con características mejoradas y luz de retroiluminación en la LCD. Los controladores sin puntos de E/S analógicas incorporados proporcionan 32 puntos de E/S digitales, mientras que las versiones analógicas ofrecen 32 puntos de E/S digitales y 6 puntos de E/S analógicas. Puede ampliar todas las versiones con hasta siete módulos de expansión de E/S 1762.

### Características

- El puerto Ethernet proporciona capacidad de servidor web y de correo electrónico, así como soporte del protocolo DNP3
- La LCD incorporada con luz de retroiluminación permite ver el estado del controlador y de las E/S
- La LCD incorporada proporciona una interface simple para mensajes, monitoreo de bits/números enteros y manejo
- Amplía las capacidades de la aplicación con el soporte para un máximo de siete módulos de expansión de E/S MicroLogix 1762 con 256 E/S discretas
- Hasta seis contadores de alta velocidad de 100 kHz incorporados (solo en controladores con entradas de CC)
- Dos puertos serie con soporte de los protocolos DF1, DH-485, Modbus RTU, DNP3 y ASCII
- 10 KB de palabras en la memoria de programas del usuario con 10 KB de palabras en la memoria de datos del usuario
- Hasta 128 KB para registro de datos y 64 KB para recetas

**Figura 28.6** PLC MicroLogix 1400

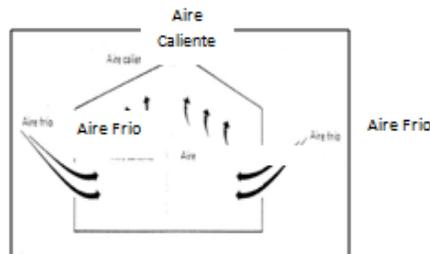


## Actuadores

Estos dispositivos reciben del controlador la orden de intervenir para controlar las variables climáticas interiores del invernadero. En el sistema de control concebido intervienen los siguientes actuadores:

- Ventanas cenitales y ventanas laterales. Su grado de apertura determina el intercambio de aire entre el exterior y el interior del invernadero, provocando la ventilación natural por efecto térmico y eólico, manteniendo dentro de parámetros la temperatura y la humedad, así como la protección de la estructura del invernadero. Las ventanas cenitales son accionadas por un mecanismo de poleas, en cambio las ventanas laterales son accionadas por dos motorreductores con motores trifásicos de  $\frac{3}{4}$  de HP con alimentación a 220 V de c.a.

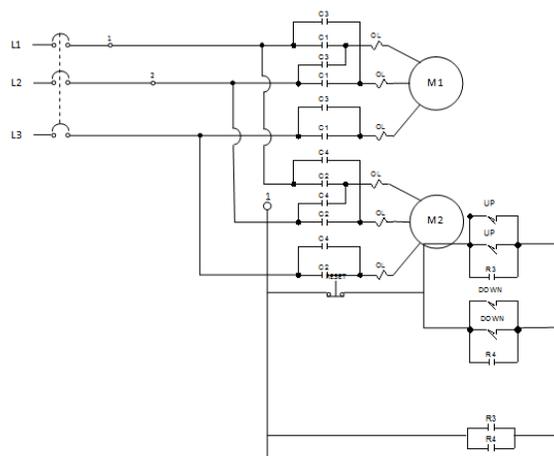
**Figura 28.7** Flujo de aire



## Etapa de potencia del control

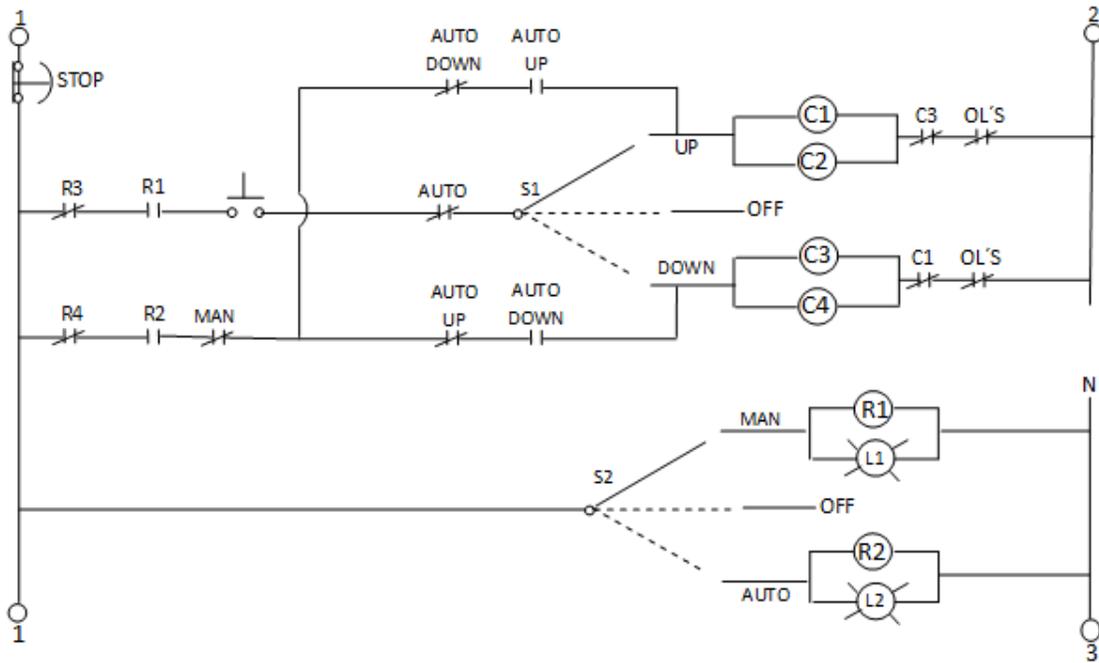
Para que el controlador pueda mandar activar a los actuadores, el sistema de control comprende de una etapa de potencia que consta de dispositivos de control como botoneras, relevadores, contactores y disyuntores para su protección. A continuación se muestra el diagrama eléctrico de la parte de potencia:

**Figura 28.8** Diagrama de Potencia del Invernadero

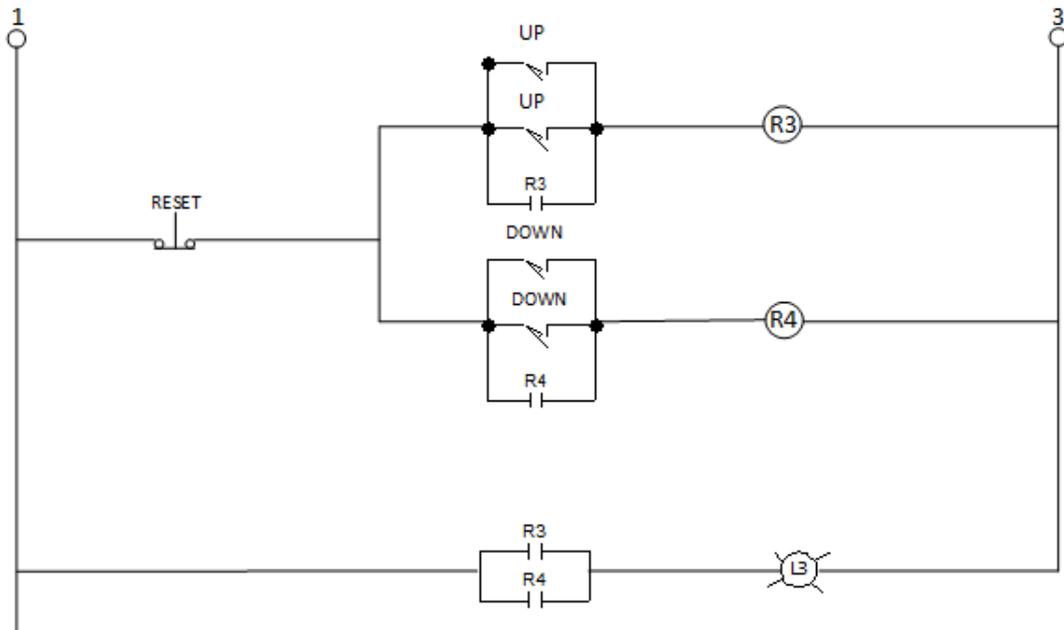


Fuerza de la etapa de

**Figura 28.9** Diagrama de Control de la Etapa de Potencia del Invernadero



**Figura 28.10** Diagrama eléctrico de fuerza y control de la etapa de potencia



## Sensores de inicio y final de carrera

Para proteger a los mecanismos de actuación que corresponden a las ventanas laterales, se dispone de cuatro switches de límite dispuestos en el inicio y final de carrera de los mecanismos en ambas ventanas laterales.

Los interruptores de final de carrera resistentes a la corrosión Nema 802MC vienen precableados y sellados en la fábrica para proporcionar protección contra la corrosión en lugares mojados o secos.

Estos interruptores proporcionan una sólida defensa contra contaminantes ambientales al usar un envoltorio polimérico y acero inoxidable Tipo 316 para las piezas de metal expuestas. Cumplen con los requisitos de envoltorios NEMA 1, 4X, 6P y 13.

**Figura 28.11** Switch de límite



## 28.3 Conclusiones

La generación del conocimiento científico y tecnológico derivado del proyecto fortalecerá las competencias del personal docente de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, contribuyendo a su vez al fortalecimiento de los cuerpos académicos, de manera que tengan la capacidad de investigar, desarrollar tecnología, transferirla, brindar soporte técnico como seguimiento para elevar la probabilidad de éxito de los proyectos productivos relacionados con los invernaderos.

El proceso educativo de Agricultura Sustentable tendrá a su disposición un invernadero listo y la posibilidad de automatizar un segundo, para fortalecer la formación de los alumnos, fortalecer la investigación de sus docentes y hasta poder generar un proyecto productivo que sea sostenible.

Se pretende tener un impacto económico al transferir la tecnología del diseño y desarrollo de invernaderos para mejorar sus prácticas agrícolas, a los diferentes productores, pues al tener condiciones ambientales controladas en el cultivo bajo invernadero, se garantizará la producción aun con condiciones climáticas adversas como heladas, granizadas, sequías y hasta plagas derivadas de estas condiciones.

Además al poder controlar estas condiciones se podrá cultivar en temporadas de mas escasas para lograr mejor precio en el mercado.

La parte ambiental se verá favorecida, al contar con un riego controlado, se mejorará el aprovechamiento del agua, pues solo se usará la mínima necesaria, de manera que los mantos freáticos no se afectarían.

Al tener incidencia directa sobre proyectos productivos, socialmente habrá un desarrollo tanto para los profesores que lo plantearon, los alumnos involucrados, la comunidad beneficiada y los proveedores de los materiales e insumos.

En general se pretende a futuro con este tipo de proyectos integrales, un desarrollo sustentable, tanto local como regional; razón por la cual fue establecida la Universidad Tecnológica.

#### **28.4 Agradecimientos**

Proyecto financiado por PRODEP y UTSOE.

#### **28.5 Referencias**

Duarte Galván, C., Torres Pacheco, I., Guevara González, R. G., Romero Troncoso, R. J., Contreras Medina, L., Ríos Alcaraz, M. A., y otros. (2012). Review. Advantages and disadvantages of control theories applied in greenhouse climate control systems. *Spanish Journal of Agricultural Research* .

Herrera Ruiz, G., & Arrollo Contreras, M. (2003). Diseño y construcción de invernaderos de bajo costo. Querétaro, Querétaro, México.

López Vargas, L. A. (Noviembre de 2008). Diseño de un Sistema de Control de Temperatura On/Off para Aplicaciones en Invernadero Utilizando Energía Solar y Gas Natural. Lima, Perú.

Ruiz Herrera, G., & Peniche Vera, R. (2003). Diseño y construcción de invernaderos de bajo costo. Querétaro, Querétaro, México.

**Apéndice A . Consejo Editor Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato**

Aguilera Santoyo- Virginia, PhD  
Rectora de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.

Gordillo Sosa- José Antonio, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Contreras Medina-David Israel, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Negocios y Gestión Empresarial

Corral García-María del Socorro, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica y Mantenimiento Área Industrial

Ramírez Cano- Teresa, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Desarrollo de Negocios y Contaduría

Rivas García-Olimpia Liliana, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Coordinación Académica

Moreno Villanueva-Emanuel, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Metal Mecánica

Pérez Ríos-Miriam Estelina, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

## **Apéndice B . Consejo Editor ECORFAN**

Ángeles Castro- Gerardo, PhD  
Instituto Politécnico Nacional, Mexico

Guzmán Hurtado- Juan, PhD  
Universidad Real y Pontifica de San Francisco Xavier, Bolivia

Peralta Ferriz- Cecilia, PhD  
Washington University, E.U.A

Yan Tsai- Jeng, PhD  
Tamkang University, Taiwan

Miranda Torrado- Fernando, PhD  
Universidad de Santiago de Compostela, España

Palacio- Juan, PhD  
University of St. Gallen, Suiza

David Feldman- German, PhD  
Johann Wolfgang Goethe Universität, Alemania

Guzmán Sala- Andrés, PhD  
Université de Perpignan, Francia

Vargas Hernández- José, PhD  
Keele University, Inglaterra

Hira- Anil , PhD  
Simon Fraser University, Canada

Villasante – Sebastian, PhD  
Royal Swedish Academy of Sciences, Suecia

Navarro Frómata -Enrique, PhD.  
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov, Rusia

Beltrán Morales -Luis Felipe, PhD.  
Universidad de Concepción, Chile

Araujo Burgos -Tania, PhD.  
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

Pires Ferreira Marão- José , PhD  
Federal University of Maranhão, Brasil

Luo- Yongli, PhD  
Wayland Baptist University, Texas

Pacheco Bonrostro- Joaquín, PhD  
Universidad de Burgos, España

García y Moisés– Enrique, PhD  
Boston University, E.U.A

Raúl Chaparro- Germán , PhD  
Universidad Central, Colombia

Ordóñez Gutiérrez -Sergio,PhD.  
Université Paris Diderot , Francia.

Gandica de Roa- Elizabeth, PhD  
Universidad Católica del Uruguay, Montevideo

Segovia Vargas- María , PhD  
Universidad Complutense de Madrid, España

Laguna- Manuel, PhD  
University of Colorado, E.U.A

Salgado Beltrán- Lizbeth, PhD  
Universidad de Barcelona, España

Quintanilla Cóndor- Cerapio, PhD  
Universidad Nacional de Huancavelica, Peru

García Espinosa- Cecilia, PhD  
Universidad Península de Santa Elena, Ecuador

Bardey- David, PhD  
University of Besançon, Francia.

Ibarra Zavala-Darío,PhD  
New School for Social Research,E.U.A

Cobos Campos -Amalia, PhD  
Universidad de Salamanca, España

Alvarez Echeverría -Francisco, PhD.  
University José Matías Delgado, El Salvador.

Rocha Rangel -Enrique, PhD  
Oak Ridge National Laboratory, E.U.A

Tutor Sánchez -Joaquín PhD  
Universidad de la Habana, Cuba.

Verdegay Galdeano -José-, PhD  
Universidad de Granada, España.

Ruiz Aguilar -Graciela, PhD  
University of Iowa, E.U.A

Soria Freire -Vladimir, PhD  
Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Beltrán Miranda -Claudia, PhD  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

**Apéndice C . Comité Arbitral Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato**

Barrón Adame- José Miguel, PhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Ramírez Lemus-Lidia, PhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia

Ramírez Minguela-José de Jesús, PhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Rosales García-Juan, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Eléctrica

Thomson López-Reynaldo, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Gestión Empresarial

Gómez Aguilar- José Francisco, PhD  
Universidad Autónoma de México  
Materiales

Córdova Fraga- Teodoro, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Físico Médica

Ruiz Pinales- José, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Eletrónica

González Parada- Adrián, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Eléctrica

Guzmán Cabrera- Rafael, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Eléctrica

Ireta Moreno- Fernando, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Eléctrica

Arroyo Figueroa- Gabriela, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Procesos Agroindustriales

Mercado Flores- Juan, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Bioquímica de Alimentos

López Orozco- Melva, PhD  
Universidad de Guanajuato  
Bioquímica de Alimentos

Quintanilla Domínguez-Joel, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Pérez García-Vicente, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Metal Mecánica

Aguilar Moreno-Antonio Alberto, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Rodríguez Muñoz-José Luis, cPhD  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Aguirre Puente- José Alfredo, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Huerta Mascote- Eduardo Huerta, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Rico Moreno- José Luis, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Cano Contreras-Martín, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Ferrer Almaraz-Miguel Almaraz, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Arreguín Cervantes-Antonio, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Ledesma Jaime-Reynaldo, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mecánica Área Industrial

Avilés Ferrera-José Josías, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Mendoza García- Patricia del Carmen, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia

Almanza Serrano-Leticia, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia

Ramírez Barajas-Alejandro, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Negocios y Gestión Empresarial

Santamaría Ramírez-Yuridia Guadalupe, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Negocios y Gestión Empresarial

Uribe Plaza- Guadalupe, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Ingeniería en Negocios y Gestión Empresarial

Silva Contreras-Juan, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Contaduría

Andrade Oseguera-Miguel Ángel, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Contaduría

Ambriz Colín-Fernando, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mantenimiento Área Industrial

Cano Ramírez-Jaime, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mantenimiento Área Industrial

Acosta Navarrete-María Susana, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

Morales Félix-Verónica, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

Castañeda Ramírez-José Cristóbal, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

López Ramírez-María Elena, MsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Agricultura Sustentable y Protegida

Guzmán Sepúlveda-José Rafael, MsC  
Universidad Autónoma de Tamaulipas  
Mecatrónica

Tapia Ortega- José Noé, MsC  
Universidad De La Salle Bajío  
Coordinador de Maestría en Admón. Educativa

Guía Calderón- Manuel, MsC  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Eléctrica

Hernández Fusilier- Donato, MsC  
Universidad de Guanajuato  
Ingeniería Electrónica

Mosqueda Serrano- Fátima del Carmen, MsC  
Universidad Tecnológica del Norte de Guanajuato  
Gastronomía

Rodríguez Vargas- María de Jesús, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Tecnologías de la Información y Comunicación

Carmona García-Nélida, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia

Núñez Ledesma- Marcela Alejandra, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Diseño y Moda Industrial área Producción

Rodríguez Sánchez-Marcos, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Mantenimiento Área Industrial

Maciel Barajas-Gloria Elena, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

Pérez Rios- Lenin Waldir, BsC  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato  
Procesos Alimentarios

