



15 y 16 de Octubre / Boca del Río

**Universidad Veracruzana**

Congreso de Investigación de AcademiaJournals.com

# **VOLUMEN I**

## **Las Ingenierías**

### **(Segunda Parte)**

Copatrocinado Por



Universidad Veracruzana



Instalaciones de la USBI  
Universidad Veracruzana  
Boca del Río, Veracruz, México

*"Compartiendo el Conocimiento de mi Disciplina al Mundo"*

ISSN 1946-5351 (online)  
ISSN 1948-2353 (CD-ROM)

# EVALUACIÓN DE LA CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA APLICANDO LA NORMATIVA ISO Y LOS MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS (PROBETAS PLANAS CADA ESTACIÓN DEL AÑO)

Gabriela Lugo Islas<sup>1</sup>, José Luis Ramírez Reyes<sup>2</sup>, Ernesto Gallardo Castán<sup>3</sup>, Norma García Navarro<sup>4</sup>

## Resumen

Dentro de las actividades de un proyecto en la Universidad Veracruzana para desarrollar los mapas de corrosividad atmosférica del estado de Veracruz, la región de Poza Rica es una de las zonas identificadas con mayor riesgo de agresividad atmosférica por la intensa actividad petrolera que sostiene la economía de la región y por su relativa cercanía con la costa del Golfo de México donde también influye la severidad de las condiciones climáticas con alta humedad, temperatura y vientos en la temporada de nortes y huracanes. Los estudios se llevaron a cabo mediante la incidencia directa de la atmósfera en las probetas planas expuestas, aplicando la normativa ISO. La evaluación electroquímica se realizó por medio de las técnicas; EIS, LPR, y Curvas de Polarización Potenciodinámicas (CP) en las cuatro estaciones climáticas del año. También se hicieron estudios de morfología y análisis de superficie de los productos de corrosión, identificando compuestos típicos de una atmósfera húmeda con baja influencia de cloruros y alta cantidad de azufre y Sílice.

**Palabras claves**—Corrosividad atmosférica, métodos electroquímicos, normativa ISO, morfología, análisis de superficies.

## I. INTRODUCCIÓN

La corrosión es un proceso natural que siempre ha estado presente en los diversos sectores productivos de la sociedad, sin embargo, su agresividad depende de diversos factores, tales como la contaminación atmosférica proveniente principalmente de la industria petrolera, esto sin duda alguna afecta a los metales que se corroen más fácilmente, aportando graves daños a las estructuras y provocando gastos económicos, inclusive accidentes humanos y ambientales. En las industrias casi toda la instalación productiva está constituida de diversos metales, por lo que el proceso de oxidación puede ser muy destructivo ocasionando grandes pérdidas económicas. Todavía no es posible evitar totalmente los fenómenos corrosivos pero haciendo un estudio adecuado, las pérdidas por corrosión que se podría evitar pueden llegar al 25%, a través el uso de recubrimientos anticorrosivos, inhibidores de corrosión o quizás haciendo el uso de la protección catódica<sup>(2 y 3)</sup>.

En México estudiar la corrosividad atmosférica es una labor que rebasa con creces las posibilidades experimentales y económicas del equipo de investigadores con que se cuenta, se tienen muy pocas estaciones de estudio, por lo consiguiente es de suma importancia prestarle la atención que esta requiere con la finalidad de aportar información para completar la construcción del Mapa de Corrosividad atmosférica del estado de Veracruz<sup>(7)</sup>.

<sup>1</sup> Gabriela Lugo Islas. Estudiante de 9º semestre de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Veracruzana Campus Poza Rica. [galy\\_2510@hotmail.com](mailto:galy_2510@hotmail.com).

<sup>2</sup> Dr. José Luis Ramírez Reyes. Profesor investigador de tiempo completo en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana. [luiramirez@uv.mx](mailto:luiramirez@uv.mx)

<sup>3</sup> Mtro. Ernesto Gallardo Castán. Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. [egallardo@uv.mx](mailto:egallardo@uv.mx)

<sup>4</sup> Ing Norma García Navarro. Profesora de tiempo parcial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. [nogarcia@uv.mx](mailto:nogarcia@uv.mx)

## II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Los probetas metálicas sometidas a estudio para evaluar la corrosividad atmosférica fueron Acero al Carbón (Ac-R), Galvanizado (Gal-A), Aluminio (Al) y Cobre (Co) de 6x4 pulgadas. La exposición de las probetas metálicas se realizó de acuerdo a las descripciones de la norma ISO 8565, utilizando un panel de exposición de inclinación ajustable, a 1m de altura del piso, y a una posición de 45° con respecto a la

horizontal, el panel está orientado directamente de frente a los vientos dominantes, en un lugar alto y sin obstáculos que compliquen la incidencia directa de los vientos.

Para la metodología ISO al término del año se bajaron las probetas metálicas expuestas, se realizó la limpieza de productos de corrosión a partir de los métodos químicos, posteriormente se volvieron a pesar obteniendo la diferencia de peso con respecto a las probetas originales. Finalmente se calculo la velocidad de corrosión con lo establecido en la ecuación 1.

$$V_{corr} = [(p_i - p_f) / \rho A t] \times 10^4 = \mu\text{m} / \text{año} \quad (1)$$

Donde  $p_i$  es el peso inicial en g,  $p_f$  es el peso final en g,  $\rho$  es la densidad del metal en  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $A$  es el área de exposición en  $\text{cm}^2$  y  $t$  es el tiempo de exposición en años.

Para los métodos electroquímicos se utilizó una celda electroquímica de tres electrodos: electrodo de referencia (RE) se usó el electrodo saturado de Calomel (CSE), electrodo auxiliar (AE) se utilizo un electrodo de platino y electrodo de trabajo (WE) que es la muestra de cada probeta metálica utilizada con un área de  $1\text{cm}^2$ , la solución electrolito fue  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0.1M <sup>(6)</sup>. Las técnicas electroquímicas utilizadas fueron LPR, EIS y CP, para la secuencia de las técnicas se utilizo el Potenciostato ACM Instruments de 4 canales, el cual se encarga de recibir la señal del comportamiento electroquímico que se lleva a cabo en el sistema, registrado en la computadora en un ambiente Windows.

### RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos a través del uso de la normativa ISO, la tabla 2 muestra los resultados mediante los métodos electroquímicos, donde se incluyen los parámetros de potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ), Velocidad de corrosión ( $V_{corr}$ ) y La resistencia de polarización ( $LPR$ ) con la cual se propone el cálculo de la Autoprotectividad de los materiales metálicos expuestos de acuerdo a la ecuación 2.

$$\text{Autoprotectividad} = LPR_{\text{final}} / LPR_{\text{original}} \quad (2)$$

La Autoprotectividad es un número adimensional que puede mostrar la capacidad protectora que ejercen los productos de corrosión de los metales hacia ellos mismos, según las condiciones de agresividad a las que estén sujetos en la atmosfera.

Tabla 1 Velocidad de corrosión de acuerdo a la normativa (ISO 9223).

Inicio 30-ago-07	$V_{corr}$	Final 30-ago-08
Material	( $\mu\text{m}/\text{año}$ )	Nivel de Corrosividad
AC-R	62.87	(C3) Moderada
Gal-A	2.652	(C3) Moderada
Cobre	6.019	(>C5)Muy alta
Aluminio	18.61	(>>C5)Muy alta

Tabla 2. Resultados de las mediciones electroquímicas de los metales expuestos en la atmósfera en la Zona Norte del estado de Veracruz.

Estación del año	Material	$E_{corr}$ mV	$LPR$ , $\Omega\text{-cm}^2$	$V_{corr}$ mm/año	Autoprotectividad
0 Exposición	AC-R	-660.56	66723	$3.86 \times 10^{-1}$	0
	Gal-A	-1048.2	1838.8	$2.13 \times 10^{-1}$	
	Cobre	-22.124	112150	$5.41 \times 10^{-3}$	
	Alumínio	-436.05	151086	$5.54 \times 10^{-3}$	
Otoño/07	AC-R	-482.61	149.62	2.0189	$2.22 \times 10^{-3}$
	Gal-A	-1063.5	3444.2	$8.77 \times 10^{-2}$	1.87
	Cobre	-24.577	3895.8	$7.75 \times 10^{-2}$	$3.4 \times 10^{-2}$
	Alumínio	-189.55	136760	$2.21 \times 10^{-3}$	0.905
Invierno/07-08	AC-R	-325	244.7	1.2346	$3.6 \times 10^{-3}$
	Gal-A	-1060.4	10901	$2.77 \times 10^{-2}$	5.93

	Cobre	-4.75	2817.2	$2.15 \times 10^{-1}$	$2.51 \times 10^{-2}$
	Alumínio	-608	73146	$3.88 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-1}$
Primavera/08	AC-R	-271.6	306.55	$9.86 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^{-3}$
	Gal-A	-1035.5	2803.9	$1.39 \times 10^{-1}$	1.52
	Cobre	62.35	64435	$4.70 \times 10^{-3}$	$5.75 \times 10^{-1}$
	Alumínio	-549.06	1760500	$1.61 \times 10^{-4}$	11.6
Verano/08	AC-R	-200.8	617.6	$4.89 \times 10^{-1}$	$9.2 \times 10^{-3}$
	Gal-A	-1048.5	15385	$2.54 \times 10^{-2}$	8.37
	Cobre	-16.28	3680.6	$1.65 \times 10^{-1}$	$3.28 \times 10^{-2}$
	Alumínio	-525.7	249760	$1.14 \times 10^{-3}$	1.65

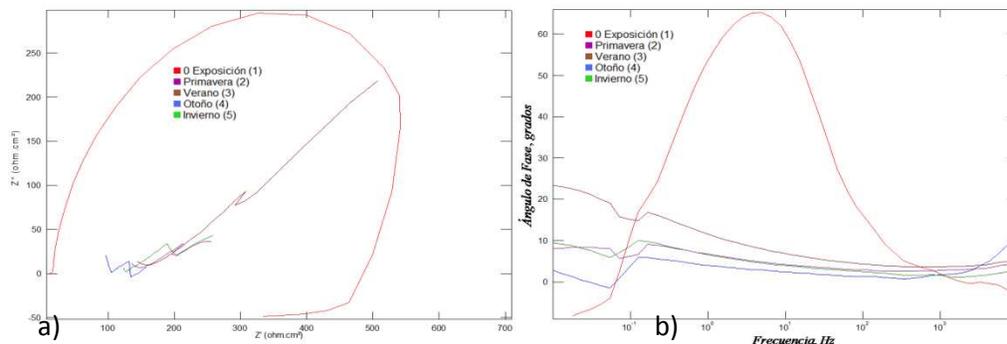


Figura 1 Diagramas de impedancia en Nyquist (figura 1 a) y en Bode (figura 1 b)) para el Acero al Carbón en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

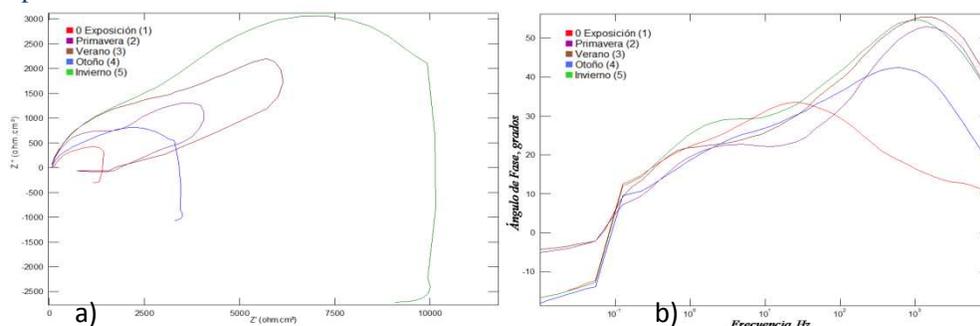


Figura 2 Diagramas de impedancia en Nyquist (figura 2 a) y en Bode (figura 2 b)) para el Acero Galvanizado en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

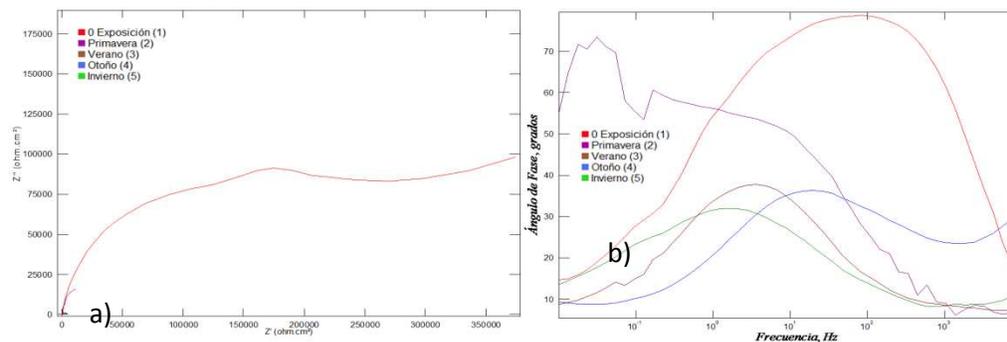


Figura 3. Diagramas de impedancia en Nyquist (figura 3 a) y en Bode (figura 3 b)) para el Cobre en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

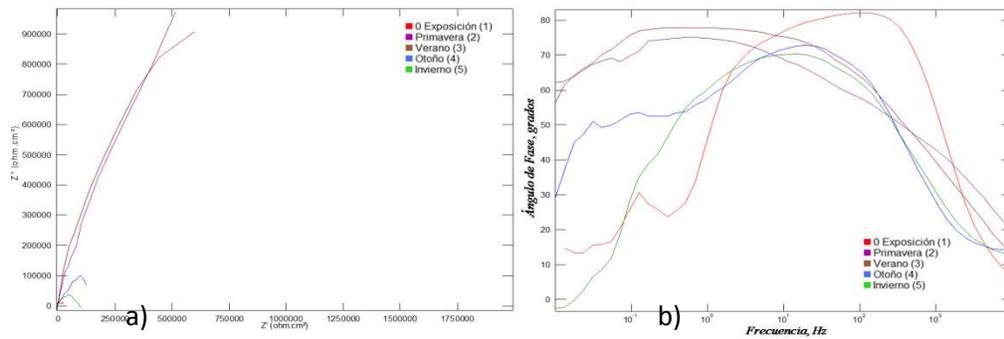


Figura 4. Diagramas de impedancia en Nyquist (figura 4 a) y en Bode (figura 4 b) para el Aluminio en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

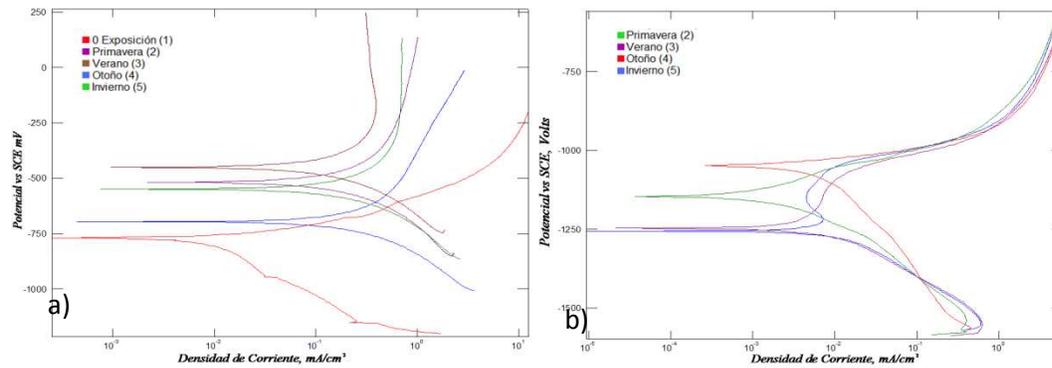


Figura 5. Curvas de Polarización Potenciodinámicas para el Acero al Carbón (figura 5 a) y el Acero Galvanizado (figura 5 b) en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

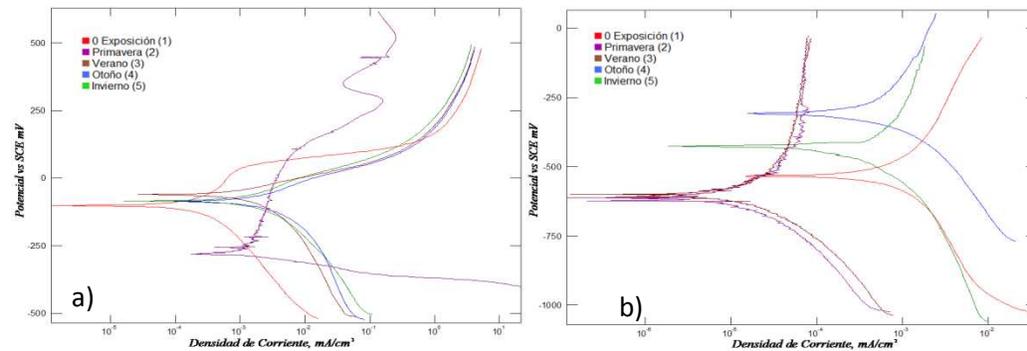


Figura 6. Curvas de Polarización Potenciodinámicas para el Cobre (figura 6 a) y el Aluminio (figura 6 b) en exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

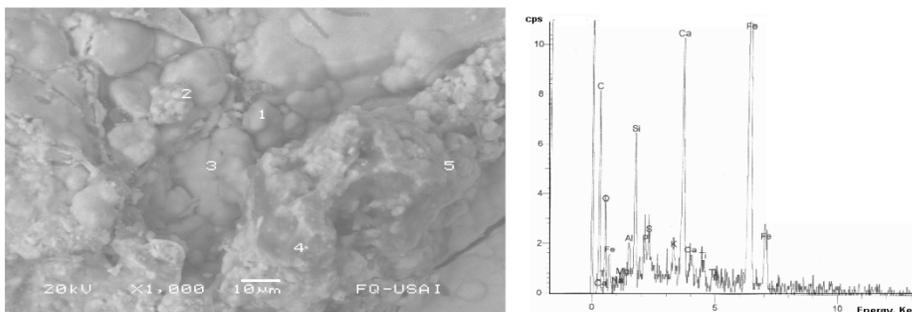


Figura 7. Microscopía de la muestra de Acero al Carbón y composición química en el punto 4 después de un año de exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

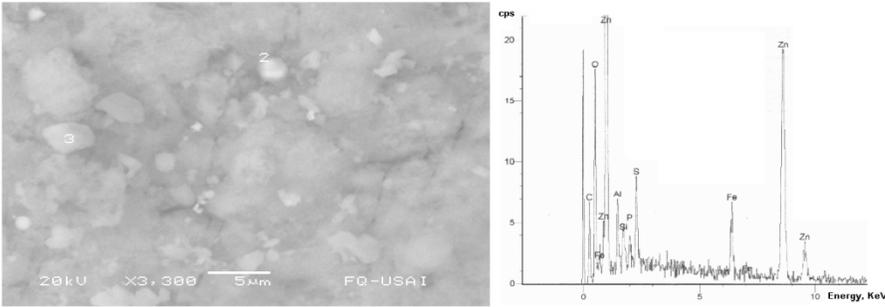


Figura 8. Microscopía de la muestra de Galvanizado y composición química en el punto 2 después de un año de exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

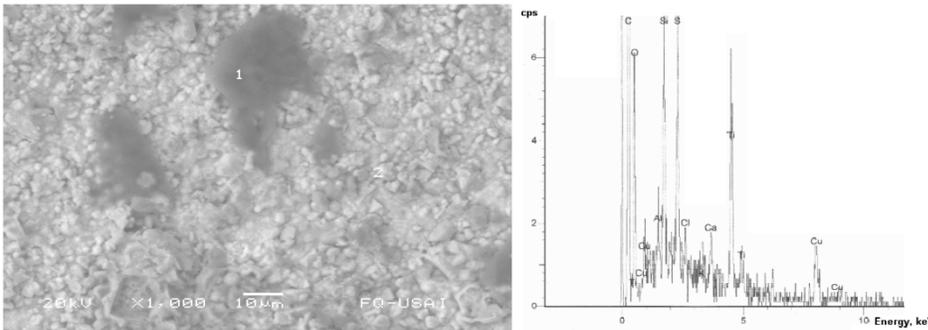


Figura 9. Microscopía de la muestra de Cobre y composición química sobre el punto 1 después de un año de exposición atmosférica en la Zona Norte del estado de Veracruz.

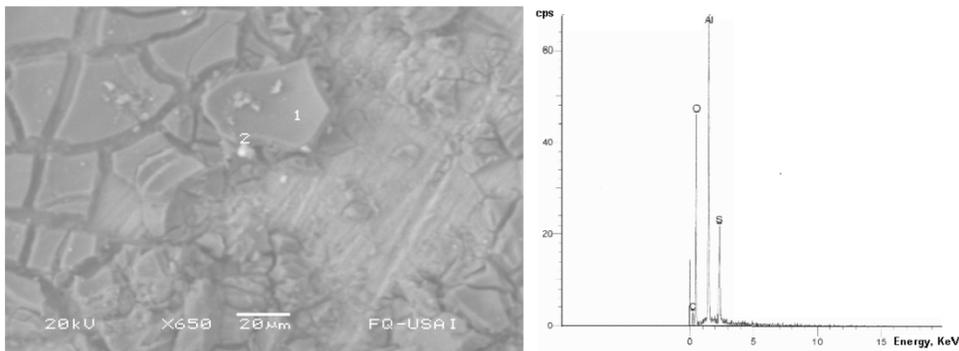


Figura 10. Microscopía de la muestra de Aluminio y composición química sobre el punto 1 después de un año de exposición atmosférica en Poza Rica.

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*Muestras de acero al carbón:* En la figura 1 a), en semicírculo de cero exposición se observa control por activación del proceso de corrosión por transferencia de carga debido a que la superficie metálica se encuentra limpia <sup>(1)</sup>. En las demás estaciones del año se observa control de difusión limitada por las capas de productos de corrosión formadas. En las cuatro estaciones del año la resistencia de polarización ofrecida por las muestras metálicas AC- R disminuyo y la corrosividad se incremento, lo cual significa que los productos de corrosión formados a nivel interfase metal-electrolito son muy permeables al no lograr sellar la alta porosidad de la capa de productos de corrosión <sup>(6)</sup>. En la figura 1 b), se observa en la región de alta frecuencia ( $10^2$  a  $10^3$  Hertz), la formación de capas de productos de corrosión que brindan baja autoprotectividad entre 2 a 9 milésimas de unidad (ver tabla 2) al metal base conforme aumenta el tiempo de exposición, sin embargo la porosidad de las capas se incrementa con el

tiempo al presentarse la influencia del proceso de difusión en la región de baja frecuencia ( $1$  a  $10^{-2}$  Hertz). La curva de polarización de la figura 5 a) muestra el control mixto del proceso de corrosión para cada estación del año. El acero al carbón mostró un nivel de corrosividad moderado en la tabla 1, de acuerdo con la normativa ISO 9223, lo cual significa que el acero alcanza a formar capas autoprotectoras contra la agresividad atmosférica de Poza Rica. En la microscopia de la figura 7, se observa la presencia de azufre como especie contaminante en el punto 4, Fe y Ti que provienen del sustrato metálico. La morfología indica que el principal componente de los productos de corrosión estaría en forma de lepidocresita ( $\gamma$ -FeOOH) en los puntos 4 y 5 y Goetita ( $\alpha$ -FeOOH) en los puntos 1 y 3, sin embargo sería necesario hacer análisis de rayos X para compuestos y determinar con precisión los óxidos formados<sup>(7)</sup>.

*Muestras de galvanizado comercial:* En la figura 2 a), los semicírculos presentan control por activación al principio y dominio de la difusión limitada en el resto de la exposición, aumentando su resistencia de polarización y disminución de la corrosividad, debido a la formación de productos de corrosión en la interfase metal-electrolito que tienen buena impermeabilidad, lo cual brinda buena protección al sustrato. En la figura 2 b), se aprecia la formación de capas de productos de corrosión de zinc formados y detectados en la alta frecuencia<sup>(6)</sup>, lo cual se debe a el taponamiento por productos de corrosión del Zinc sobre los poros generados en las capas de galvanizado que incrementan la autoprotectividad en un intervalo de 1.87 a 8.37 (ver tabla 3). En la figura 5 b) se observa control mixto entre las reacciones anódicas y catódicas. El nivel de corrosividad detectado en la tabla 1 es de un nivel moderado, de acuerdo con la normativa ISO 9223, lo cual implica la buena resistencia del zinc para las condiciones atmosféricas de Poza Rica<sup>(7)</sup>.

En la figura 8, se encuentra el S como especie contaminante en el punto 2 y algunos elementos pertenecientes al sustrato metálico base como el Zn, Fe, Al y C. La morfología de los productos de corrosión indican la presencia de amorfos ZnO y Zn (OH)<sub>2</sub>.

*Muestras de cobre:* En la figura 3 a) se observa el control del proceso de corrosión por la transferencia de carga o activación y la presencia de difusión limitada. En primavera se aprecia una disminución considerable de la resistencia de polarización y un aumento considerable en corrosividad, lo que implica la agresividad de las condiciones atmosféricas y la formación de productos de corrosión con baja protección ante el ataque selectivo de iones agresivos. La figura 3 b), muestra la formación de una capa protectora de productos de corrosión en alta frecuencia en la estación de otoño que disminuye drásticamente en invierno lo cual se confirma por el bajo nivel de autoprotectividad de  $3.47 \times 10^{-2}$  a  $5.75 \times 10^{-1}$  (ver la tabla 2), sin embargo registra la presencia de corrosión por activación en la media frecuencia ( $1$  a  $10^2$  Hz) en todas las estaciones del año, con mínima influencia de difusión limitada en la baja frecuencia, esto puede ser debido a las buenas propiedades impermeables de la capa de productos de corrosión<sup>(6)</sup>. En la figura 6 a) se observa control mixto, sin embargo para la estación de primavera se observa que el Cobre fue más susceptible a la corrosión anódica que implica ataque al metal base. El nivel de corrosividad detectado fue en el límite más alto considerado por la norma ISO 9223, lo cual puede ser atribuido a la presencia de los compuestos de azufre<sup>(7)</sup>. En la microscopia mostrada en la figura 9, existe Cl<sup>-</sup> y S como especies contaminantes en el punto 1 y otras especies provenientes de las partículas como el Si y el Ca, también existen elementos provenientes de la composición química del sustrato metálico. La morfología de los productos de corrosión en el punto 2 podría indicar que se trata de Cuprita (Cu<sub>2</sub>O) y Calcocita (Cu<sub>2</sub>S) en el punto 1.

*Muestras de aluminio:* La figura 4 a) en cero exposición es posible apreciar valores de resistencia de polarización muy bajos, sin embargo en otoño y primavera se observa una tendencia a incrementar su valor, por lo que se puede decir que el aluminio tiende a formar capas pasivas sobre la superficie y de productos de corrosión que taponan la superficie pasiva del sustrato mediante el sellado de poros. En primavera y verano se observa que los productos de corrosión han sellado los poros mostrándose una disminución de la velocidad de corrosión, no obstante se manifiesta impedancia tipo Warburgh lo cual implica que la permeabilidad no es completa. En la figura 4 b), es posible apreciar la presencia de una

compacta película de productos de corrosión, detectada en la zona de alta frecuencia y también por el alto nivel de autoprotectividad registrado en el intervalo de 1.43 a 34.37 (ver tabla 2), sin embargo también se registró la presencia de corrosión por los procesos de activación en la región de media frecuencia y de difusión limitada inicialmente y con el tiempo de exposición se convirtió en tipo Warburgh en la baja frecuencia. En la figura 6 b), las Curvas de Polarización Potenciodinámicas indican un mecanismo de corrosión es mixto. El nivel de corrosividad tipo ISO se detectó muy alto y por encima de la norma ISO 9223 (ver tabla 1) <sup>(7)</sup>. La microscopia para el aluminio en la figura 10 muestra la presencia de azufre como especie contaminante en el punto 1. La morfología de los productos de corrosión indicaría que se trata de alúmina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ).

#### CONCLUSIÓN

Las principales conclusiones son las siguientes:

- 1.- Los métodos electroquímicos representan una herramienta de gran utilidad para el estudio de la corrosión atmosférica, por ejemplo a través del comportamiento de la Autoprotectividad.
- 2.- La agresividad atmosférica de la zona norte de Veracruz resulta muy alta para los metales cobre y aluminio, de acuerdo con las especificaciones de la normativa ISO.
- 3.- Queda demostrada la necesidad de utilizar recubrimientos anticorrosivos para contrarrestar los daños causados por la corrosión atmosférica.

#### REFERENCIAS

1. Cruz Islas E. "Evaluación del recubrimiento metálico Zn-Al mediante la técnica Espectroscopia de Impedancia Electroquímica y Difracción de Rayos X", Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, Poza Rica de Hgo. Ver. 2002.
2. Genescá Ll. J. y Ávila J., "Más Allá de la Herrumbre 1", Ed. Fondo de Cultura Económica 2ª Reimpresión, México 1996.
3. Genescá Ll. J. y Ávila J., "Más Allá de la Herrumbre 3", Ed. Fondo de Cultura Económica, 1ª Reimpresión, México 1995.
5. Morcillo M., et al., "Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica", Proyecto MICAT, XV.1/CYTED, Madrid 1999.
6. Ramírez Reyes J. L., "Métodos Experimentales en la Ciencia de la Corrosión", Ed. Instituto de Ingeniería, UV, Veracruz 2007.
7. Ramírez Reyes J. L., Informe final proyecto 29101, Dirección General de Investigaciones de la Universidad Veracruzana, 2009.

# Equipo para la enseñanza-aprendizaje de conceptos de diseño, instrumentación electrónica y programación bajo LABView en el monitoreo de procesos industriales

M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda <sup>1</sup>

**Resumen**—Se presenta la integración de una tarjeta de instrumentación electrónica, una tarjeta USB6008 de la National Instruments y el Lenguaje de Programación LABView 8.0 para el monitoreo en computadora de tres variables físicas usadas en procesos industriales. Se guió a dos alumnos de Ingeniería en el desarrollo de este trabajo con el fin de inducir el interés del aprendizaje en el diseño e implementación de conceptos de Ingeniería y proponer una enseñanza objetiva y con proyección productiva.

**Palabras claves**—enseñanza, aprendizaje, diseño, instrumentación, programación.

## I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Ingeniería en Instituciones de Educación Superior en Tehuacán y su región ha confundido la actualización de conocimientos con la operación de equipos importados. Enseñar conceptos básicos de Ingeniería es confundido con guiar lo que se ha establecido en manuales y las aplicaciones que existen al comprender el manejo de dichos equipos. Por otro lado, el aprendizaje se ha centrado en interpretar manuales de operación, fórmulas y gráficas sin comprender las razones que conllevan escoger los elementos de un sistema o equipo y cómo deben interactuar para lograr un funcionamiento y aplicación deseada por un usuario. Lo anterior conlleva a no desarrollar ingeniería en nuestro País teniendo gran riqueza de recurso humano.

La figura 1 muestra el resultado de un sistema de monitoreo de procesos industriales al integrar una tarjeta de instrumentación electrónica, una tarjeta de adquisición de datos USB6008<sup>8</sup> de la National Instruments<sup>®</sup> y el lenguaje de programación gráfico LABView 8.0<sup>®</sup> de la National Instruments. Se diseñó e implementó la tarjeta que instrumenta 3 variables ampliamente usadas en procesos industriales: posición y velocidad angulares por medio del decodificador óptico S4-300-NT<sup>2</sup> de la USDIGITAL<sup>®</sup>. Además, se conectó directamente a la tarjeta USB6008 el sensor de temperatura LM35<sup>3</sup> y se configuró la tarjeta USB6008 para reconocer y disponer en LABView<sup>®</sup> la lectura de las 3 variables. La programación para el monitoreo de las variables en la computadora se desarrolló como última parte de este trabajo. Cabe mencionar que en todo este proceso se asesoró a dos alumnos de Ingeniería de cuarto semestre con el fin de llevar a la práctica el título de este artículo.



Figura 1. Componentes para el monitoreo de variables

<sup>1</sup> M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda es Profesor de Licenciatura en Sistemas Computacionales en el Instituto de Estudios Superiores del Estado, Santa Ana, Nicolás Bravo, Tehuacán, Puebla. [daniel\\_jesus\\_2005@yahoo.es](mailto:daniel_jesus_2005@yahoo.es)

## DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

### *Diseño de la Instrumentación electrónica para la posición angular*

La figura 2 muestra la tarjeta de instrumentación electrónica de posición y velocidad angulares. El primer elemento es el decodificador óptico incremental S4-300-NT; el cual, convierte posición, velocidad y dirección de su flecha a dos señales digitales de onda cuadrada compatibles con tecnología *TTL*; las cuales, son provistas a través de dos canales: *CHA* y *CHB*. La dirección de la flecha se obtiene de dos pines del CI LS7084<sup>4</sup>, el pin *CLOCK* y el pin *UP/DOWN*. Si se mira de frente la flecha del decodificador y se gira en el sentido de las manecillas del reloj, la señal del *CHB* estará adelantada 90° con respecto a la señal del *CHA*. Cuando esto sucede la señal *UP/DOWN* se activa a 5 volts y el pin *CLOCK* enviará una señal típica de reloj *TTL* siempre

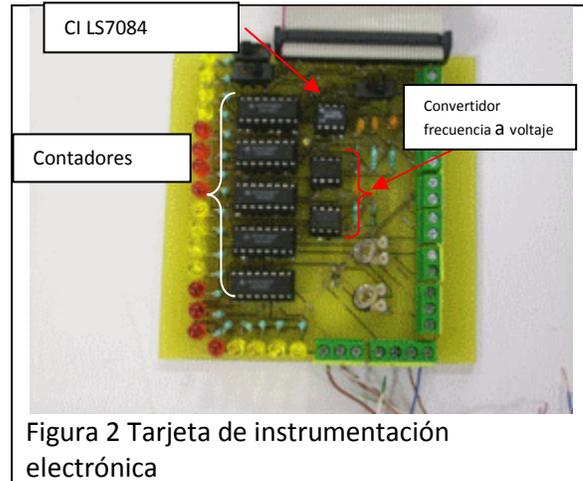


Figura 2 Tarjeta de instrumentación electrónica

y cuando exista desplazamiento en la flecha. Ambas señales, *CLOCK* y *UP/Down* están conectadas al último bloque. Si el giro en la flecha se invierte, entonces, la señal del *CHA* está adelantada 90° con respecto a la señal del *CHB* y de igual manera mientras exista desplazamiento en este sentido ahora la señal *UP/DOWN* se activará a 0 volts y la señal proveniente del pin *CLOCK* enviará su señal de reloj. Por último, el tercer bloque consiste de un grupo de 5 Circuitos Integrados HEF 4516<sup>5</sup>, los cuales, son contadores binarios y están conectados en cascada. Las señales de entrada *CP* y *UP/DN* de estos dispositivos reciben las señales *CLOCK* y *UP/DOWN* del CI LS7084 para realizar la cuenta ascendente o descendente en sus líneas de salida. Cada contador tiene 4 líneas y en total se disponen de 20 líneas para realizar una cuenta máxima de  $2^{20} - 1 = 1\ 048\ 575$ . Como el decodificador entrega 300 pulsos por vuelta, entonces el número máximo de vueltas es de 3495.25 vueltas.

Se debe aclarar que solo se usaron 12 salidas de estos contadores debido a que la tarjeta USB6008 solo dispone de este número. Por lo tanto, la cuenta máxima a utilizar es de  $2^{12} - 1 = 4095$ . Y el número máximo de vueltas es de 13.65 vueltas.

En esta tarjeta se tienen dos interruptores: el interruptor de *reset* y el interruptor de resolución  $x1/x4$ . El primero de ellos tiene la función de inicializar la cuenta a cero de los contadores para iniciar en cualquier momento un nuevo conteo de pulsos. Los leds indicadores son apoyo para detectar fácilmente la cuenta en binario o si parte del circuito está fallando. El segundo interruptor, resolución  $x1/x4$ , maneja dos resoluciones. En el modo  $x1$  el LS7084 solo envía por su señal de *CLOCK* un pulso por cada señal cuadrada que se genere en el *CHA* o *CHB*, mientras que en el modo  $x4$  envía 4 pulsos de reloj por cada señal cuadrada que se genere en el *CHA* o *CHB*.

### *Instrumentación electrónica de velocidad angular*

Para instrumentar la velocidad se añadieron 2 circuitos integrados en este diseño: el LM331N<sup>6</sup> y el LM741<sup>7</sup>. Se conectó la señal de salida del *CHA* a la señal de entrada del primer CI, ya que éste es un convertidor de frecuencia a voltaje, es decir, al variar la velocidad angular de la flecha se varía también la frecuencia de la onda cuadrada que entrega el *CHA*. El CI LM331 entrega un voltaje de corriente directa negativo y proporcional a su frecuencia de entrada. Además, el rango de voltajes que entrega va de 0 a 500 milivolts para un rango de frecuencias de 0 a 900 Hz.

### *Tarjeta de Adquisición de datos USB6008*

La tabla 1 muestra las señales de conexión entre la tarjeta de instrumentación electrónica y la tarjeta de adquisición de datos USB6008. La figura 3 muestra la imagen de ambas tarjetas.

En la tarjeta USB6008 se tienen 12 bits digitales pero formados por dos puertos: el Puerto cero P0, con 8 bits y el Puerto uno P1, con 4 bits. Para la lectura del voltaje analógico proporcional a la velocidad

angular se usó el canal analógico de entrada cero, ai0. El sensor de temperatura está conectado al canal analógico de entrada 1, ai1. Estos canales reciben voltaje dentro del rango de -10 a +10 volts.

Bits de tarjeta de Instrumentación	Bits de tarjeta USB 6008
B0 (LSB) ... B12 (MSB)	P0.0(LSB) ... P1.3 (MSB)
Señal Analógica	Canal analógico
Voltaje analógico de velocidad del LM741	Ai0
Señal de sensor de temperatura LM35	Ai1

Tabla 1 Relación de interconexión entre tarjetas

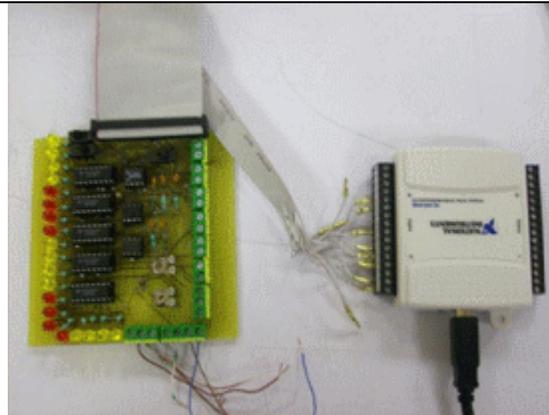


Figura 3. Tarjetas de instrumentación y USB6008

### PROGRAMACIÓN EN LABVIEW 8.0

#### Programación de la posición angular

En el lenguaje de programación LabView 8.0 se cuenta con funciones *express* para facilitar la adquisición de datos y son llamados *DAQ Assistant*. Para la lectura de los puertos digitales P0 y P1 se configuraron dos *DAQ Assistant* ya que el tipo de tarjeta solo maneja de manera independiente máximo 8 *bits* por puerto. La figura 4 muestra el código gráfico de la programación de la posición angular. Se implementó la concatenación de *bytes* al desplazar el *byte* del puerto P1 como el *byte* más significativo y el *byte* del puerto P0 como el menos significativo y así disponer de una palabra de 12 *bits*. Por último, se usaron indicadores para mostrar los pulsos contados. Se implementaron operaciones matemáticas para convertir los pulsos en número de vueltas.

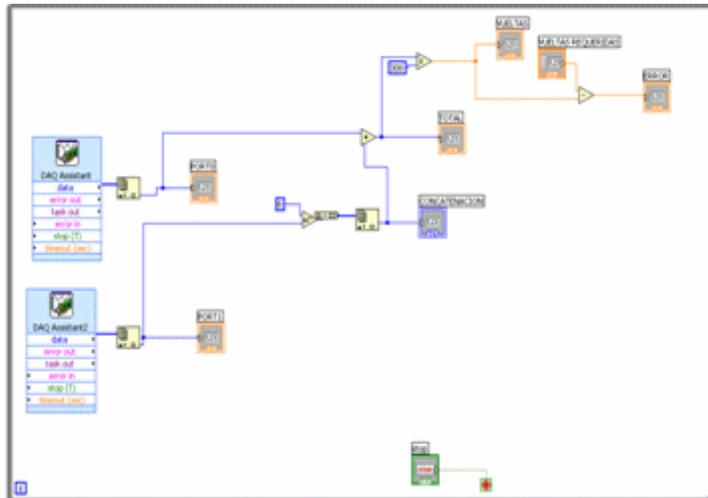


Figura 4 Código de programa en LabView 8.0

#### Programación de velocidad y temperatura

Para estas dos variables es suficiente con usar la función *express DAQ Assistant* por separado. La señal de salida de cada *DAQ Assistant* de entrada analógica se conecta a indicadores para mostrar los valores correspondientes a sus variables. Dentro del proceso de configuración se asigna la constante de proporcionalidad entre la señal de voltaje que entra a la tarjeta USB6008 a la variable que realmente se está sensando para poder ser visualizada de acuerdo a grados centígrados y RPM, respectivamente. La constante de proporcionalidad de la temperatura es de 1000, ya que el sensor entrega 10 milivolts por grado centígrado.

#### Integración de variables en un Instrumento virtual

La programación en LABView siempre requiere de elaborar dos archivos<sup>1</sup>: el panel frontal y el diagrama a bloques. La figura 5 muestra el panel frontal y el diagrama bloques del monitoreo de posición y velocidad angular, así como también de temperatura. Se crearon *SubVI's* que son funciones que engloban operaciones o procesos ya determinados en un solo ícono para simplificar la programación. Se creó el *SubVI 2* para la instrumentación de la posición angular explicada en la primera sub-sección. Los *subVI's* 1 y 3 son para temperatura y velocidad, respectivamente.

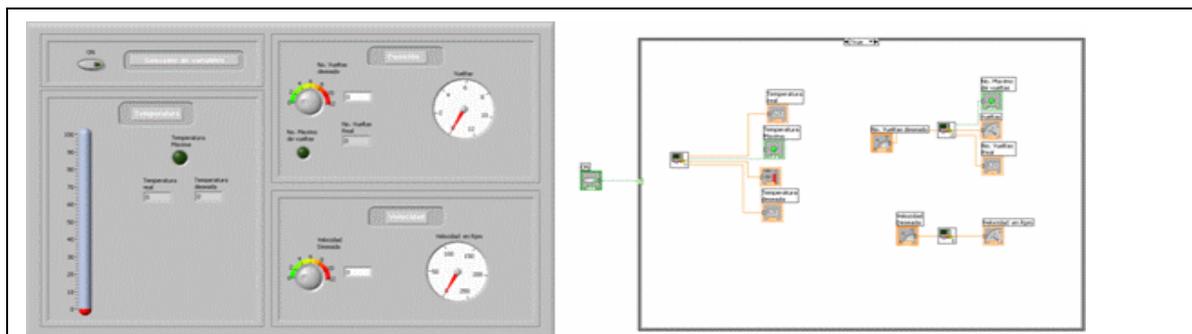


Figura 5 Imagen del panel frontal y diagrama a bloques del Instrumento virtual de monitoreo de procesos industriales

## COMENTARIOS FINALES

### Resumen de resultados

Las tres variables se monitorearon en la Computadora bajo el panel frontal de la figura 5. La tarjeta que diseñaron e implementaron los alumnos se logró concluir. Se configuraron los puertos digitales y canales analógicos de la tarjeta USB6008 y se concluyó la programación de las variables a monitorear. Cabe señalar que la enseñanza sólo se condujo al explicar brevemente los conceptos básicos de Ingeniería.

### Conclusiones

Para poder realizar un proyecto más ambicioso se requiere en definitiva otra tarjeta de adquisición de datos con mayores prestaciones para poder abarcar la implementación de todo un proceso industrial. La programación presentó un poco de dificultad ya que no se tiene este tipo de Lenguajes en los cursos de Ingeniería. Por falta de recursos no se pudo determinar la constante de proporcionalidad de la velocidad. Sólo se dedicaron tiempos breves para explicar lo que se deseaba implementar y la manera en que se debía realizar. Esto muestra que la enseñanza de este tipo de conceptos ingenieriles, requiere de herramientas y disposición para facilitar y garantizar una transmisión de conocimientos productivos.

## REFERENCIAS

<sup>1</sup> Lajara Vizcaino José Rafael y Pelegrí Sebastián José. "LabVIEW Entorno gráfico de programación". Alfaomega marcombo. BOIXERAU editores.

<sup>2</sup> Hoja de datos del decodificador óptico S4-300-NT. Página de Internet en Inglés de la Compañía USDIGITAL. Vancouver, Washington, 98684, USA. Dirección de Internet [www.usdigital.com](http://www.usdigital.com).

<sup>3</sup> Hoja de datos del Circuito Integrado LM35. Página en Internet en Inglés. [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com).

<sup>4</sup> Hoja de datos del Circuito Integrado LS7084. Página de Internet en Inglés de la Compañía USDIGITAL. Vancouver, Washington, 98684, USA. Dirección de Internet [www.usdigital.com](http://www.usdigital.com).

<sup>5</sup> Hoja de datos del Circuito Integrado HEF 4516. Philips Semiconductor Manual.

<sup>6</sup> Hoja de datos del Circuito Integrado LM331. [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com).

<sup>7</sup> Hoja de datos del Circuito Integrado LM741. [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com).

<sup>8</sup> Hoja de especificaciones técnicas de la tarjeta de adquisición de datos USB6008 de la National Instruments. Página en Internet de la Compañía NI. [www.ni.com](http://www.ni.com).

El **M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda** es profesor de la Licenciatura de Sistemas Computacionales y Subdirector de Planeación del Instituto de Estudios Superiores del Estado, Santa Ana, Nicolás Bravo, Tehuacán, Puebla. Terminó sus estudios de postgrado en Mecatrónica en el CINVESTAV, D.F. Trabajó en el área de Mecatrónica en UPPITA, D.F. Actualmente colabora también con el departamento de Eléctrica-Electrónica del ITT.

## Instrumentación virtual y control del equipo IQ-3858 ATECH bajo LABView 8.0 y la tarjeta USB6008 de NI

M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda<sup>1</sup>, Selthiel Mendoza Marín<sup>2</sup>

**Resumen**—Se presenta el desarrollo del trabajo de la puesta en marcha, instrumentación electrónica, programación y control automático del equipo IQ 3858 Atech. Se diseño e implementó la tarjeta de instrumentación de actuadores de este equipo y se automatizó realizando la programación en LABView 8.0<sup>®</sup>. La tarjeta de adquisición de datos USB6008 de la National Instruments sirvió de comunicación bidireccional entre la computadora y el equipo.

**Palabras claves**— diseño, instrumentación, programación gráfica, automatización.

### I. INTRODUCCIÓN

La figura 1 muestra un entrenador de procesos industriales llamado "IQ-3858 ATECH", el cual, fue adquirido para el entrenamiento de estudiantes de Ingeniería del ITT. Está compuesto de 4 elementos principales: una olla para almacenar agua a un nivel específico y a una temperatura deseada; 1 depósito de agua, el cual, contiene el líquido que será suministrado por medio de la bomba de corriente alterna; 1 radiador para el enfriamiento del agua y 1 tablero de control manual para operar dicho sistema de entrenamiento.

Este equipo estaba en condiciones no adecuadas de operación, es decir, tenía fugas en su tubería, cortos circuitos en la red eléctrica y la bomba desarmada. Aunado a lo anterior, no se dispone de manual ni documentación alguna por parte de la empresa para su correcta operación.

Los objetivos de ingeniería consisten en: a) rediseñar la instrumentación electrónica adecuada para monitorear y controlar las variables de nivel y temperatura del agua contenida en el tanque y b) elaborar el programa bajo LABView 8.0<sup>®</sup> que monitoreará y controlará las variables mencionadas en el inciso anterior.

El objetivo académico consiste en inducir a los estudiantes de ingeniería en la perspectiva adecuada para su formación, es decir, ser competitivo a nivel de diseño e implementación del mismo que es la necesidad apremiante en el campo laboral y de investigación.



Figura 1 Equipo IQ-3858 ATECH

<sup>1</sup>M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda es Profesor de la Licenciatura en Sistemas Computacionales del Instituto de Estudios Superiores del Estado, Santa Ana, Nicolás Bravo, Tehuacán, Puebla. [daniel\\_jesus\\_2005@yahoo.es](mailto:daniel_jesus_2005@yahoo.es) (autor corresponsal)

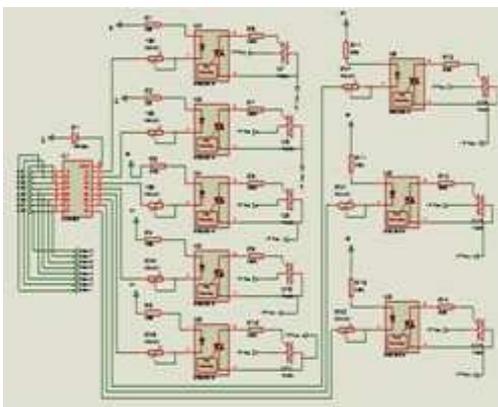
<sup>2</sup> El C. Selthiel Mendoza Marín es egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, Puebla. [sel\\_13@hotmail.com](mailto:sel_13@hotmail.com)

## INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

### *Breve descripción del funcionamiento*

El usuario de este equipo puede variar las variables de nivel de agua y temperatura en la olla. El nivel del agua en la olla se maneja en porcentaje y solo se dispone de 2 niveles: Nivel Bajo y Nivel Alto; que van de los rangos de 0 a 45 % y de 50 a 80 %, respectivamente. Para la temperatura también se maneja 2 rangos: Temperatura Baja y Temperatura Alta; que van de 0 a 15 °C y de 16 a 50 °C, respectivamente. Las otras dos variables que el usuario no puede manipular pero si considerar a la hora de operar el equipo son: Nivel de depósito y Presión en la Olla. En este trabajo se implementaron las acciones preventivas para evitar la situación de que la temperatura en la olla se incremente de tal forma que provoque una presión excesiva y suceda explosión en la olla. Por otro lado, también se previno la situación de dejar vacío el depósito que alimenta a la olla y la bomba sufra daños, así como el tener un desbordamiento de agua en el mismo. Los niveles que se manejan para estas variables son: para el depósito, Nivel Bajo y Nivel Alto, con rangos que van de 0 a 45 % y de 50 a 100 %, respectivamente. Para la presión: Presión Alta y Presión Baja que va de 0 a 15% y de 16 a 30%, respectivamente. Se puede operar este equipo en el modo manual o modo automático. La selección se hace en el tablero de control. El funcionamiento en el modo automático consiste en lo siguiente: una vez que el botón de selección en modo automático se elige se inicia el sensado de las variables del sistema. Se escoge el nivel deseado en la olla por medio del control correspondiente en el panel frontal (ver figura 5), la bomba es encendida desde el programa siempre y cuando exista agua arriba del nivel bajo del depósito para evitar que trabaje en vacío y se dañe. El nivel de olla se incrementa y la bomba se apaga hasta que el sensor de nivel electromagnético<sup>2</sup> ubicado en la olla indique que se ha llegado al nivel deseado. Cuando se indica la temperatura deseada la resistencia ubicada dentro de la olla es activada mediante una electroválvula para que el líquido incremente su temperatura. Cuando la termocupla PT100<sup>3</sup> comunica su voltaje al panel frontal, dentro del programa se enviará la señal de desactivación de la electroválvula para que la resistencia deje de proveer calor. Además, se activará la electroválvula que permitirá que el agua caliente circule por el radiador y la temperatura decrezca. Así, continúa hasta lograr la estabilidad de temperatura y nivel.

### *Instrumentación Electrónica*



El rediseño de la instrumentación electrónica consistió en construir una tarjeta electrónica que proteja la tarjeta de adquisición de datos USB6008 y que permitiera activar cada uno de los actuadores del equipo. La figura 2 muestra el diagrama esquemático de dicha tarjeta que tiene el Circuito Integrado ULN2803A<sup>4</sup> y se encarga de proteger la tarjeta de adquisición de datos, además, de incrementar la corriente que proviene de ésta. Las señales que provienen de este CI son enviadas al MOC 3011<sup>5</sup> que es un circuito opto acoplador que recibe señales de baja corriente y voltaje y en su salida ofrece el manejo de cargas de corriente alterna. Este circuito es importante ya que aísla

Figura 2. Tarjeta de instrumentación electrónica

la etapa de entrada a él con la de salida del mismo. En la salida de este circuito se conecta el actuador a activar o desactivar. La tabla 1 muestra la relación de actuadores que intervienen en el equipo.

### *Instrumentación del convertidor de corriente a voltaje*

La tarjeta USB6008 tiene canales analógicos de entrada que permite introducir señales de voltaje. Los sensores de temperatura y nivel del depósito ofrecen en su salida una señal analógica de corriente. Se

elaboró entonces un circuito que realizará la conversión de corriente a voltaje para que la tarjeta USB6008 pudiera leerla. La figura 3 muestra el diagrama esquemático.

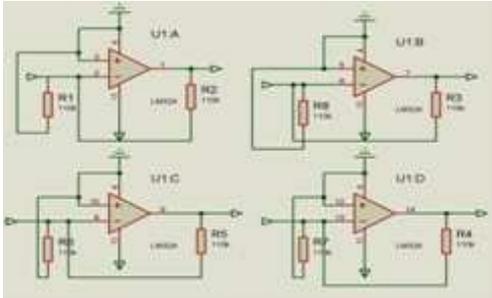
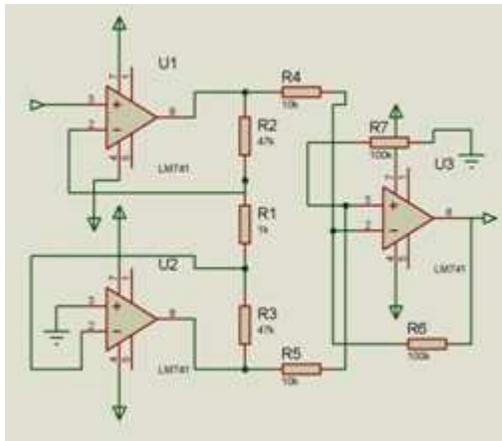


Figura 3 Diagrama esquemático del circuito convertidor de corriente a voltaje para la temperatura y el nivel

#### Instrumentación del sensor de temperatura PT100

Para el sensor de temperatura se requirió añadir de igual forma una instrumentación que ayudara a rechazar el ruido de señales eléctricas muy pequeñas y amplificar sus niveles de voltaje de salida. Se



implementó el clásico amplificador de Instrumentación. El problema que presentó este sensor es que la tarjeta de adquisición de datos tiene una muy baja impedancia de entrada en su señal analógica de entrada (aproximadamente 150 K $\Omega$ ), lo cual, no es suficiente para que el voltaje de entrada a la tarjeta estuviese estable. En el indicador de valor de temperatura se mostraban variaciones de la misma cuando ésta estaba fija. Se notaba una gran caída de voltaje con el hecho de conectar la salida de la terminal de voltaje del sensor con el pin de entrada de la tarjeta.

Gracias al circuito de la figura 4 se logró reducir significativamente esas variaciones.

Figura 4. Diagrama esquemático del Amplificador de instrumentación

### PROGRAMACIÓN EN LABVIEW 8.0

#### Tarjeta de Adquisición de datos USB6008 de NI

Para la programación en LABView 8.0 se requiere trabajar en dos archivos diferentes: el panel frontal y el diagrama de bloques. Estos archivos forman un Instrumento Virtual<sup>1</sup>. El panel frontal es como la carátula de un instrumento tradicional en el que se operan interruptores, controles y se visualizan alarmas, gráficas y datos (ver figura 5 imagen izquierda). En el diagrama de bloques (ver figura 5 imagen derecha) se realizan las conexiones para el flujo de los datos, es decir, aquí es donde se elabora la programación del Instrumento Virtual.

Para comunicar datos hacia o desde la computadora se utiliza la tarjeta de adquisición de datos USB6008<sup>6</sup> versión estudiantil de la National Instruments. Solo se utilizan 7 líneas de salida digital para manipular los actuadores y 4 canales analógicos de entrada para la lectura de los sensores. En la tabla 1se muestra la correspondencia.

Etiqueta del bit del puerto digital de salida	Actuador	Canal Analógico de entrada	Sensor a leer
P0.0	Resistencia de CA	ai0	PT100
P0.1	Electroválvula de alivio en olla	ai1	Nivel de depósito
P0.2	Electroválvula de radiador	ai2	Presión de olla
P0.3	Electroválvula de recirculación	ai3 (Off)	Nivel Olla (On-Off)
P0.4	Bomba		
P0.5	Electroválvula de llenado de olla		
P0.6	Electroválvula de refrigeración		

Tabla 1 Relación línea del puerto digital-actuador y canal analógico-sensor

### Programación en LABView 8.0

En la figura 5 se muestra el panel frontal con todos sus controles e indicadores. En este archivo se elabora la vista de frente del Instrumento Virtual llamado: Sistema de Control de Procesos. Se colocaron los controles de nivel alto y nivel bajo de la olla y el depósito; presión y temperatura alto y bajo en el líquido de la olla y por último se tienen indicadores como alarmas que se activan para prevenir una situación no deseada como desbordamiento de agua en la olla. Por último se disponen de indicadores en forma de leds que se iluminan cuando se activa alguno de los actuadores. Por cada control e indicador que se presente en este archivo automáticamente aparece su símbolo en el archivo de diagrama de bloques para realizar las conexiones necesarias entre estos elementos y los que se deben insertar para manipularlos.

La programación se implementa en el archivo de diagrama de bloques y se realizó en cuatro etapas: adquisición de datos analógicos, operaciones matemáticas, toma de decisiones y disposición de líneas digitales. En la primera etapa se reciben las cuatro señales de los sensores dentro de un *DAQ Assistant*, que es una función de LABView que permite configurar los canales analógicos de entrada de cada sensor. Sólo se debe indicar el número, los niveles de voltaje máximo y mínimo y la tasa de muestreo para cada canal. La segunda etapa se encarga de separar las señales provenientes del *DAQ Assistant* para trabajarlas de manera independiente. Se usa la función *select signal*. Además, también se realizan operaciones matemáticas para estandarizar los valores de voltaje que manejan los sensores a porcentajes de cada variable, es decir, el nivel de la olla se medirá en porcentajes. La siguiente etapa consiste en enviar a la etapa de disposición de líneas digitales las acciones adecuadas en cada uno de los actuadores dependiendo de los valores reales en cada uno de los sensores y de los valores deseados para que el equipo trabaje de manera requerida por el usuario. La última etapa envía el comando a cada uno de los actuadores del equipo. Se vuelve a utilizar la función *DAQ Assistant* para configurar el puerto digital de salida de cada una de las señales a mandar a los 7 actuadores. Debido a que se incorporan las señales de los sensores a la computadora y en ella se dispone de ajustar el nivel y la temperatura deseados de la olla, este sistema se ha convertido en modo automático ya que las decisiones de activar y desactivar actuadores las realiza el mismo programa; así como también el envío de dichas acciones se ha programado.

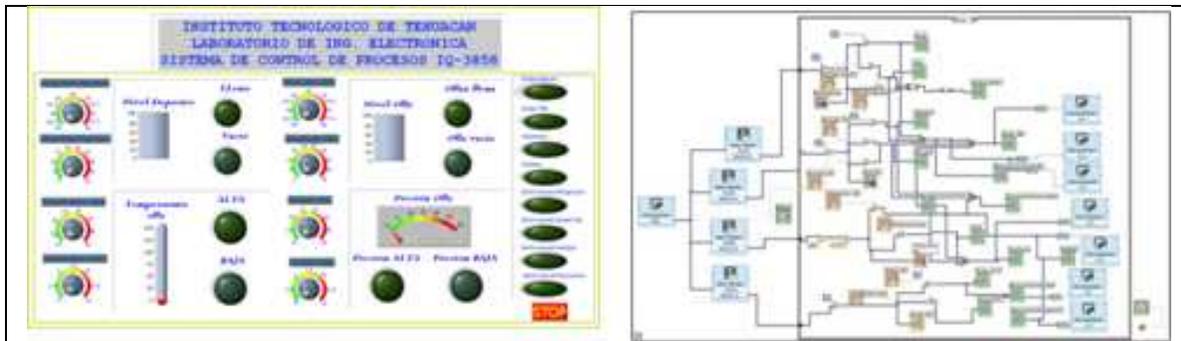


Figura 5. Panel Frontal y diagrama a bloques

### COMENTARIOS FINALES

Este trabajo presentó el rediseño de la instrumentación electrónica y la elaboración del programa de control del equipo IQ-3858 ATECH. Los resultados muestran que se logró cada uno de los objetivos planteados en la introducción con la excepción de tener dificultades con la bomba de corriente alterna.

*Conclusiones*

El desarrollo de este trabajo demuestra que la integración de los elementos del equipo, la tarjeta electrónica, la tarjeta de adquisición de datos USB6008 y la computadora representa un gran reto de diseño. Que el lenguaje de programación LABView 8.0 soporta el control de este tipo de equipos y más. No se esperaba que la tarjeta de adquisición de datos USB6008 presentara el problema en su canal analógico de entrada para la medición de temperatura de no poder realizar lecturas constantes o fijas para una temperatura específica. Esto es debido a que la tarjeta es de versión estudiantil y el sensor de temperatura es de uso industrial, además de que sus prestaciones son muy bajas.

Por último, se resalta que es posible el diseño automatizado de este tipo de equipo y más aún el monitoreo y control desde una Computadora. Este equipo fue concebido para uso a nivel operario y en el modo manual. En este caso el alumno de Ingeniería logró automatizar dicho equipo desde una computadora.

### REFERENCIAS

- <sup>1</sup> Lajara Vizcaino José Rafael y Pelegrí Sebastián José. "LabView Entorno gráfico de programación". Alfaomega marcombo, Boixareu editores.
- <sup>2</sup> Este dispositivo no fue encontrado en Internet. Tuvo que probarse en laboratorio para obtener sus características.
- <sup>3</sup> Hoja de datos del detector de temperatura TP100. Dirección de Internet [www.datasheet4u.com](http://www.datasheet4u.com).
- <sup>4</sup> Hoja de datos del CI ULN2803A. Dirección de Internet [www.datasheet4u.com](http://www.datasheet4u.com).
- <sup>5</sup> Hoja de datos del opto acoplador MOC3011 . Dirección de Internet [www.datasheet4u.com](http://www.datasheet4u.com).
- <sup>6</sup> Hoja de especificaciones de la tarjeta USB6008 de la National Instruments. Dirección de Internet [www.ni.com](http://www.ni.com).

**M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda** es profesor de la Licenciatura en Sistemas Computacionales y Subdirector de Planeación del Instituto de Estudios Superiores del Estado, Santa Ana, Nicolás Bravo, Tehuacán, Puebla. Realizó sus estudios de posgrado en el CINVESTAV, D.F. en Mecatrónica y trabajó en UPIITA D. F. en Ingeniería Mecatrónica. Actualmente es docente del departamento Eléctrica-Electrónica del ITT. Tehuacán, Puebla.

El **C. Selthiel Mendoza Marín** es alumno egresado del Instituto Tecnológico de Tehuacán de la carrera de Ingeniería Electrónica y actualmente está en proceso de contratación en el Sistema Nacional de Telesecundarias.

# Estudios del peligro sísmico y reducción del riesgo en las construcciones en Veracruz, Ver., México

Guadalupe Riquer Trujillo<sup>1</sup>, Francisco Williams Linera<sup>1</sup>, Regino Leyva Soberanis<sup>1</sup>, Javier Lermo Samaniego<sup>2</sup>, Alejandro Vargas Colorado<sup>1</sup>, Juan A. Guzmán Ventura<sup>3</sup>, Francisco de J. Trejo Molina<sup>3</sup>, Abigaíl Zamora Hernández<sup>1</sup>

**Resumen**—El Estado de Veracruz muestra una actividad sísmica notable, que ha causado daños importantes en las construcciones. No obstante los estudios sísmicos regionales son escasos, y no se cuenta con normas de construcción para condiciones locales. Este trabajo expone un análisis de la sismicidad en el estado, partiendo del estudio de catálogos históricos e instrumentales, donde se obtuvo un mapa con 6 regiones sismotectónicas. De aquí se seleccionaron 5 ciudades: zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), Coatzacoalcos, Orizaba, Catemaco y Poza Rica, para obtener un mapa de microzonificación con fines de diseño sísmico a partir de la evaluación del efecto de sitio, determinado mediante el registro de microtemores, usando la técnica de Nakamura y agrupando en familias de formas espectrales. Estos trabajos son financiados con fondos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz Llave.

**Palabras claves**—efecto de sitio, microzonificación sísmica, microtemores, peligro sísmico

## I.- INTRODUCCIÓN

Veracruz ha sido afectado históricamente por sismos destructivos, por lo que se hizo un análisis de la sismicidad y se sugirieron 6 regiones sismotectónicas, unas con mayor peligro que otras, sin que esto sea una garantía de exención. Se deduce que para prever crisis futuras y superarlas, se requiere entre otras cosas, del conocimiento de la respuesta dinámica de los suelos sobre los que se desplantan las construcciones.

El reglamento de construcciones vigente para el estado de Veracruz-Llave (1979), no cuenta con normas técnicas para el diseño sísmico que considere las condiciones dinámicas locales, por ello, es práctica común recurrir al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (1993), el cual reconoce la importancia y necesidad de los estudios de microzonificación sísmica para identificar los efectos de sitio. La clasificación de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico, nace justamente de la necesidad de tomar en cuenta el efecto de sitio en el diseño estructural, y formar parte de los códigos de construcción.

En este trabajos se presentan 5 ciudades seleccionadas del análisis de la sismicidad, en donde se hicieron estudios de caracterización sísmica y se obtuvieron mapas referenciados geográficamente que delimitan las microzonas agrupando las funciones de transferencias empíricas promedios (FTEP) de acuerdo a sus formas espectrales.

El efecto de sitio se puede identificar conociendo el período dominante, y este es un parámetro que depende directamente de las propiedades estratigráficas del suelo. Para determinar el período, en este trabajo se utilizó la Técnica de Nakamura usando el registro de microtemores, con puntos localizados a razón de un kilómetro cuadrado. En algunas ciudades, el efecto de sitio se evaluó también con sismos, el trabajo está respaldado con datos geológicos, geotécnicos y geofísicos.

## II.- HISTORIA SÍSMICA DEL ESTADO

<sup>1</sup> Investigadores y Docentes del Instituto de Ingeniería y Facultad de Ingeniería Región Veracruz, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc.Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel. (229) 7752000 ext. 22214, 22215, 22216 [guadaluperiquer@yahoo.com.mx](mailto:guadaluperiquer@yahoo.com.mx) (autor corresponsal)

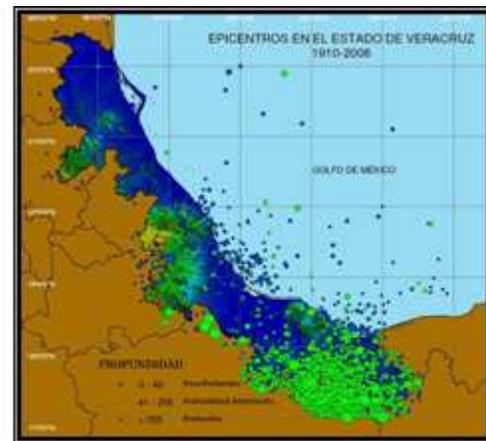
<sup>2</sup> Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (55) 56233500 ext.1264, [jles@pumas.iingen.unam.mx](mailto:jles@pumas.iingen.unam.mx)

<sup>3</sup> Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil Región Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana ,Av. Universidad Km 7.5, Col. Sta. Isabel, C.P. 96538, Coatzacoalcos, Ver., [jagv77@yahoo.com.mx](mailto:jagv77@yahoo.com.mx), [ftrejomolina@yahoo.com.mx](mailto:ftrejomolina@yahoo.com.mx).

Con la finalidad de conocer la sismicidad de larga periodicidad del estado de Veracruz, se recopilieron datos de diversas fuentes en un catálogo de sismos históricos pre-instrumental (1523-1910), iniciando con el terremoto del 1° de abril de 1523 del que hacen mención los españoles después de la conquista, posiblemente ocurrido cerca del Valle de Tehuantepec, entre los estados de Veracruz y Puebla. Concluye esta época con la instalación de las primeras estaciones de registro sísmico instrumental en 1910.

El catálogo de sismos instrumentales (1910-2008), fue conformado por 3244 eventos, y comprende epicentros dentro del estado y una franja de 20 km en la vecindad de sus límites políticos, para tomar en cuenta aquellos eventos que causaron daños importantes en el estado, así como los sismos ocurridos en el Golfo de México en las cercanías de ciudades importantes (ver figura 1). Para su elaboración se recurrió al “Catálogo de la Sismicidad de México”, sin publicar, 2008 de F.R. Zúñiga, complementado con varias fuentes nacionales e internacionales. Para el análisis de la completitud y homogeneidad del catálogo, se cuidó la duplicidad de datos, permanencia de las estaciones y discrepancias en las diferentes fuentes, se homogeneizaron las unidades horarias y se homologaron unidades de magnitud a Ms para usar el software ZMAP para su análisis. Destacan sismos como los del cuadro 1:

Fecha	Magnitud	Profundidad Km	Latitud N	Longitud W	Observaciones	Referencia
04-01-1920	$M_s=6.5$ $M_s=6.4$	13	19.27°	-97.08°	Tembor de Nalapa	Soter et al. (1996)
15-01-1931	$M_s=7.8$	40	16.34°	-96.87°	Tembor de Oaxaca	Singh et al. (1985)
26-07-1937	$M_s=7.3$	85	18.48°	-96.08°	-	Jiménez y Ponce (1977-78)
11-08-1948	$M_s=6.7$	100	17.75°	-92.25°	-	Zúñiga F.R. (2008)
26-08-1959	$M_s=6.4$	50	18.26°	-94.43°	Tembor de Jalisco	Ponce y Suárez (1985)
11-03-1967	$M_s=5.7$	24	19.23°	-95.74°	Tembor de Veracruz	Ponce y Suárez (1985)
28-08-1973	$M_s=7.3$ $M_s=7.0$	82	18.30°	-96.53°	Tembor de Oaxaca	Abe (1981) Singh y Wynn (1976)



Cuadro 1. Sismos importantes ocurridos en la región.

Figura 1. Epicentros en Veracruz (1910-2008)



Figura 2. Provincias Fisiográficas

Se tiene un reporte más homogéneo y continuo en el período comprendido entre 1959-2008, por lo que es en él donde se hace el análisis de la sismicidad regional. Se aprecia una gran actividad sísmica de

características diversas, al centro y sur del estado, cercanas a ciudades como: Coatzacoalcos, Catemaco, Orizaba y ZCV. Al norte se observa una sismicidad más dispersa y de baja magnitud, sin embargo por la escasa instrumentación existente es poco representativa de la actividad de baja magnitud; en esta zona se ubica Poza Rica.

Referente a la fisiografía, el estado se ubica dentro de la placa tectónica llamada de Norteamérica, afectada frecuentemente por la actividad de la zona de subducción en las costas del Pacífico con la Placa de Cocos. Las características de su relieve provocadas por tectonismo lo definen 6 provincias fisiográficas (ver figura 2).



Figura 3. División preliminar de regiones sismotectónicas.

Partiendo de la información anterior, se hizo una división preliminar de las regiones sismotectónicas del estado de Veracruz (ver figura 3), donde se tomaron consideraciones como: el análisis de localización hipocentral de eventos de características similares, características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento, características principales de liberación de energía de los sismos dentro de cada región y se identificaron los eventos que causaron mayores afectaciones. Una referencia relevante fue el trabajo de R. Zúñiga, et. al. “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe” 1997, del que se siguió la nomenclatura para la propuesta.

### III.- METODOLOGÍA

#### *Delimitación del área.*

El área en estudio en cada una de las ciudades seleccionadas fue delimitada tomando en consideración antecedentes de las características geotécnicas, geológicas y morfológicas disponibles de la zona y estudios preliminares de microzonificación sísmica, como fue el caso de la ZCV. Se incluyó el centro histórico o comercial de cada ciudad y se recurrió, donde esto fue posible, a planos y litografías hasta del siglo XVIII para ubicar los efectos locales de sismos históricos. Con ello se pudo observar la evolución del tipo de vivienda y la tendencia de crecimiento de la ciudad. Se localizaron antiguos causes de río y caudales, espejos de agua, zonas de relleno y áreas ganadas al mar, ahora dentro de la mancha

urbana, donde el suelo puede presentar características dinámicas especiales. También se recurrió a Cartas de Ordenamiento Urbano para observar la expansión de las ciudades en sus diferentes usos del suelo.

#### *Funciones de transferencia empírica (FTE).*

Se usó el registro de microtemores (vibración ambiental) para estimar la respuesta dinámica de un sitio. Esta técnica fue introducida en Japón por los años 50's (Kanai et. al. 1954), y sigue presentando un alto atractivo para la caracterización del efecto de sitio, tanto por su sencillez de operación y bajo costo como por la rapidez para obtener resultados (Lermo y Chávez, 1994), en especial cuando es usado utilizando la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (Técnica de Nakamura, 1989).

Los equipos usados para el registro de microtemores fueron un acelerógrafo GSR-18 marca Terra Technology y un ETNA marca Kinematics, con un rango dinámico de 108 dB que adquieren las señales analógicas de los acelerómetros y las graban digitalmente con una resolución de 18 bits a una velocidad de muestreo de 100 mps en sus tres direcciones ortogonales.

Se escogieron los segmentos de los registros no contaminados por transitorios de corta duración (paso de vehículos, peatones, etc.), y se seleccionaron varias ventanas de 40 s de duración para cada punto, las cuales con el programa DEGTRA se calcularon los espectros de Fourier y las razones espectrales. Los espectros de amplitudes de Fourier fueron suavizados con una ventana rectangular de 1/3 de octava de ancho con objeto de disminuir la varianza. Finalmente se aplicó la Técnica de Nakamura (cociente espectral entre los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontales, NS y EW y la vertical) para obtener las FTE de cada punto.

#### *Familias de formas espectrales.*

Con la media geométrica de las FTE se encontró la función de transferencia empírica promedio (FTEP) de cada punto, con la cual se obtuvo una estimación de la frecuencia dominante del sitio. Se observó que las FTEP no tienen la misma forma espectral o componente dinámico a pesar de pertenecer al mismo depósito geológico, por lo que se agruparon sin tomar en cuenta la clasificación geológica y se encontraron diferentes familias de formas espectrales para cada ciudad. Como resultado de esta agrupación, se obtuvieron zonas representadas en mapas de familias de formas espectrales elaborados con ArcGis.

### **IV.- MICROZONIFICACIÓN DE CIUDADES**

#### *Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río, Medellín y Alvarado.*

Con una población de casi 1 millón de habitantes, representa un importante núcleo turístico, y es uno de los principales puertos mercantiles y comerciales de México; está ubicada al centro del estado de Veracruz en el Golfo de México.

Se contó con información geológica y geotécnica, la cual fue tomada de los trabajos de Esquivel et. Al. (1976) y Páez Andrade (2001), y se recopilaron 40 sondeos de exploración con muestreo alterado, combinado con pruebas de penetración estándar (SPT). Con lo anterior se elaboró el mapa geológico-geotécnico de la figura 4, donde se ubicaron también espejos de agua.

En esta zona se tiene instalada una red de registro sísmico, que incluye 2 acelerógrafos ETNA en estaciones temporales y un sismómetro de banda ancha marca GURALP en una estación de referencia (terreno firme sin efecto de sitio). Con los registros de sismos, se ha validado las frecuencias del suelo y determinado la amplificación del movimiento en algunas zonas, ya que para esta última la estimación con la Técnica de Nakamura es burda. Se han evaluado 332 puntos de vibración ambiental y se han agrupado en 4 microzonas definidas por las formas espectrales, como se muestran en el mapa de la figura 5.

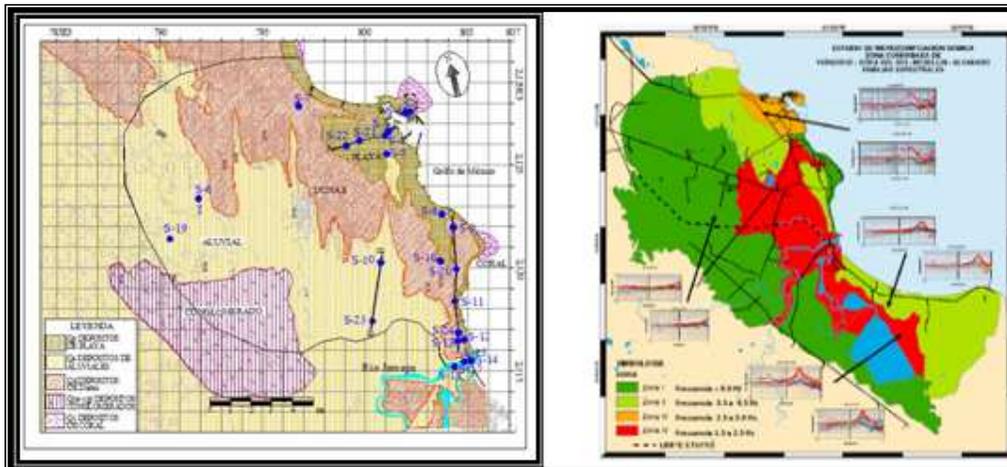


Figura 4. Mapa geológico-geotécnico de la ZCV.

Figura 5. Mapa de familias de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ZCV.

*Coatzacoalcos.*

La ciudad se encuentra ubicada en el del Istmo de Tehuantepec, en el Golfo de México, y cuenta con una densidad poblacional de cerca de 300 000 habitantes. Región de gran riqueza mineral, yacimientos de petróleo y gas natural, con gran potencial turístico y cultural, que augura obras civiles cada vez más audaces.

La ciudad de Coatzacoalcos se ubica en la vecindad de una zona de características geotectónicas complejas, en la zona de la llamada Junta Triple, donde se unen las placas de Norteamérica, Caribe y Cocos, la zona de subducción del Golfo de Tehuantepec y la falla del sistema Motagua-Plochic que originan gran actividad sísmica en la región. Se contó con información geológica, topográfica y geotécnica, con esta última se elaboró el mapa preliminar de la figura 6. Se evaluaron 60 sitios con vibración ambiental y se agruparon en 3 microzonas delimitadas en la figura 7. Se instaló una estación temporal de registro sísmico con un sismómetro de banda ancha marca GURALP, para validar frecuencias y determinar amplificaciones del movimiento.

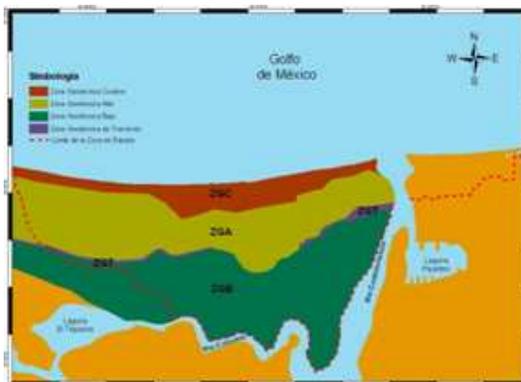


Figura 6. Mapa preliminar geotécnico de



Figura 7. Mapa preliminar de formas espectrales

Coatzacoalcos.

con fines de microzonificación sísmica de Coatzacoalcos, Ver.

*Orizaba.*

Con una población aproximada de 200 000 habitantes, se encuentra ubicada en la zona central del estado de Veracruz a 1236 msnm, en un angosto valle de fisiografía única, ya que mientras en la base es relativamente plano, los cerros que lo circundan se elevan con pendientes muy pronunciadas. En general se puede decir que Orizaba está asentada sobre la falla de Zacamboxo y es una de las ciudades con más ríos de la República Mexicana. En su historia sísmica destacan en la memoria reciente el sismo del 28 de agosto de 1973, considerado el peor que haya afectado a la región con un saldo de 470 muertos entre Orizaba, Cd Serdán y Puebla. Se tomaron 63 puntos de vibración ambiental, con lo que se delimitaron 3 microzonas indicadas en el mapa de la figura 8. Se contó con una descripción geológica y geotécnica insuficiente para elaborar un mapa de zonificación geotécnica.

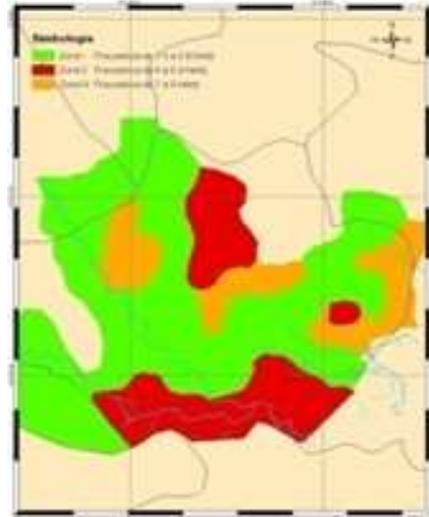


Figura 8. Mapa de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de Orizaba, Ver.

*Catemaco.*



Ciudad con 50 000 habitantes aproximadamente, de gran riqueza natural, que sin embargo se distingue por su atractiva actividad ritual relacionada con la brujería, que le deriva un gran número de visitantes. Localizada al sureste del estado a 350 msnm en el Macizo Volcánico de los Tuxtlas, se ubica entre las grandes zonas aluviales formadas por las cuencas de los Ríos del Papaloapan y Coatzacoalcos. Debido al origen volcánico de la zona existen alrededor de 30 lagunas, donde destaca la de Catemaco. Rodeado de elevaciones de origen volcánico, donde se encuentra el Volcán de San Martín con 1780 m de altura, inactivo desde hace más de 200 años.

En esta ciudad se hicieron 20 puntos de vibración ambiental y se propone a nivel preliminar el mapa de microzonificación sísmica de la figura 9.

Figura 9. Mapa preliminar de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de Catemaco, Ver.

#### *Poza Rica.*

Poza Rica de Hidalgo es una de las ciudades más jóvenes del país, considerada como una de las de mejor calidad de vida. Ubicada al norte del estado con una población aproximada de 200 000 habitantes. Aunque se ubica en una zona de bajo peligro sísmico del estado, la escasa densidad de instrumentación sugiere una actividad sísmica importante de baja magnitud. Constituye una zona petrolera de gran crecimiento, entre otras cosas, de obra de ingeniería. Los estudios existentes son escasos y su actividad sísmica es el resultado de esfuerzos tectónico al interior de la placa de Norteamérica. Se hicieron 40 puntos de vibración ambiental con el que se distinguen 3 zonas en un mapa preliminar de la figura 10.



Figura 10. Mapa preliminar de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de Poza Rica, Ver.

### **V.- COMENTARIOS FINALES**

#### *Resumen de resultados*

En este trabajo se presentaron los avances de los estudios realizados en las ciudades seleccionadas, donde se determinaron en cada una de ellas las características dinámicas del suelo, que sirven de base para ubicar estudios posteriores para determinar las velocidades de cortante y clasificar el tipo de terreno para diseño sísmico de cimentaciones.

#### *Conclusiones*

Es importante que los municipios dispongan de planos con una zonificación sísmica, en donde dependiendo del tipo de terreno se establezcan los parámetros de diseño sísmico que se deben cumplir para el diseño y construcción de estructuras resistentes a los sismos. Para obtener los parámetros de diseño, se deben realizar estudios que generalmente representan un porcentaje considerable del costo de una obra y solamente se justifican y amortizan en obras de consideración, por lo cual se hace necesaria la intervención de las autoridades para generar dichos planos para el resto de las construcciones. Esto último es la finalidad de estos trabajos.

#### *Recomendaciones*

Es necesario aumentar la densidad de puntos de registro de microtemores para delimitar de manera más precisa las microzonas, y realizar los estudios complementarios que permita elaborar reglamentos de construcción modernos para la edificación de estructuras resistentes a sismos.

### **VI.- RECONOCIMIENTOS**

Estos trabajos son financiados por Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz (FOMIX).

Al maestro Roberto Rivera Baizabal del Instituto de Ingeniería de la U.V. por su dedicación en el mantenimiento de los equipos de registro sísmico y la Ing. Sara Pérez Torres por su participación en el procesado de la información y el dibujo de mapas,

A los alumnos Flavio Vela Vilorio, Miguel Pólito Canela, Jessica Fabian Cruz, Germain Beltran Chagala, Edgar Castro Vallejo, Andrés Ramírez Villalobos y Omar Badillo Ceferino de la Facultad de Ingeniería Civil, Región Veracruz de la Universidad Veracruzana por su participación en las campañas de vibración ambiental y procesado de los registros.

## VII.- REFERENCIAS

Esquivel, R (1976), "Información General acerca del subsuelo de 17 Ciudades de México, Veracruz, Ver.", *Memorias de la VIII reunión Nacional de Mecánica de suelos*, Tomo II, pp. 245-256. Guanajuato, México.

Kanai, K., Tanaka (1954), "Measurement of the microtremor" , *Bull Earthquake Res Inst. Tokyo Univ.*, Vol. 32, pp.199-209.

Lermo, J., Chávez-García, F. (1994), "Are microtremors useful in site response evaluation? ", *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol. 84, pp.1350-1364.

Lermo, J., Limaymanta, F. (2007), "Uso de las funciones de transferencia empíricas (HVNR) obtenidas con microtremores para construir mapas con la clasificación de los terrenos de cimentación para diseño sísmico", *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

Lermo, J., Limaymanta, F., Williams, F., Riquer, G., Leyva, R. (2009), "Land characterizing for seismic design in the urban zone of Veracruz-Boca del Río, México (ZCV)", *8th International Workshop on Seismic Microzoning Risk Reduction*, Almería, Spain.

Páez, I (2000), "Características Geotécnicas y Criterios Básicos para el Diseño de Cimentaciones en la Zona Conurbada de Veracruz, Ver.", Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Villa Rica, Veracruz, Ver.

Nakamura, Y (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *QR of RTRI*, Vol. 30, No.1, pp. 25-33.

Riquer, G., Williams, F., Lermo, J., Leyva, R., Neri, I., Santamaría, J. (2008), "Ampliación de la red de registro sísmico basada en una regionalización sismotectónica preliminar del Estado de Veracruz", *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Veracruz, Ver., México.

Williams, F., Limaymanta, F., Riquer, G., Leyva, R., Lermo, J., (2007), "Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV)" *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

Williams, F., Riquer, G., Leyva, R., Vargas, A., Zamora, A., Lermo, J., Limaymanta, F. (2008), "Estudios para la reducción de daños por sismos en las construcciones del estado de Veracruz", *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Veracruz, Ver., México.

## Desarrollo de un traductor textual Lenguaje SMS – Español Tradicional – Lenguaje SMS

Ismael Esquivel Gámez, Daniel Rodríguez Angeles

**Resumen—** Con el auge actual de la comunicación vía electrónica, ha surgido el Lenguaje SMS, cuyo principal inconveniente es lo difícil que resulta su comprensión a personas que no suelen usarlo, representando así, un obstáculo en la comunicación entre jóvenes (mayoría de usuarios del lenguaje SMS) y no usuarios, generalmente de generaciones anteriores. El presente documento describe el desarrollo y los resultados de un sistema de traducción de Lenguaje SMS a español tradicional basado en el más grande diccionario de términos SMS, denominado “Diccionario SMS”. El sistema ha sido probado con un elevado porcentaje de efectividad en un paquete de 1000 mensajes SMS recopilados de páginas de internet, salas de chat y blogs, los autores de dichos mensajes son personas de diferentes edades, intereses, estados sociales y actividades.

**Palabras claves—** Lenguaje SMS, traductor, SMS, lingo. Language SMS

### I. INTRODUCCIÓN

Los primeros vestigios de comunicación escrita se hallaron hace más de tres milenios, esto tratando de satisfacer la necesidad innata del hombre por comunicar sus ideas. Desde entonces la escritura ha tenido una evolución muy grande, ha cambiado de acuerdo a la época, al lugar y circunstancias históricas, una constante dentro de esta evolución es el intento idear modos de abreviar, esto es, comunicar la mayor cantidad de ideas en el menor número de caracteres.

De éste modo surgen diversas técnicas muy aceptadas, una de ellas es la taquigrafía, que según La Real Academia Española [1] es el arte de escribir tan de prisa como se habla, por medio de ciertos signos y abreviaturas, se emplean trazos breves y caracteres especiales para representar letras, palabras, incluso frases. Generalmente la escritura taquigráfica omite partes de los textos, por ende, un texto recogido por un taquígrafo no puede ser fácilmente entendido por otro que no haya escuchado el texto original.

Dentro de la taquigrafía hay dos grandes corrientes: Pitman y Gregg. La taquigrafía Gregg inventada por John Robert Gregg [2] en 1888 y establece que es un sistema de escritura fonética, lo que quiere decir que graba los sonidos del hablante, no su ortografía. En éste principio radica la facilidad para adaptarla a diversos idiomas.

Algunos años después, se encuentran más evidencias del intento por acortar lo que se escribe. Josep M. Casasús [3] comenta que Walter Lippmann, en su obra clásica *Public opinion*, en 1922, habla del código de *Phillip*, muy parecido al lenguaje SMS usado hoy en los dispositivos móviles y empleado entonces por los periodistas para enviar noticias, con ahorro de tiempo, de dinero y de energía, con el mismo principio, recortar palabras aprovechándose de sus fonemas. También indica que según Alemán Ocampo, las abreviaciones se debían inicialmente a la escasez de tinta y papel. “Y en este siglo, la condición que limita a uno es la pantalla del celular, que obliga a realizar una comunicación rápida, y por eso recurrimos a la abreviación”.

Como éstas, encontramos varias otras formas de acortar lo que se escribe; las siglas que son el conjunto de letras iniciales de una expresión compleja [1]. Las abreviaturas también surgen con la idea de ahorrar espacio, de escribir lo necesario, en este caso se logra suprimiendo las letras centrales o finales y aun así la palabra es perfectamente entendible. Una de las más recientes variaciones del lenguaje escrito es el llamado Lenguaje SMS, que es la forma de escritura utilizada en los dispositivos

móviles a la hora de redactar un mensaje SMS (*Short Message Service*) SMS es una tecnología europea que apareció en 1991, n un principio se desarrolló para dar informes de la bolsa y horóscopos. El lenguaje SMS, mayormente utilizado por jóvenes, surge como herramienta para ahorrar espacio y dinero, puesto que en un mensaje de texto se cuenta con solo 160 caracteres para expresar la idea que se requiera.

A tal grado llega la aceptación de ésta nueva lengua que ya se han publicado libros escritos de ese modo. El primero, por Marso Phil [6] "La cruz secreta del emperador" fue publicado en Francia y está consagrado a los daños del tabaquismo. El autor de este libro, dice que "corre el riesgo de irritar a los defensores de la lengua francesa", pero insiste sobre la legitimidad de esta traducción. Curiosamente el autor no es un aficionado del móvil: es promotor, desde 2001, de la "Jornada mundial sin teléfono móvil", que tiene lugar todos los años el 6 de febrero.

De la sintaxis usada en éste libro y en varios otros se desprenden normas para la escritura SMS, José Luis Hernández Pacheco [7] establece ciertas reglas para el uso de éste lenguaje, como:

Uso de la "H" y de la "E". La letra "h" es muda en la pronunciación, así que en mensajes cortos se obvia y de esta forma se ahorra un carácter. La "e" al principio de palabra también se suprime y la palabra es perfectamente entendible, por ejemplo: "str" por estar; "n" por en. Por otro lado, es importante tocar temas como la lingüística computacional que según Xavier López Morrás [4] es un campo interdisciplinario que se ubica entre la lingüística y la informática: su fin es la elaboración de modelos computacionales que reproduzcan distintos aspectos del lenguaje humano. Puede considerarse una disciplina de la lingüística aplicada a la Inteligencia Artificial y tiene como objetivo la realización de aplicaciones informáticas que imiten la capacidad humana de hablar y entender. A la Lingüística Computacional se le llama a veces Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN). Ejemplos de aplicaciones de PLN son los programas que reconocen el habla o los traductores automáticos. Ésta surgió en los EE. UU. en los años 50 como un esfuerzo para obtener computadoras capaces de traducir textos automáticamente de lenguas extranjeras al inglés, particularmente de revistas científicas rusas. Es así como surge la traducción automática (TA), también llamada MT (del inglés *Machine Translation*), que en opinión de Raquel Martínez [5], es un área de la lingüística computacional que investiga el uso de software para traducir texto o habla de un lenguaje natural a otro. En un nivel básico, la traducción por computadora realiza una sustitución simple de las palabras de un lenguaje natural por las de otro. Por medio del uso de corpora lingüísticos se pueden intentar traducciones más complejas, lo que permite un manejo más apropiado de las diferencias en la tipología lingüística, el reconocimiento de frases, la traducción de expresiones idiomáticas y el aislamiento de anomalías.

#### ESTADO DEL ARTE

Para el lenguaje SMS en español existe una página de internet que contiene términos con su significado, [www.diccionarioSMS.com](http://www.diccionarioSMS.com) [8], cuyo objetivo es recabar los términos y abreviaturas que utilizan por los jóvenes para escribir en sus teléfonos móviles o cuando lo hacen en Internet.

Es una herramienta de consulta creada por los jóvenes, estudiosos de la lengua española, medios de comunicación, padres y educadores. Para el lenguaje SMS en inglés está [www.netlingo.com](http://www.netlingo.com) [9], con la misma función del anteriormente mencionado. NetLingo y DiccionarioSMS son para sus respectivos idiomas las bases de datos con mas términos, sin embargo, NetLingo, con poco más de 5000, no tiene ni la mitad de los términos de diccionarioSMS.

Existe un trabajo de investigación semejante al presente, aplicado al idioma inglés, "A *Phrase-based Statistical Model for SMS Text Normalization*" [10] es decir, un modelo estadístico basado en frases para

la normalización de textos SMS. El método de normalización consiste básicamente en dos sub-modelos: uno basado en palabras y un modelo de mapeo léxico basado en frases. En dicha investigación se compara la técnica de normalización con varios métodos de traducción, obteniendo resultados muy adelantados. Se hace un experimento traduciendo de inglés a chino mediante los mismos algoritmos, aumentando el porcentaje de efectividad en la traducción.

### PROBLEMÁTICA

Es innegable que el ser humano tiene una innata tendencia de rechazo a lo nuevo, a lo que no entiende, a lo que transgrede sus costumbres, a lo que contradice lo que cree correcto, sin embargo, más allá de los rechazos infundados, el Lenguaje SMS, al ser un tanto exclusivo de las generaciones nativas en éstas tecnologías, representa un obstáculo para la comunicación entre diferentes generaciones, si un joven de 18 años le escribe a su padre de 45 “*pa, n m sprs, vy a ygar trd xq m qdar n ksa d Bre a acr 1a tarea*”, sin duda, lo dejará preocupado toda la noche. Se tiene entonces, un problema de comunicación.

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El desarrollo de una aplicación que sea capaz de traducir un mensaje o texto de lenguaje SMS a español tradicional, de modo que los no usuarios de ésta forma de expresión, tengan toda la facilidad para comprender lo que se les quiere comunicar. Se elige [www.diccionarioSMS.com](http://www.diccionarioSMS.com) para tomar como base de la traducción por ser la recopilación de términos SMS más grande, con más de 11,000 términos supera por mucho a otros sitios que contienen diccionarios de palabras SMS, según se muestra en la tabla 1, además, cuenta con una información que ninguno otro, la popularidad del término, ésta se genera en base a las veces que los usuarios dan de alta un término.

Diccionarios electrónicos	Número de términos
<a href="http://www.diccionarioSMS.com">www.diccionarioSMS.com</a>	11364
<a href="http://www.viajoven.com">www.viajoven.com</a>	649
<a href="http://www.cabinas.net">www.cabinas.net</a>	142
<a href="http://www.lonuncavisto.com">www.lonuncavisto.com</a>	123

Tabla 1. Comparación de diccionarios

El lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del traductor es Rexx (*REstructured eXtended eXecutor*) un lenguaje de programación desarrollado en IBM por Michael Cowlishaw del que existen numerosas implementaciones disponibles con código abierto [11]. Es un lenguaje de programación estructurado de alto nivel diseñado para ser al mismo tiempo fácil de entender y fácil de leer.

Se decide usar éste lenguaje puesto que sus características se adaptan a las necesidades, principalmente porque cuenta con un gran conjunto de funciones, especialmente para procesado de cadenas y palabras. Otra ventaja determinante para usar Rexx es que es un lenguaje multiplataforma, es decir, sin moverle un punto ni una coma se podrá ejecutar en cualquier computadora, bajo cualquier sistema operativo y funcionará.

### METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la aplicación se siguen éstos pasos:

- A. Se genera una base de datos que contiene los términos SMS conseguidos de [www.diccionarioSMS.com](http://www.diccionarioSMS.com)
- B. Se crea un vector con los términos ambiguos.
- C. Se leen los desde archivo y se compara palabra por palabra contra el diccionario, buscando primero en el vector de términos ambiguos.
- D. Si se encuentra se traduce por el significado de mayor popularidad, si no,
- E. Se busca en el diccionario general y se traduce, si no,
- F. Se pasa el término tal cual,
- G. Se imprimen los resultados en un archivo de salida.

Enseguida se detalla cada proceso.

#### *Generación de base de datos de términos*

Se genera en base al contenido del diccionarioSMS ([www.diccionarioSMS.com](http://www.diccionarioSMS.com)), se guarda en un archivo separado por comas. Se ordenan los términos por su valor en el código ASCII, los términos con más de un significado se ordenan por el valor de su popularidad para después aprovecharlo en la resolución de la ambigüedad que generan.

Ya ordenado el archivo se carga en 3 vectores, el primero contendrá los términos SMS, el segundo su equivalente en español tradicional y el último contiene la popularidad de cada término.

Una vez cargado el diccionario se procede a la lectura de los mensajes a traducir, mediante un proceso de búsqueda binaria, se busca cada palabra en el vector de términos SMS y si se encuentra es cambiado por el primero que se encuentra.

Después del anterior proceso los resultados aparecen como se muestra en los siguientes ejemplos:

SMS:

*N KIERO IR AD+ N TNGO DINERO*

ESPAÑOL:

*EN QUIERO IR ADEMAS EN TENGO DINERO*

-----

SMS:

*OLA Q ACS DSPIERTO*

ESPAÑOL:

*HOLA QUE HACES DESPIERTO*

-----

SMS:

*KTAL?*

ESPAÑOL:

*¿QUÉ TAL?*

-----

SMS:

*T EXO D-*

ESPAÑOL:

*TE ECHO DE MENOS*

-----

#### *Detección de ambigüedad*

Con los anteriores resultados se determina que los términos con más de un significado son los que generan error en la traducción, las palabras que no se encuentran son mínimas.

Para solucionar dicho problema se genera un vector más en el que se almacenarán solo los términos SMS que tienen más de un equivalente en español tradicional, algunos ejemplos se muestran en la tabla 2.

Término SMS	Equivalente en español	Popularidad
Akb	acabo	11
Akb	acabe	5
Akb	acaba	1
Akb	acabar	1
st	este	47
st	esto	6
st	esta	3
sts	estas	17
sts	estés	4
sts	estos	4

Tabla 2. Términos ambiguos

La traducción se realiza con el término encontrado con mayor popularidad, se hace de éste modo puesto que en la mayoría de los términos ambiguos existe uno que sobresale por su popularidad, según se puede ver en la tabla 3, la diferencia tan grande en la frecuencia de uso de los términos hace que se tenga una alta probabilidad de éxito en la traducción.

Término SMS	Equivalente en español	Popularidad
n	en	65
n	ni	5
n	número	2
N	norte	1
cm	como	62
cm	centímetro	2
cm	cama	1
cm	coma	1

Tabla 3. Diferencia en popularidad de términos ambiguos

Los resultados de la traducción buscando y traduciendo primero los términos que generan ambigüedad son los siguientes:

SMS:

*N KIERO IR AD+ N TNGO DINERO*

ESPAÑOL:

*NO QUIERO IR ADEMAS NO TENGO DINERO*

SMS:

*OLA Q ACS DSPERTO*

ESPAÑOL:

*HOLA QUE HACES DESPIERTO*

SMS:

*KTAL?*

ESPAÑOL:

*¿QUÉ TAL?*

SMS:

*T EXO D-*

ESPAÑOL:

*TE HECHO DE MENOS*

-----

El grado de efectividad logrado aumenta considerablemente usando el término más popular, esto se debe a la cantidad de términos ambiguos contenidos en los mensajes, que si bien no son mayoría, si llegan a ser suficientes para cambiar el sentido de la frase o dificultar su comprensión. En una traducción de 140 mensajes, cuyos detalles se muestran en la tabla 4, se encuentran alrededor de 400 términos SMS que han de ser traducidos, de los cuales el 45% tienen más de un significado.

Muestra	140 mensajes
Términos SMS	400 aprox.
Términos ambiguos	180 aprox.

Tabla 4. Estadística de términos ambiguos

El avance en la traducción se hace evidente en frases como la siguiente:

*T KIERO + Q A TDO L MNDO*

El primer resultado, comparando contra el diccionario general y traduciendo por el primer término encontrado era:

*TE QUIERO MAS QUE A TODO LITRO MANDO*

Ahora, tomando primero los términos ambiguos y usando el significado de mayor popularidad, se traduce de ésta manera:

*TE QUIERO MAS QUE A TODO EL MUNDO*

Definitivamente el mensaje queda en modo comprensible, regresando al ejemplo que se dio inicialmente (pa, n m sprs, vy a ygar trd xq m qdar n ksa d Bre a acr 1a tarea”), si el padre pudiera introducir ese mensaje al traductor obtendrá el siguiente resultado:

*PARA, NO ME SPRS, VOY A LLEGAR TARDE POR QUÉ ME QUEDAR NO CASA DE BRE A HACER UNA TAREA*

Seguramente el mensaje ahora si sería más entendible.

*Traducción Español tradicional – Lenguaje SMS*

Después de desarrollado el módulo para la traducción en forma inversa, es decir, del Español tradicional a Lenguaje SMS, los resultados son los siguientes:

*ESPAÑOL:*

*NO QUIERO IR ADEMAS NO TENGO DINERO*

*SMS:*

*N KERO IR AD+ N TNG MONEY*

-----

*ESPAÑOL:*

*HOLA QUE HACES DESPIERTO*

*SMS:*

*OLA Q ACS DSPIERTO*

-----

ESPAÑOL:  
¿QUÉ TAL?  
SMS:  
KTAL?  
-----

ESPAÑOL:  
TE HECHO DE MENOS  
SMS:  
T EXO D -  
-----

### CONCLUSIONES

En este proyecto se ha realizado un prototipo de traductor de la Lenguaje SMS a español tradicional basado en la comparación con un diccionario de términos SMS. Admite como entrada frases en lenguaje SMS que pueden provenir de cualquier archivo o ser directamente capturadas. La aplicación desarrollada permite una mejor comunicación entre usuarios del lenguaje SMS y personas a las que se les dificulta la comprensión del mismo.

El grado de efectividad es afectado por el uso de términos poco populares en los mensajes, ya sea que son traducidos con un significado erróneo o simplemente no se encuentran en el diccionario. Como todo diccionario, el diccionarioSMS se irá enriqueciendo con el tiempo, aumentando de este modo la efectividad del traductor. La adaptación del diccionario al Lenguaje SMS usado en México también elevará la calidad de la traducción.

### TRABAJO FUTURO

Se continuará con la investigación y desarrollo de mejores métodos de traducción que permitan un mayor porcentaje de efectividad.

Se aumentará el diccionario SMS conforme crezca en la base de datos de [www.diccionarioSMS.com](http://www.diccionarioSMS.com) y se creará un módulo para poder dar de alta palabras directamente.

Se tiene planeado proponer al sitio anterior, agregar el traductor a su página web, como aportación de los autores y de la Universidad Veracruzana.

### REFERENCIAS

1. <sup>[1]</sup> REAL ACADEMIA ESPAÑOLA © TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA VIGÉSIMA SEGUNDA EDICIÓN
2. <sup>[2]</sup> TAQUIGRAFÍA
3. [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/TAQUIGRAFÍA](http://es.wikipedia.org/wiki/Taquiografia) VISITADO EN MAYO DE 2009
4. <sup>[3]</sup> CASASÚS JOSEP M.
5. [HTTP://WWW.OBSERVATORIODAIMPRESA.COM.BR/ARTIGOS.ASP?COD=305VOZ008](http://www.observatorioidaimpresa.com.br/artigos.asp?cod=305voz008)
6. "QUE EL LENGUAJE RÁPIDO NO NOS EMPOBREZCA" COPYRIGHT LA VANGUARDIA VISITADO EN MAYO DE 2009
7. <sup>[4]</sup> LÓPEZ MORRÁS XAVIER
8. [HTTP://WWW.AUCEL.COM/PLN/K-ES.HTML](http://www.aucel.com/pln/k-es.html)
9. ¿QUÉ ES LA LINGÜÍSTICA COMPUTACIONAL O PLN? VISITADO EN JUNIO DE 2009
10. <sup>[5]</sup> MARTÍNEZ RAQUEL
11. PRINCIPALES PROBLEMAS DE LA TRADUCCIÓN AUTOMÁTICA. UNIVERSIDAD JUAN CARLOS I.
12. <sup>[6]</sup> MARSO PHIL
13. LA CRUZ SECRETA DEL EMPERADOR
14. <sup>[7]</sup> HERNÁNDEZ PACHECO JOSÉ LUIS
15. MIRAFLORES GÓMEZ EMILIO LENGUAJE SMS: LA ALFABETIZACIÓN DE LOS JÓVENES EN EL SIGLO XXI

16. <sup>[8]</sup> DICCIONARIO SMS
17. [WWW.DICCIONARIOSMS.COM](http://www.diccionarioSMS.com) VISITADO EN MAYO DE 2009
  
18. <sup>[9]</sup> NETLINGO.COM
19. NETLINGO® THE INTERNET DICTIONARY AT [HTTP://WWW.NETLINGO.COM](http://www.netlingo.com) VISITADO EN JUNIO DE 2009
  
20. <sup>[10]</sup> MIN ZHANG, XIAO JUAN, SU JIAN
21. INSTITUTE OF INFOCOMM RESEARCH
22. Heng Mui Keng Terrace Singapore 119613
  
23. <sup>[11]</sup> MERTZ DAVID
24. REXX FOR EVERYONE: UNA INTRODUCCIÓN
25. IBM DEVELOPERWORKS.

## AUTORES

Dr. Ismael Esquivel Gámez se desempeña como maestro de tiempo completo de Facultad de Administración, Región Veracruz de la U.V., [iesquivel@uv.mx](mailto:iesquivel@uv.mx)

Lic. Daniel Rodríguez Angeles [daniel.rguez@live.com.mx](mailto:daniel.rguez@live.com.mx) (**autor corresponsal**)

## Estimación del efecto de sitio en las zonas de daño en la ciudad de Orizaba, Ver. por el sismo de 1973

Dr. Gilbert Torres Morales<sup>1</sup>, Dr. Jorge Aguirre González<sup>2</sup>, M.C. Javier Lermo Samaniego<sup>2</sup>, Dr. Raymundo Dávalos Sotelo<sup>3</sup>, M.I. Ignacio Mora González<sup>1</sup>, Dr. Alejandro Vargas Colorado<sup>4</sup>, Ing. Javier O. Hernández Hernández<sup>1</sup>, Miguel Leonardo Suárez<sup>1</sup> y Daniel Huesca Hernández<sup>1</sup>.

**Resumen**—Se presentan los resultados preliminares de un estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Orizaba, recopilando la información más importante de la Zona Conurbada de Orizaba (ZCO) e iniciando el registro de vibración ambiental y su análisis espectral. Además, se realiza una investigación de los daños por sismos históricos y su ubicación. Se pone especial atención en las zonas donde ocurrieron daños por el sismo del 28 de agosto de 1973 e históricos, para evaluar si en estas zonas las características de los suelos pudieron ampliar las ondas sísmicas (efecto de sitio) y representara éste un factor importante en los daños a las edificaciones. La información anterior se resume en forma de mapas que constituyen el inicio de una base cartográfica en un sistema de información geográfica (SIG) de la ZCO, todo esto orientado a servir a futuras investigaciones, así como al inicio de un estudio general de microzonificación.

**Palabras claves**—Ingeniería sísmica, microzonificación, peligro, riesgo, vulnerabilidad.

### I. INTRODUCCIÓN

El primer dato de un sismo que afectó a la ciudad de Orizaba fue en 1545 donde se indica que el volcán Citlaltépetl emitió un porcentaje importante de lava que ocasionó ciertos temblores en la zona. Para 1566 el volcán Citlaltépetl nuevamente hizo erupción, arrojando lava, sin embargo, no ocasionó fuertes temblores en la región. Del mismo modo, en los años 1613 y 1687 se presentaron nuevas emisiones de lava, la primera sin la presencia de temblores y la segunda acompañada de estos (Torres 2008). En el año de 1696 un sismo procedente de Oaxaca tuvo efectos devastadores, en Orizaba destruyó la Iglesia y Templo de San Juan de Dios. Poco tiempo después, en el año de 1699 otro macrosismo castigó a la ciudad. Hacia el año de 1711 un sismo que abarcó gran parte de la extensión del territorio mexicano, dañó templos en las ciudades de Puebla y Tlaxcala, además de afectar a ciudades como Veracruz, Córdoba y Orizaba. En 1714 un sismo que duró alrededor de 15 segundos causó daños en Córdoba y Orizaba donde se estimó con una intensidad de VIII.

<sup>1</sup> Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Francisco J. Moreno No. 207, Col. Emiliano Zapata, Xalapa, Ver. México, Tel.: (01-228) 8155019, Fax: 8120688; [gitorres@uv.mx](mailto:gitorres@uv.mx).

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F., Tel.: (01-55) 56223461, [joagg@pumas.ii.unam.mx](mailto:joagg@pumas.ii.unam.mx)

<sup>3</sup> Instituto de Ecología A.C., Km. 2.5, carretera antigua a Coatepec No. 351, Xalapa, Ver., 91170, Tel: (228) 8421835, Fax: (228) 8187809, [raymundo.davalos@inecol.edu.mx](mailto:raymundo.davalos@inecol.edu.mx)

<sup>4</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, C. P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel.: (01-229) 923-28-00 Ext. 22216, Fax: 923-28-27. [alejvargas@uv.mx](mailto:alejvargas@uv.mx).

En 1819 un sismo con intensidad VII derrumbó una torre del templo de La Concordia en la ciudad de Orizaba; en Coscomatepec derribó la Iglesia de San Juan. En 1820 un sismo afectó a Puebla, Tlaxcala, Orizaba, Córdoba, Veracruz y otras poblaciones, generando derrumbes en algunos cerros. En 1864 un sismo con intensidades que varían de V al IX se sintió en los estados de Puebla y Veracruz, siendo el más fuerte que se recuerda en Puebla donde hubo 20 muertos, en Orizaba también se suscitaron daños. Para 1866 un sismo provocó en Acatzingo el desplome de la cúpula de un templo, en Orizaba ocasionó varios daños, en Coscomatepec la destrucción total de una iglesia nueva, además Cd. Serdán resultó fuertemente dañada. En 1879 en Orizaba algunos edificios resultaron dañados y algunos con derrumbes. Para el año de 1884 un sismo con intensidades que van desde V hasta VIII grados de magnitud afectó los estados de Veracruz y Puebla siendo el más fuerte que se recuerda en esta ciudad dando como resultado 20 muertos, en Orizaba también hubo daños. El temblor del 3 de enero de 1920 en Orizaba causó pánico pero no hubo víctimas. El 14 de enero de 1931 ocurrió un sismo de 7.5 grados de magnitud con su epifoco en Huajuapán de León, Oax., que ha sido el más fuerte en muchos años, causando 25 muertos y muchos heridos. Se sintió fuerte en Huatusco, Orizaba y Camarón. El sismo del 25 de julio de 1937 de 7.3 grados ocasionó daños en la zona fabril de Orizaba, el desplome de la cúpula del templo de La Concordia aplastando a una mujer y varias casas derrumbadas.

El Sismo más representativo de la ciudad de Orizaba es el del 28 de Agosto de 1973, con 7 grados de magnitud, ocurrido a las 3:52 con epifoco en el estado de Puebla muy cerca de la zona limítrofe entre Puebla y Veracruz, a una distancia de menos de 40 Km. al suroeste de Orizaba (Figura 1). Este sismo provocó 539 muertes, 2,000 heridos y 100,000 personas sin hogar, ocupando el tercer lugar a nivel nacional en número de víctimas. En la ciudad de Orizaba, se desplomaron numerosos edificios, la casi



Figura 1. Ubicación del sismo de 1973.

totalidad de las torres de las iglesias se vinieron a tierra, muchos edificios y casas que no se derrumbaron amenazaban con hacerlo y fueron un peligro por lo que se demolieron.

Los daños más importantes que ocasionó el sismo fueron el desplome del edificio de 3 pisos que ocupaba la empresa automovilística Packard (Figura 2), el desplome de la cúpula de la iglesia de San Juan de Dios, el derrumbe de la Escuela Técnica número 48, la caída del Hospital Civil, el derrumbe de las galeras de los trabajadores textiles de Cidosa, sepultando a 50 personas, así como afectaciones a numerosas casas de toda la región, la energía eléctrica, agua potable y teléfonos fueron suspendidos en toda la zona fabril. De estos hechos se desprende la importancia de contar con estudios para delimitar estos peligros, ya que el antecedente de un movimiento destructor ocurrido en el pasado, implica mayor posibilidad de su repetición en el futuro.



Figura 2. Fotos de daños por sismo en Orizaba 1973 (Del Valle 1974).

## II. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZCO.

### *Ubicación*

La Zona Conurbada de Orizaba (ZCO) está ubicada en la región centro montañosa del Estado de Veracruz, y está situada sobre el valle del Pico de Orizaba (Figura 3). Su altura es cercana a 1200 msnm. La ZCO cuenta con más de 110,000 habitantes y su zona conurbada reúne un gran número de industrias, lo que la convierte en un importante núcleo de desarrollo para el Estado y el país. Sus coordenadas geográficas son: 18° 50' de latitud norte y 97° 05' de longitud oeste. Limita con los siguientes municipios: al norte con los poblados de Ixhuatlancillo, Mariano Escobedo, la Perla en las inmediaciones del Pico de Orizaba y Santa Ana Atzacan; al este con Ixtazoquitlán, al oeste con Río Blanco, Nogales Huiloapan, Mendoza; al sur con Rafael Delgado y Tlilapan.

### *Geología Regional*

La región de Orizaba se encuentra en una zona de confluencia entre dos provincias geológicas del país, la Sierra Madre Oriental (SMO) y la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM). Las rocas pertenecientes a la SMO son calizas y lutitas estratificadas del Cretácico Medio y Superior (INEGI,1994) que constituyen grandes barreras topográficas con alturas máximas que varían entre 3,000 y 1,500 msnm. Estratigráficamente estas rocas conforman el basamento pre-volcánico de la zona. Se encuentran intensamente plegadas y falladas, formando un complejo patrón de anticlinales, sinclinales, fallas normales e inversas, cuyos ejes y planos están orientados en dirección NW-SE.

También se puede observar un patrón de fracturamiento perpendicular (NE-SW) que condiciona la red de drenaje en las calizas. Las rocas y materiales de origen volcánico son depósitos piroclásticos y lavas emitidos por los volcanes Pico de Orizaba y Sierra Negra, así como por algunos conos de escoria. En las zonas intermedias y altas hay un predominio de depósitos piroclásticos de flujo y de caída, los cuales están asociados con erupciones de tipo explosivo ocurridas en el pasado en ambos volcanes.

Los depósitos de lahar son abundantes y están asociados a erupciones volcánicas y lluvias torrenciales. En algunos sitios cubren discordantemente a las rocas cretácicas y se encuentran principalmente a lo largo de las barrancas. Las diferencias estructurales, texturales y de resistencia que existen entre las calizas, los depósitos piroclásticos y las lavas, son factores determinantes que condicionan el curso de



Figura 3. Ubicación de la ZCO.

los cauces de agua, así como la cantidad y características del material que es transportado hacia las zonas más bajas.

Aproximadamente entre las cotas 4,500 y 2,500 msnm hay abundancia de material volcánico sobre las barrancas. Se trata de depósitos piroclásticos y epiclásticos no consolidados, con una granulometría que varía entre bloques de varios metros de diámetro (movidos por rodamiento) hasta gravas, arenas, limos y arcillas que son transportados por arrastre, suspensión y disolución. En esta zona se localizan las principales fuentes de aporte de material que es arrastrado por las corrientes de agua.

Los principales asentamientos urbanos se encuentran en las planicies de inundación. En esta unidad se agrupan los depósitos aluviales y los depósitos dejados por flujos hiperconcentrados cuya fracción granulométrica se concentra en las arenas, limos y arcillas. Se trata de material proveniente de los depósitos piroclásticos.

### *Geología Local*

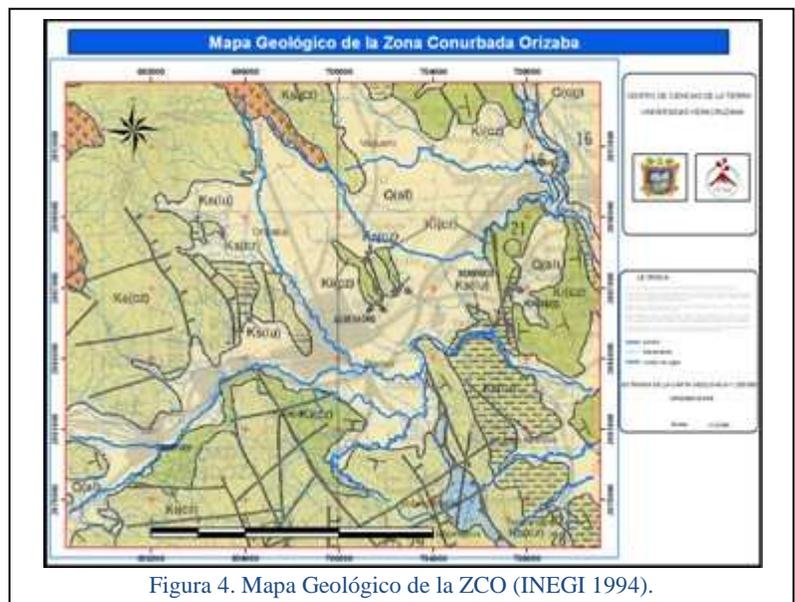
Los depósitos que forman el valle, son de origen aluvial del cuaternario, con calizas del Cretácico Superior en sus bordes. Las principales unidades de acuerdo al INEGI (1994) (Figura 4) son: ALIZA, Ks(cz). Esta unidad incluye a las Formaciones Tehuacán, Guzmantla, Maltrata y Atoyac. La primera es una caliza rojiza, cuyo rango va del Albiano al Maestrichtiano, su textura va de wackestone a packstone, está fracturada, presenta vetillas de calcita, con bandas y nódulos de pedernal y está dispuesta en capas de más de un metro de espesor.

La Formación Guzmantla es una caliza de color gris y crema, que intemperiza a un color pardo claro, su estratificación es de 30 a 40 cm y presenta bandas y nódulos de pedernal. La Formación Maltrata de edad Turoniano-Coniaciano, incluye sedimentos calcáreos de ambiente de cuenca de texturas mudstone y wackestone, principalmente y en algunos casos packstone; en su estratificación de 30 a 15 cm., con bandas y nódulos de pedernal negro con escasas lutitas calcáreas intercaladas. La Formación Atoyac, del Senoniano, es una caliza de textura wackestone a packstone, de color crema claro, en capas gruesas a masivas, muy fracturadas, con numerosos rasgos de disolución. Presenta fragmentos de pelecípodos, espículas de equinodermos y miliólidos; su ambiente es lagunar y post-arrecifal.

LUTITA, Ks(lu). Unidad que consiste de lutitas calcáreas y margas de color pardo amarillento, en estratos de 10 a 15 cm., con fragmentos del tamaño del limo de cuarzo, moscovita sericita y hemafita; presenta microfana de Globotruncanas y laminación ondulante.

CALIZA, Ki(cz). Unidad que incluye a las Formaciones Miahuatepec, Morelos, Orizaba, Tamaulipas Superior y parte de la Formación Xonamanca.

La porción de la Formación Xonamanca, del Neocomiano, consta principalmente de calizas y dolomías, escasas tobas, limonitas y grauvacas; las calizas son de color gris oscuro e intemperizan a gris claro, de textura mudstone, wackestone y grainstone con bandas y nódulos de pedernal en capas de 10 a 60 cm, con estiolitas; parte de estas calizas han sido dolomitizadas.



La Formación Mihuatepec, del Aptiano, consta de una caliza de color gris a gris oscuro que intemperiza en gris plomo, con fracturas rellenas de calcita, muy plegada y fallada, en estratos de 70 cm a 2 metros.

La Formación Morelos (Albiano- Cenomaniano) consiste de calizas masivas de color gris y pardo claro, fosilífera: con gasterópodos entre los que destacan las Nerineas y pelecípodos principalmente rudistas, así como gran contenido de microfósiles como son miliólidos y ostrácodos.

La Formación Morelos, de facies de banco y plataforma, arrecifal, post-arrecifal y lagunar. Descansa discordialmente sobre las rocas del Jurásico y Cretácico Inferior y subyace principalmente a sedimentos continentales terciarios.

La Formación Orizaba del Albiano-Cenomaniano es una caliza de color gris a gris claro, de textura wackestone, dolomitizada, de estratificación gruesa a masiva, de ambiente de plataforma lagunar a post-arrecifal, con rudistas, miliólidos foraminíferos textuláridos *Dictyoconus walnutensis*, y fragmentos de briozoarios. Sobreyace unidades del Cretácico Inferior y subyace a calizas del Cretácico Superior.

La Formación Tamaulipas Superior del Albiano-Cenomaniano consta de calizas de textura mudstone a packstone, de color gris oscuro que intemperiza a gris claro, en capas de 50 cm a 1.5 metros con nódulos de pedernal, boudinage, estilolitas, de ambiente de cuenca; subyace a calizas y lutitas del Cretácico Superior.

CONGLOMERADO, Q(cg). Conglomerado de origen continental, polimíctico, con líticos de calizas, areniscas, rocas ígneas y fragmentos de cuarzo y pedernal, englobados en una matriz arcillosa-arenosa, poco consolidada y pobremente cementada, variando en esfericidad de subangulosos a subredondeados. Sobreyace discordantemente a sedimentos continentales terciarios de la Formación Cuarteles, lutitas y areniscas del Paleozoico Superior y Cretácico Inferior. Se encuentra en las faldas de la Sierra Mazateca, sur de Zapotitlán Salinas y en San Francisco Xochiltepec, con una morfología de lomeríos con pendiente suave.

ALUVION, Q(al). Suelo de color oscuro, con horizontes areno-gravosos. Sobreyace discordantemente a las demás unidades y subyace en varios lugares a derrames básicos del Reciente. En las arenas del Pleistoceno, cerca del poblado de La Nopalera, se han encontrado huesos de Mamut. Quedan incluidos dentro de esta unidad los sedimentos lacustres que se localizan en la margen de la Presa Valsequillo.

#### DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE SITIO

La amplificación de las ondas sísmicas en sedimentos blandos cerca de la superficie ha sido reconocida desde los inicios de la sismología (efecto de sitio), sobre todo en Japón, y ha sido documentada desde principios del siglo XVIII (Giraldo *et al.* 1999). Esta amplificación de las ondas sísmicas durante un sismo puede desencadenar daños en las estructuras que están cimentadas sobre estos suelos. Una forma de inferir estas características desfavorables de los suelos es mediante la técnica de Nakamura, que consiste en el registro de vibración ambiental en un punto

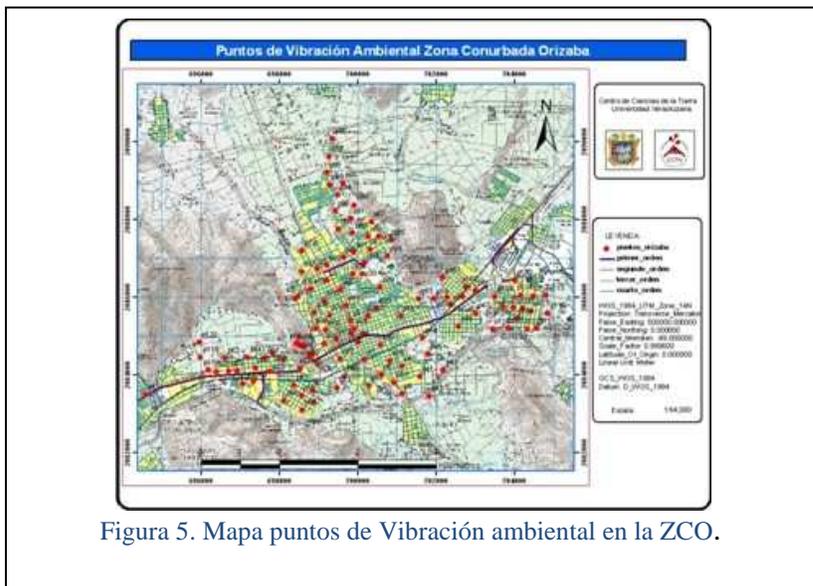


Figura 5. Mapa puntos de Vibración ambiental en la ZCO.

de una área urbana y la obtención de las razones espectrales entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro propuesta originalmente por Nakamura (1989).

Para evaluar si la amplificación de las ondas sísmicas de los suelos en la ZCO fue una variable que influyó en los daños ocurridos durante el sismo de 1973, se procedió a la estimación del efecto de sitio en la ZCO. Se tomaron un total de 121 puntos de vibración, tratando de cubrir toda la ZCO (Figura 5). Se utilizaron dos acelerómetros triaxiales, uno de la marca *Refteck* modelo 130-anss/02 y otro el CMG-5TD de la marca *Guralp System*. Después de orientar y nivelar el aparato en cada punto, se registraron ocho minutos continuos de vibración ambiental, estos se grabaron en las memorias internas de los equipos que después se descargaron a una computadora para su análisis. De los registros de vibración ambiental obtenidos se procedió a su análisis espectral para obtener sus razones H/V.

La primera parte del análisis consiste en la visualización de las trazas para seleccionar aquellos segmentos de registro que no estén contaminados por transitorios de corta duración que puedan afectar la estabilidad de las señales (principalmente vehículos y peatones en la proximidad del instrumento). De los registros se seleccionan segmentos de dos minutos para su análisis y de cada uno de estos se escogen ventanas de entre 20 y 30 segundos de duración, los cuales se utilizaron para calcular espectros de Fourier. El elegir varias ventanas de registro para cada punto, permite obtener estimaciones más robustas del espectro de amplitudes de Fourier para cada punto de observación. Finalmente, se aplica la técnica de Nakamura para cada uno de los puntos, y se obtiene una estimación de la frecuencia dominante del sitio.

Como ejemplo se muestran en la figura 6 la razón espectral promedio y su respectiva desviación estándar para un punto de vibración ambiental, la línea continua indica el promedio de los cocientes espectrales para diferentes ventanas de información, mientras que la línea discontinua indica el promedio más-menos una desviación estándar. Se observa una buena concordancia entre ambas componentes horizontales.

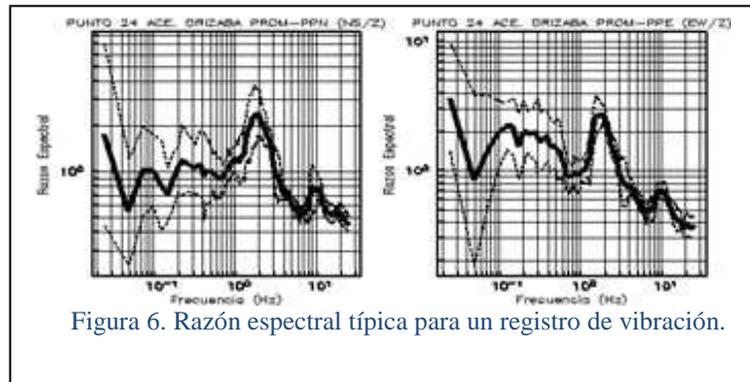


Figura 6. Razón espectral típica para un registro de vibración.

#### COMENTARIOS FINALES

Los resultados del análisis espectral de vibración ambiental se integraron mediante un sistema de información geográfica (SIG), resultando mapas temáticos como el de isoperíodos e isoamplificaciones para la ZCO (Figura 7); éste es un resultado importante ya que se podrán integrar los resultados obtenidos de la vibración ambiental, con las principales características de la ZCO en estudios posteriores. Además, en este mapa se indican las zonas que sufrieron daños durante el sismo de 1973, lo que nos permitirá realizar una evaluación preliminar del efecto de sitio en estos puntos y definir si fueron estos una detonante de los daños en las estructuras. Además, se da inicio a las bases para estudios posteriores de análisis de peligros sísmicos y microzonificación sísmica. Los mapas producto de esta investigación se procesaron con ayuda del SIG *ArcGis* de *ESRI*.

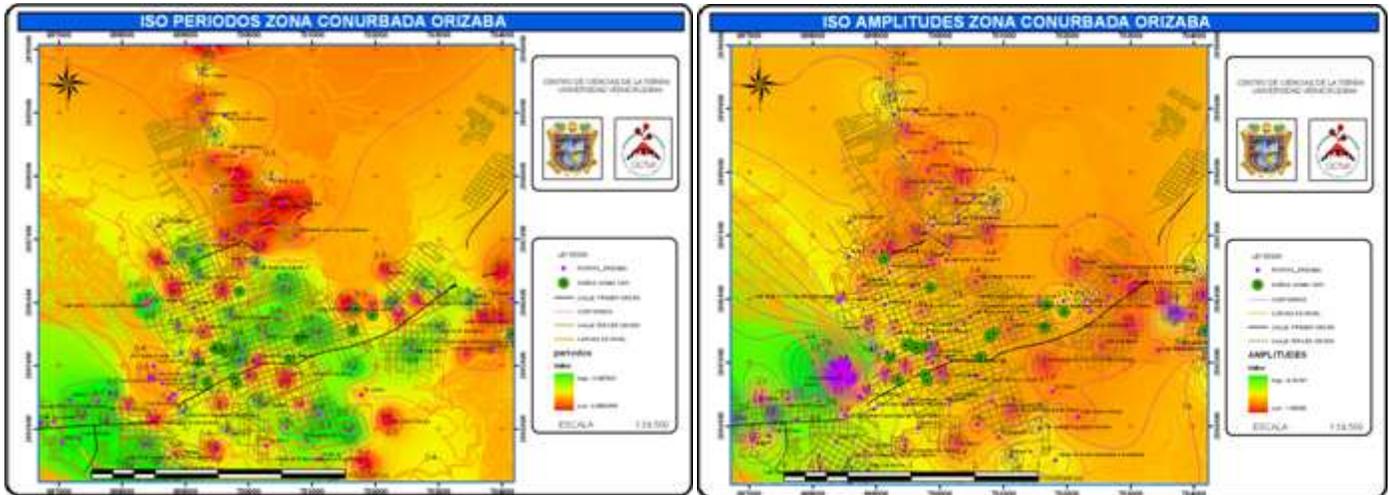


Figura 7. Mapa isoperíodos, isoamplificaciones y puntos de daño en la ZCO.

### Resumen de resultados

Se puede observar a partir de los resultados integrados mediante el SIG, que los periodos encontrados en la ZCO van de 0.1 hasta 1.0 y las amplificaciones relativas a terreno firme de 1 a 8 veces. Los valores altos para estos parámetros, que indican efecto de sitio, no se ubican en los sitios donde ocurrieron daños, lo que hace evidente que esta variable no fue significativa durante los daños en las edificaciones debido al sismo de 1973. Los daños ocurridos se debieron a defectos estructurales o constructivos y a que las edificaciones no tenían elementos estructurales de confinamiento, como es el caso de las iglesias o edificios históricos, que están hechos de mampostería sin confinamiento (Del Valle 1974). Los periodos encontrados no son muy grandes, comparados con algunos de ciudades con grandes efectos de sitio como los de la Ciudad de México, e indican estratos no muy profundos. El efecto de sitio podría ser significativo para las edificaciones cuyos periodos de vibración coincidan el del suelo, ya que se tendría una mayor respuesta de éstas, debido a la posible resonancia de la estructura con el suelo, con lo que se esperaría que las estructuras presenten una mayor respuesta dinámica debido a este fenómeno.

### Conclusiones

Se pudieron obtener diferentes mapas temáticos, como los mapas: geológico, de isoperíodos e isoamplificaciones. Todos estos mapas contienen la información a detalle y están superpuestos en un SIG sobre la cartografía de INEGI, por lo que esta información está georeferenciada y es susceptible a actualizar, lo que hace que el estudio sea dinámico. Además, se pueden hacer consultas a detalle para cualquier punto en la ZCO, de las características antes mencionadas. Estos resultados estarán disponibles en Internet, gracias al "Atlas de Peligros del estado de Veracruz", ya que se incluyen las microzonificación sísmica de las ciudades de Xalapa, Orizaba y Veracruz.

### Recomendaciones

Se recomienda continuar con estos estudios para poder llegar a un mapa de microzonificación sísmica de la ZCO. Además, se recomienda relacionar los parámetros obtenidos de la microzonificación sísmica con la vulnerabilidad de las áreas urbanas y las obras de ingeniería en la ZCO, pudiendo obtener mapas de vulnerabilidad sísmica de las áreas urbanas, sus obras civiles y las herramientas para evaluar el riesgo sísmico.

### REFERENCIAS

- Del Valle E. "Temblor del 28 de agosto de 1973. Aspectos estructurales". *Publicaciones del instituto de ingeniera de la UNAM*, 1974.
- Giraldo V., A. Alfaro, L.G. Pujades, J.A. Canas, "Estimación de efectos locales con movimientos sísmicos y microtemblores", *Monografía Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE)*, Editor A.H. Barbat. ISBN: B-42176-99. 1999.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Carta Geológica Orizaba E14-6*, escala 1:250,000.1994.

Nakamura Y. "A method for dynamics characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *QR of RTRI*, 30, No. 1, 25-33. 1989.

Torres, G. "Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz y evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural del centro histórico", Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniería, Zona Veracruz, *Tesis Doctoral*, Veracruz 2008.  
<http://www.uv.mx/insting/Tesis/tesis-2008.html>.

## Determinación del efecto de sitio en la zona conurbada de la ciudad de Xalapa (ZCX), Ver.

Dr. Gilbert Torres Morales<sup>1</sup>, Dr. Jorge Aguirre González<sup>2</sup>, M.C. Javier Lermo Samaniego<sup>2</sup>, Dr. Raymundo Dávalos Sotelo<sup>3</sup>, M.I. Ignacio Mora González<sup>1</sup>, Dr. Alejandro Vargas Colorado<sup>4</sup>, Ing. Javier O. Hernández Hernández<sup>1</sup>, Miguel Leonardo Suárez<sup>1</sup> y Daniel Huesca Hernández<sup>1</sup>.

**Resumen**—Se presenta la evaluación del efecto de sitio para la ZCX, obtenida como parte del proyecto denominado: “*Microzonificación de Peligros Geológicos para la Zona Conurbada Xalapa*”, desarrollado por el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (CCTUV) y financiado por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz. Se realizó un estudio de las características más importantes de la ZCX. Asimismo, se tomaron más de 500 puntos de vibración ambiental en las diferentes zonas geológico-geotécnicas para determinar sus características dinámicas y de efecto de sitio mediante la técnica Nakamura, y se instalaron estaciones de monitoreo sísmico en terreno firme y blando, utilizando sismómetros de banda ancha marca *Guralp*. Funcionaron hasta ocho estaciones de monitoreo sísmico simultáneas, registrando a la fecha más de 70 sismos, con lo que se pudo aplicar la técnica estándar y corroborar los resultados obtenidos mediante la técnica de Nakamura.

**Palabras claves**—Ingeniería sísmica, peligro, riesgo, vibración ambiental, vulnerabilidad.

### INTRODUCCIÓN

El Estado de Veracruz ha sufrido a lo largo de su historia daños importantes debido a fenómenos geológicos; algunos de los más importantes son sismos de gran intensidad. La primera noticia de un sismo local importante en las inmediaciones de Xalapa data de 1546. Los reportes históricos de este evento indican la destrucción total del Convento de San Francisco, fundado en 1534. Reportes posteriores indican que la ciudad fue afectada por otros temblores de magnitud importante. En 1691 se reportaron numerosos sismos de baja magnitud que causaron daños moderados en la ciudad. El 13 de noviembre de 1874 un sismo afectó una amplia región del país localizándose los daños más importantes en Xalapa donde de nuevo el templo de San Francisco sufrió daños (Torres 2008).

Cabe recordar que el Estado ocupa el segundo y el tercer lugar en número de víctimas mortales a nivel nacional, con los sismos de Xalapa del 3 de enero 1920 y el de Orizaba del 28 de agosto de 1973 respectivamente, solamente después del sismo del 19 de septiembre de 1985, que cobró aproximadamente 6,000 víctimas, de acuerdo con los registros oficiales. El sismo de Xalapa ( $M_s=6.2$ ) ocupa el segundo lugar a nivel nacional en número de víctimas con 650; de éstas, 419 murieron por avalanchas de lodo provocadas por el deslave de material en barrancas (Figura 1). Este sismo se originó en la Sierra Madre Oriental, entre los Estados de Puebla y Veracruz. El epicentro se ubicó aproximadamente a 35 Km. al suroeste de la ciudad de Xalapa, en un lugar conocido como el Cerro de

<sup>1</sup> Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Francisco J. Moreno No. 207, Col. Emiliano Zapata, Xalapa, Ver. México, Tel: (01-228) 8155019, Fax: 8120688; [gitorres@uv.mx](mailto:gitorres@uv.mx).

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F., Tel.: (01-55) 56223461, [joagg@pumas.ii.unam.mx](mailto:joagg@pumas.ii.unam.mx)

<sup>3</sup> Instituto de Ecología A.C., Km 2.5, carretera antigua a Coatepec No. 351, Xalapa, Ver., 91170, Tel: (228) 8421800 ext. 6106, Fax: (228) 8187809, [raymundo.davalos@inecol.edu.mx](mailto:raymundo.davalos@inecol.edu.mx).

<sup>4</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, C. P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel.: (01-229) 923-28-00 ext. 22216, Fax: 923-28-27. [alejvargas@uv.mx](mailto:alejvargas@uv.mx).

Quimixtlán. El tercer lugar corresponde al sismo de Orizaba ( $M_w=7.0$ ) con 539 muertes. Este sismo ocurrió en el estado de Puebla cerca de la frontera con el Estado de Veracruz aproximadamente a 40 km en la dirección suroeste de Orizaba.

Además de estos sismos de gran importancia por las vidas que cobraron, han existido otros sismos que dañaron ciudades del Estado como el sismo del 14 de enero de 1931 en Huajuapán de León, Oax., ( $M_s=7.8$ ), que causó daños en la ciudad de Veracruz; el sismo de 1937 ( $M_s=7.3$ ), que afectó a Veracruz, Xalapa, Orizaba y Córdoba; el sismo de Jáltipan del 26 de agosto de 1959 ( $M_s=6.4$ ), que destruyó totalmente la ciudad y afectó a las ciudades de Acayucan, Minatitlán y Coatzacoalcos; el sismo del 11 de marzo de 1967 ( $M_w=5.7$ ), conocido como el temblor de Veracruz por los daños ocasionados en aproximadamente 50 edificios.



Figura 1. Foto periódico El Dictamen que informa del sismo de Xalapa, mapa que muestra las intensidades (MM) y una fotografía del centro histórico de Xalapa

### PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZCX.

#### Ubicación

La Zona Conurbada Xalapa (ZCX) está ubicada en la Región Central del Estado de Veracruz, en la faldas del cerro Macuiltépetl, en las estribaciones orientales del Cofre de Perote, zona de transición entre la Sierra Madre Oriental y la planicie costera del Golfo de México (Figura 2). Su altura promedio es de 1,400 msnm. La ZCX cuenta con más de 400,000 habitantes y sus coordenadas geográficas son:  $19^{\circ} 32' 24''$  de latitud norte y  $96^{\circ} 55' 39''$  de longitud oeste. Tiene un área aproximada de 118  $\text{Km}^2$  y limita con los siguientes municipios: al norte con Banderilla y Jilotepec, al noroeste con Naolinco, al este con Actopan, al noroeste con Acajete, al oeste con Tlalnahuayocan y Rafael Lucio y al sur con Emiliano Zapata y Coatepec.



Figura 2. Ubicación de la ZCX.

#### Geología Local

La ciudad de Xalapa tiene una topografía muy irregular la cual es producto de su origen derivado de centros volcánicos de escoria y lava que rodean su área urbana. Son 20 aparatos volcánicos que se distribuyen en un área de 905  $\text{km}^2$  alrededor de la ciudad de Xalapa, lo que es conocido como el Campo Volcánico de Xalapa (CVX) (González-Mercado 2005). De los 20 centros del CVX, cuatro se localizan dentro de lo que actualmente es la zona urbana de Xalapa: Macuiltépetl, Colorado, Estropajo y Las Margaritas. Estos volcanes han producido derrames de lava y depósitos piroclásticos que dan un sello muy particular a su topografía y determinan las características geotécnicas de los suelos y materiales sobre los cuales se asienta la ciudad. También existen otros depósitos producidos por procesos distintos que contribuyen a conformar la geología urbana de Xalapa.

Para definir la geología de la ZCX se han agrupado las distintas rocas y materiales en unidades cuyos nombres responden ya sea a su centro emisor o al proceso por el cual fueron emplazadas. Estas se

muestran en la Figura 3. En total se identificaron 10 unidades, (modificado de Hernández, J. 2007), las cuales se describen a continuación de la más antigua a la más reciente.

**Unidad Calizas.** Estas rocas se encuentran distribuidas al sur poniente del área, entre la zona urbana de Xalapa y Coatepec. Se trata de rocas carbonatadas masivas formadas durante el Cretácico, las cuales constituyen el basamento pre-volcánico del área. Su expresión morfológica está caracterizada por cerros abruptos con pendientes pronunciadas.

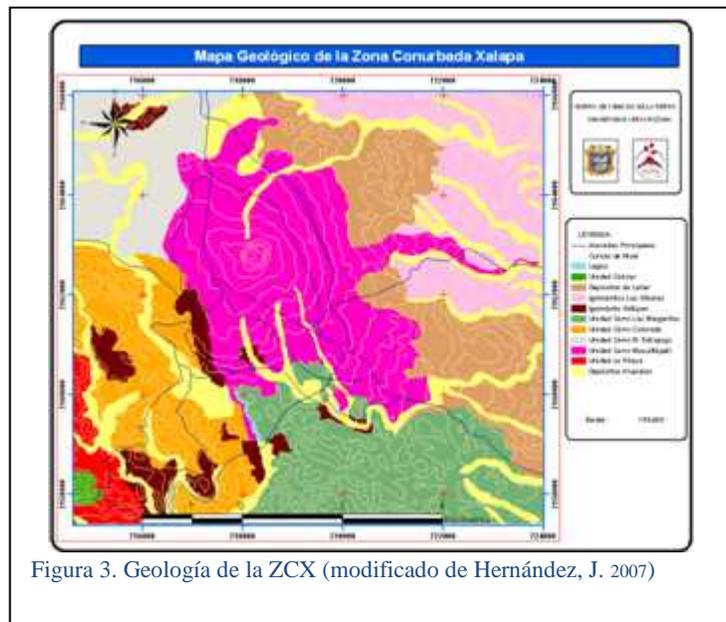
**Deposito de Lahar.** Esta unidad se encuentra principalmente en el cuadrante noreste y sureste del área de estudio, las cuales conforman un basamento volcánico previo a la actividad de los grandes estratovolcanes como el Cofre de Perote. Los depósitos de esta unidad consisten en un material masivo de color amarillo-café, con apariencia caótica, deleznable, constituida por una matriz de textura arcillo-limosa que contiene fragmentos líticos subredondeados de 1 mm de diámetros y fragmentos de cristales.

**Ignimbrita Las Víboras.** Consiste de una secuencia de flujos piroclásticos de composición riolítica. Contienen fragmentos de pómez y líticos en una matriz arenosa de regular a bien consolidada y su centro de emisión es aun desconocido. Los sitios en donde se encuentra expuesta esta unidad se ubican principalmente al norte de la ZCX. Presenta un fracturamiento muy pronunciado y es relativamente resistente a los esfuerzos compresivos y en menor medida a los esfuerzos cortantes.

**Ignimbrita Xáltipan.** Esta unidad fue producida por una gran erupción ocurrida hace aproximadamente 0.46 ma y que formó la caldera de Los Humeros, localizada a unos 40 km al noroeste de Xalapa (Ferríz y Mahood 1984). Su distribución dentro del área de estudio es muy irregular y constituye afloramientos aislados. Consiste de flujos piroclásticos masivos de composición riolítica que contienen fragmentos de pómez y líticos en una matriz arenosa no consolidada. Es un material altamente permeable y por su carácter arenoso tiene una muy baja resistencia a los esfuerzos compresivos y cortantes.

**Unidad Cerro Las Margaritas.** Esta unidad fue producida por un volcán tipo escudo (González-Mercado, 2005), el cual es un edificio en forma alargada en dirección este-oeste que se ubica al sur del área de estudio. Consiste de lavas masivas cuya composición es andesítica-basáltica con apariencia fresca en algunos sitios y muy alterada en otros. Los flujos de lava están cubiertos por depósitos de lahar bien consolidados los cuales se encuentran distribuidos hacia el sureste del área. Los materiales emitidos por este centro eruptivo presentan una resistencia variable a los esfuerzos compresivos y cortantes, ya que se trata de lavas masivas que en algunos sitios se encuentran muy alteradas.

**Unidad Cerro Colorado.** Depósitos emitidos por un cono de escoria alargado en dirección noroeste-sureste ubicado al oeste del área de estudio. Estos depósitos están constituidos por derrames de lava basáltica muy alterada. En sitios próximos a la fuente están constituidos por derrames de lava en bloques con un alto grado de intemperismo y exfoliación concéntrica. En sitios más distantes (3 a 4 km) las lavas están muy alteradas y se encuentran cubiertas por material regolítico de color rojizo de



aproximadamente 3 m de espesor. Este material es muy inestable y es común deslizamientos sobre todo en época de lluvias.

*Unidad Cerro El Estropajo.* Este volcán es un cono de escoria con formas redondeadas y ausencia de un cráter en su cima. Se localiza al occidente del área de estudio y sus depósitos se encuentran distribuidos. En sitios cercanos a la fuente de emisión, los depósitos están constituidos por derrames de lava de composición basáltica muy alterada de color gris a gris oscuro. En sitios más alejados estos derrames de lava están cubiertos por flujos piroclásticos y material regolítico que constituyen lomas con pendientes pronunciadas.

*Unidad Cerro Macuiltépetl.* Este cono de escoria tiene tres cráteres en su cima los cuales están alineados en una dirección NE-SW. Se localiza en la parte central del área urbana de Xalapa y constituye uno de los rasgos topográficos más dominantes de esta ciudad. Los derrames de lava emitidos por este volcán son de composición andesítica-basáltica y se distribuyen en forma radial. En sitios próximos al centro de emisión los depósitos de lava son masivos y tienden a formar túneles o tubos de lava. En lugares más alejados el depósito cambia a lava en bloques. Hacia las partes bajas, los derrames de lava están cubiertos por depósitos de lahar bien consolidados cuyos espesores varían entre 1 y 3 m.

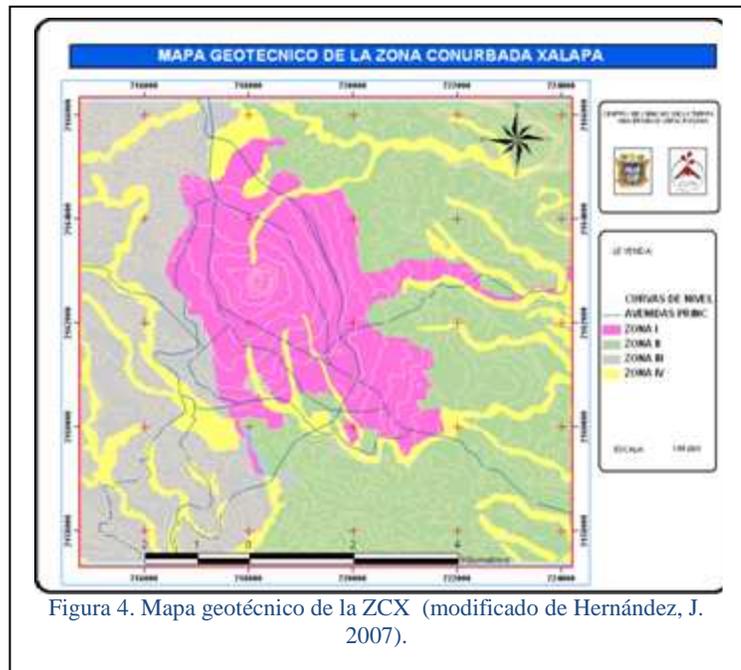
*Unidad La Pitaya.* En el cuadrante suroeste del mapa geológico se observa un derrame de lava que se agrupa bajo el nombre de lavas La Pitaya. Esta unidad consiste de rocas basálticas masivas y en bloques cuya fuente de emisión pueden ser algunos de los volcanes monogenéticos ubicados en los flacos orientales del Cofre de Perote y que no se determinan por encontrarse fuera del área de este estudio.

*Depósitos aluviales.* Están constituidos por material removido de las unidades antes descritas y rellenan los valles y zonas bajas. Su distribución es irregular y tienden a acumularse a lo largo de los cauces naturales que atraviesan la ciudad. Por lo general tienen baja resistencia a los esfuerzos compresivos y cortantes y coinciden con zonas de inundación.

#### Mapa Geotécnico

Basados en la conjunción de la información geológica y de sondeos de mecánica de suelos dentro de la región de Xalapa se realizó una zonificación de áreas con mayor y menor estabilidad. Estos datos se representan en el mapa geotécnico de la ciudad de Xalapa (Figura 4). En este mapa se presentan básicamente 4 zonas que dependen de su estabilidad. La delimitación se formuló de acuerdo al análisis de la información recabada de mecánica de suelos así como de las características de las unidades geológicas. Estas pueden resumirse de la siguiente manera:

**ZONA 1:** La zona más compacta del área en estudio se encuentra alrededor del cerro Macuiltépetl, donde podemos encontramos derrames basálticos de origen reciente del pleistoceno superior a profundidades variables. Estos materiales están constituidos por una roca vesicular de color gris oscuro, recubierta parcialmente por tobas limo-arcilloso-arenosas de tono rojizo. Estratigráficamente esta zona se caracteriza por presentar superficialmente material granular de compacidad media formado por escoria volcánica, gravas de basalto mezclado con material de relleno (GM), empacadas en un limo arenoso de color café oscuro ligeramente orgánico de plasticidad



media. A profundidades mayores encontramos un estrato de basalto vesicular muy fracturado (GM), intemperizado con grietas rellenas de limo arcilloso color café claro de espesor muy variable, que podemos encontrar hasta los 8m de profundidad. Subyaciendo estos depósitos se encuentra otro basalto vesicular color gris oscuro a negro, fracturado el cual presenta intemperismo en algunas grietas y juntas. Lo anterior descansa sobre derrames basálticos que se localizó a profundidades variables.

**ZONA 2:** Esta zona de mediana estabilidad la componen limos-arcillo-arenosos de mediana a alta estabilidad, que representan posiblemente el producto de las últimas emisiones volcánicas que recubren a las rocas basálticas de la parte norte. Estratigráficamente encontramos relleno superficial a base de fragmentos de roca, grava y arena hasta 2.30 m de profundidad seguido por depósitos limo arcillo-arenoso (de espesor muy variable, que se encontraron hasta 15 m de profundidad). Subyaciendo estos depósitos derrames basálticos, entre 3 y 11 m de profundidad. Al mismo tiempo en la parte este de la zona encontramos lomas de flujos piroclásticos y brecha volcánica lo cual se trata de coladas no clasificadas, de color muy claro, algunas pumíticas, otras con bloques de lava basáltica, a menudo cementadas y endurecidas y en otras ocasiones deleznable. Algunas de ellas presentan pómez lenticular y se asemejan a las ignimbritas; su composición se parece a la de las riocitas.

**ZONA 3:** Área de menor estabilidad, se encuentra básicamente en la parte oeste de la ciudad, presenta en capas superficiales materiales de despalme, constituido por limos de plasticidad media (orgánicos) seguidos por limos de alta plasticidad (Grupo MH del Sistema de Clasificación de Suelos, SUCS) de color café claro a café rojizo, con tonos amarillentos con algunos lunares formados de arena limosa a profundidades variables. En sitios próximos a la fuente de emisión estos depósitos están constituidos por derrames de lava en bloques con un alto grado de intemperismo y exfoliación concéntrica. Además, de lava de composición volcánica muy alterada de color gris a gris oscuro. En sitios más alejados estos derrames de lava están cubiertos por flujos piroclásticos y material regolítico que constituyen lomas con pendientes pronunciadas.

**ZONA 4 DEPÓSITOS DE ALUVIÓN:** El aluvión es material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua, que puede ser repentina y provocar inundaciones. Dicho material puede estar compuesto por arena, grava, arcilla o limo. Se acumula en los canales de las corrientes, en las planicies inundables y en los deltas. Algunos autores también incluyen bajo este término los materiales que se sedimentan en lagos o estuarios. A menos que se especifique otra cosa, el término aluvión se refiere a material no consolidado.

#### DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE SITIO

Se tomaron un total de 517 puntos de vibración, en las diferentes zonas geológico-geotécnicas de la ZCX para determinar sus características dinámicas y de efecto de sitio mediante la técnica Nakamura (Figura 5). Se utilizaron principalmente dos acelerómetros triaxiales, uno de la marca *Refteck* modelo 130-anss/02 y otro el CMG-5TD de la marca *Guralp System*. De los registros de vibración ambiental obtenidos se procedió a su análisis espectral para obtener sus razones espectrales H/V, siguiendo el procedimiento detallado por Torres G. (2008). Además, se instalaron estaciones de monitoreo sísmico, en terreno firme (estación de referencia) y en



Figura 5. Puntos tomados de vibración ambiental en la ZCX.

terreno blando, de acuerdo con las características geológico-geotécnicas, utilizando sismómetros de banda ancha marca *Guralp*, modelo CMG-6TD, funcionaron simultáneamente hasta ocho estaciones de monitoreo sísmico, registrando a la fecha más de 70 sismos, con lo que se pudo aplicar la técnica estándar y corroborar los resultados obtenidos mediante la técnica de Nakamura.

### COMENTARIOS FINALES

Los resultados del análisis espectral de vibración ambiental y de los sismos registrados en las estaciones de monitoreo sísmico se integraron mediante un sistema de información geográfica (SIG), resultando mapas temáticos como el de isoperíodos e isoamplificaciones para la ZCX (Figura 6); éste es un resultado importante ya que se podrán integrar los resultados obtenidos de la vibración ambiental y sismos, con las principales características de la ZCX como: la topografía, la hidrología y las características geológica-geotécnicas. Lo anterior nos permitirá realizar análisis de los peligros sísmicos en la zona y obtener un mapa de microzonificación sísmica que incluirá los aspectos más importantes de la ZCX. Los mapas producto de esta investigación se procesaron con ayuda de un SIG de nombre *ArcGis* de la empresa *ESRI*.

#### *Resumen de resultados*

Se puede observar a partir de los resultados integrados mediante el SIG, que las zonas con características de suelo menos favorables presentan los efectos de sitio más desfavorables, es decir periodos y amplificaciones altos. Los periodos encontrados en la ZCX tienen valores que van de 0.07 hasta 1.14 y las amplificaciones relativas a terreno firme de 1 a 6 veces, y aunque este último parámetro es considerado muy aproximado mediante la técnica de Nakamura, nos da una idea de las zonas que pueden tener una mayor respuesta. Los periodos encontrados no son muy grandes, comparados con otros como los de la Ciudad de México, e indican estratos no muy profundos. Los periodos de los suelos podrían ser significativos para edificaciones que sus periodos de vibración coincidan o estén próximos, ya que se tendría una mayor respuesta de estas edificaciones, debido a la posible resonancia de la estructura con el suelo, con lo que se esperaría que las estructuras presenten una mayor respuesta debido a este fenómeno.

#### *Conclusiones*

De los trabajos de investigación de la ZCX se pudieron obtener diferentes mapas temáticos, como son los mapas: geológico, geotécnico, de isofrecuencias, isoperíodos e isoamplificaciones (Figura 6). Todos estos mapas contienen la información a detalle y están montados en un SIG sobre la cartografía de INEGI, por lo que esta información está georeferenciada y es susceptible a actualizar, lo que hace que el estudio sea dinámico. Además, se pueden hacer consultas a detalle para cualquier punto en la ZCX, de las características antes mencionadas, lo que sería de gran ayuda para profesionales de la construcción, protección civil, valuadores, aseguradoras, etc. Estos resultados estarán disponibles en Internet próximamente, gracias al “Atlas de peligros del estado de Veracruz”, ya que se incluyen las microzonificación sísmica de las ciudades de Xalapa, Orizaba y Veracruz.

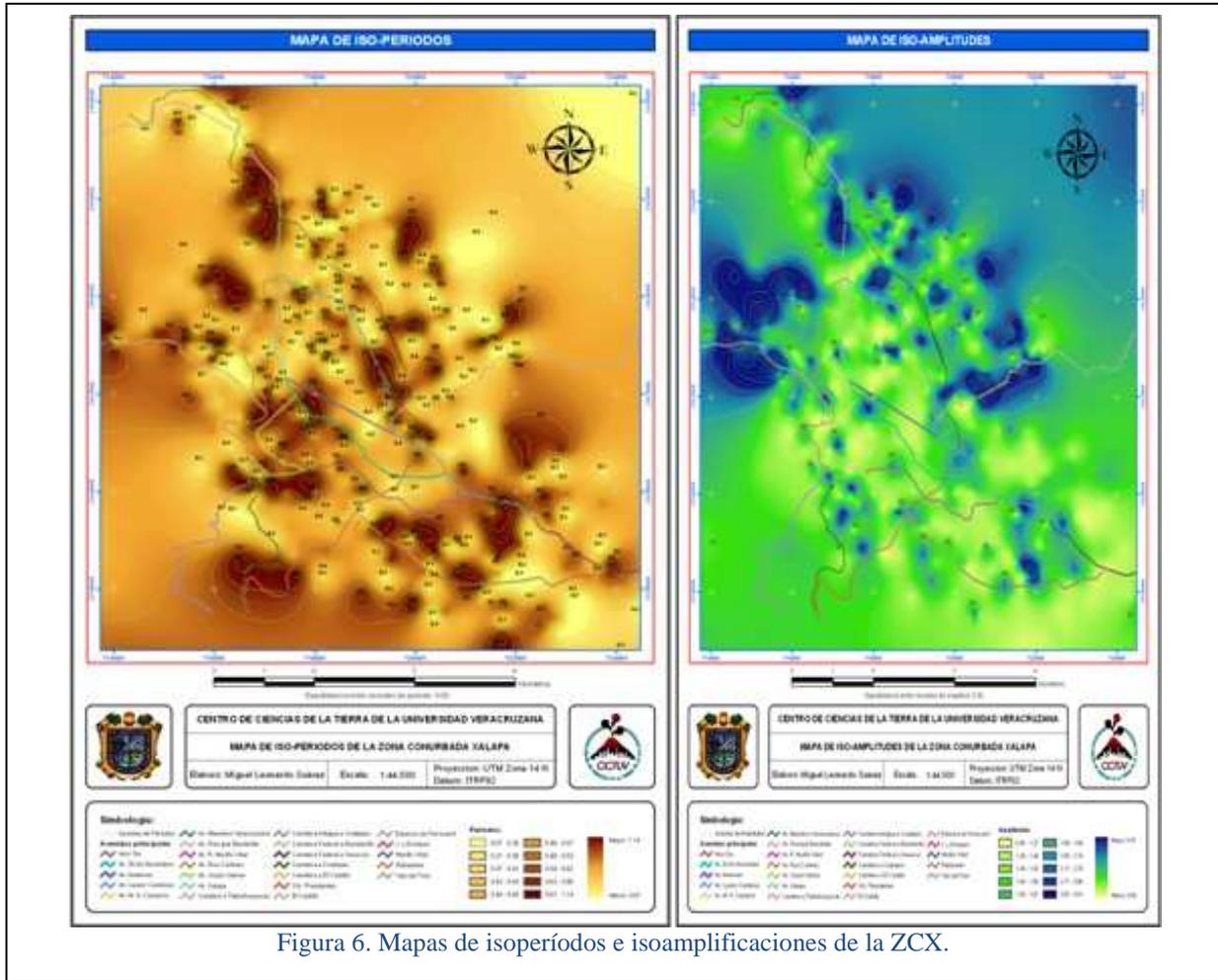


Figura 6. Mapas de isoperíodos e isoamplificaciones de la ZCX.

### Recomendaciones

Se recomienda continuar con estos estudios para poder llegar a un mapa de microzonificación sísmica de la ZCX, donde se presenten zonas delimitadas de peligro sísmico de acuerdo con sus características dinámicas, geología, geotecnia e hidrológicas. Además, se recomienda relacionar los parámetros obtenidos mediante los estudios de efecto de sitio y microzonificación sísmica con la vulnerabilidad de las áreas urbanas y las obras de ingeniería en la ZCX, pudiendo obtener mapas de vulnerabilidad sísmica de las áreas urbanas y sus obras civiles (vulnerabilidad a gran escala de áreas urbanas, VGE). Estos mapas como están montados en un SIG se les podrá ir actualizando la información y agregando nuevos datos, como los peligros por otros fenómenos geológicos, tales como los deslizamientos de laderas e inundaciones, generando mapas generales de peligros geológicos y microzonificación, buscando el poder obtener mapas generales de vulnerabilidad y riesgo.

### REFERENCIAS

- Ferríz, H. y G. Mahood. "Eruption rates and compositional trends at Los Humeros volcanic center", Puebla, México: *J. Geophys. Res.*, 89:8511-8524. 1984.
- González-Mercado, E. "El vulcanismo monogenético de la región de Xalapa, Veracruz, Geomorfología, petrología y génesis y su relación con los límites orientales de la Faja Volcánica Trans-Mexicana". Universidad Nacional Autónoma de México, *Tesis de Maestría*, Postgrado en Ciencias de la Tierra. 2005.
- Hernández, J. "Integración de Sondeos de Mecánica de Suelos en la zona urbana de Xalapa, Veracruz, como base para elaborar un mapa geotécnico." Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Zona Xalapa, *Tesis de Licenciatura*, Xalapa. 2007.

Torres, G. "Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz y evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural del centro histórico", Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniería, Zona Veracruz, *Tesis Doctoral*, Veracruz. 2008.  
<http://www.uv.mx/insting/Tesis/tesis-2008.html>

# Determinación de la capacidad resistente de las longitudes de anclaje del refuerzo de tensión de una viga de concreto reforzado dañada por corrosión

Dr. Alejandro Vargas Colorado<sup>1</sup>, M.I Francisco William Linera<sup>2</sup>, M.I Guadalupe Riquer Trujillo<sup>3</sup> Dr. Gilbert Torres Morales<sup>4</sup>, M.I. Regino Leyva Soberanis<sup>5</sup>

**RESUMEN** El concreto reforzado se ha convertido en un material indispensable dentro de la industria de la construcción; gracias a su costo y características mecánicas. También se sabe que el concreto es un material que le brinda una barrera protectora al acero de refuerzo, debido a su alto PH, cuando este se fabrica correctamente. Pero debido a un mal plan de mantenimiento, materiales de baja calidad, mano de obra deficiente, sismos, etc. dichas estructuras permiten el ingreso de agentes externos que provocarán la corrosión del refuerzo; debilitando al elemento o estructura. Aquí se presenta una metodología para analizar la resistencia remanente de los anclajes en vigas de concreto reforzado diseñadas con las NTC-04 que han sido afectadas por corrosión.

**PALABRAS CLAVE** Concreto reforzado, longitud de anclaje, corrosión, resistencia remanente

## I. INTRODUCCIÓN

Anteriormente se pensaba que las estructuras de concreto eran durables, y de escaso o nulo mantenimiento durante su vida útil; sin embargo, al paso de los años nos hemos dado cuenta que no es así. Las estructuras de concreto reforzado construidas en zonas urbanas o costeras, presentan serios daños debido a la corrosión, la cual pone en peligro la integridad de los elementos estructurales o de toda la estructura. El concreto reforzado presenta principalmente dos mecanismos de degradación, tanto del concreto como del acero de refuerzo; para el primero este mecanismo se llama carbonatación y del segundo es el ataque por cloruros. El ataque por carbonatación es más común encontrarlo en estructuras localizadas en zonas urbanas, donde es más abundante el CO<sub>2</sub>, mientras que el ataque por cloruro es común de las zonas costeras, donde estos se encuentran en la brisa marina.

Es muy común observar en ciudades costeras, como lo es la Zona conurbada Veracruz-Boca del Rio, que un gran número de construcciones presentan ataque por corrosión de su acero de refuerzo, ya sea en menor o mayor medida. Esto lo podemos notar por las manchas marrón sobre las superficies de concreto, por la formación de cristales blanquecinos sobre la zona afectada, por grietas que corren a lo largo del acero de refuerzo o en los casos más graves por el desconchamiento del concreto dejando expuesto al acero corroído. Cuando dicho ataque está presente, se modificarán las propiedades mecánicas, tanto del concreto como del acero; así como también las propiedades de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto, disminución de la sección transversal del acero de refuerzo debida a la formación de herrumbre; todo esto trae como consecuencia la disminución de la resistencia del elemento de concreto reforzado o de la estructura en general.

## II. DAÑOS EN EL CONCRETO REFORZADO DEBIDO A LA CORROSIÓN

El concreto es un material alcalino con un pH que va de 9.5 a 13, lo cual hace que se forme un película pasivante sobre acero de refuerzo que reduce las tasas de corrosión a valores muy pequeños y no

1 El Dr. Alejandro Vargas Colorado es investigador del Instituto de ingeniería, Universidad Veracruzana, alejvargas@uv.mx

2 El M. I. Francisco Williams Linera es investigador del Instituto de ingeniería, Universidad Veracruzana, franciscowilliamslinera@yahoo.com

3 La M.I Guadalupe Riquer Trujillo es investigador del Instituto de ingeniería, Universidad Veracruzana, guadaluperiquer@yahoo.com.mx

4 El Dr. Gilbert Torres Morales es investigador del Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, giltorresmorales@yahoo.com.mx

5 El M.I. Regino Leyva Soberanis es investigador del Instituto de ingeniería, Universidad Veracruzana, reginol@yahoo.com

daños. El fenómeno de la corrosión en el concreto es muy complicado, ya que existen muchas variables que influyen en las velocidades de corrosión, entre ellas se pueden mencionar: la temperatura, el contenido de cloruros, el nivel de  $\text{CO}_2$  en el ambiente, relación agua/cemento, calidad del concreto, cantidad de recubrimiento y el agrietamiento. El concreto provee tanto de protección química como física al acero de refuerzo, sin embargo ésta puede perderse al disminuir los niveles de alcalinidad del mismo.

#### *Pérdida de alcalinidad debido a la carbonatación*

El concreto es permeable (material poroso) y permite el lento ingreso de la atmósfera; los gases ácidos (tal como dióxido de carbono) reaccionan con el alcalis (usualmente calcio, sodio o hidróxido de potasio) neutralizándolos al formar carbonatos y sulfatos, y al mismo tiempo reduciendo el valor del pH. Si el frente de carbonatación penetra lo suficiente para alcanzar la interfase con el acero de refuerzo se pierde dicha protección, ya que habrá oxígeno y humedad disponibles para iniciar la corrosión del refuerzo. Además, esta reacción del  $\text{CO}_2$  con el agua de poro alcalina hace que el pH tome valores que van de 8 a 9, para los cuales el acero pierde su pasivación. Esta pérdida de protección origina que se presente la corrosión en una zona amplia, que abarca el frente de carbonatación. Este tipo de ataque es más común en ambientes urbanos o industriales.

Experimentos realizados por Chang et al. 2003 muestran resultados acerca de las propiedades mecánicas del concreto carbonatado, y en su investigación reportan que la carbonatación mejora las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión, módulo elástico, resistencia de la adherencia, carga de cortante crítica para pérdida de adherencia por unidad de longitud y dureza local. También se indica en este documento que el que se mejoren las propiedades mecánicas del concreto implica que éste es más durable, ya que una vez que el frente de carbonatación alcanza la interface entre el concreto y el acero, se inicia la corrosión dando como consecuencia una degradación de la resistencia.

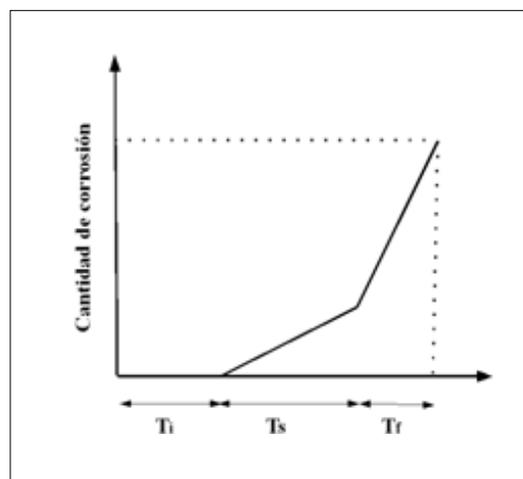
#### *Pérdida de alcalinidad debido a los cloruros*

La pasividad proporcionada por las condiciones alcalinas se puede destruir también por la presencia de iones de cloruro. Éste puede despasivar localmente al metal y provocar la disolución activa del mismo. Los cloruros reaccionan con el aluminato de calcio y la aluminoferrita cálcica del concreto para formar cloroaluminatos de calcio insolubles y cloroferritas cálcicas en las cuales el cloruro es el aglomerante en forma no activa; sin embargo, la reacción nunca está completa y algún cloruro activo soluble siempre permanece en equilibrio en la fase acuosa del concreto, y es precisamente esta solución la que es libre para provocar la corrosión del acero. Para bajos niveles de cloruros en su fase acuosa, las tasas de corrosión serán muy pequeñas, pero a mayores concentraciones se incrementa el riesgo de corrosión. El ataque por cloruros origina corrosión localizada; este tipo de ataque es más común en ambientes marinos.

La presencia de grietas debidas a sollicitaciones externas, provocarán que los procesos antes mencionados se aceleren, acortando la vida útil de un elemento o estructura completa.

### III. MODELO DE CORROSIÓN PARA EL ACERO DE REFUERZO

Considerando que existe una diferencia entre la velocidad de corrosión del refuerzo, antes y después del agrietamiento, Wang, Zhu y Sun (2006), proponen un modelo basado en el de Tuutti (1982), pero modificado para tomar en cuenta dicha diferencia; en la figura 1 se muestra dicho modelo. En éste, el proceso de corrosión del refuerzo se divide en tres periodos.  $T_i$  es el periodo de inducción de la corrosión, en el cual la concentración de cloruros sobre la superficie del refuerzo es menor que el umbral de corrosión, por lo que la corrosión del refuerzo aún no comienza,  $T_s$  es el periodo de propagación de la corrosión, que va desde el comienzo de la corrosión del refuerzo hasta el agrietamiento del recubrimiento de concreto. En este periodo el volumen de los productos de la corrosión se expanden y ejercen esfuerzos de tensión sobre el concreto circundante; y  $T_f$  es el periodo del desarrollo de la corrosión, en el cual la barra de refuerzo se corroe rápidamente y los anchos de grieta por corrosión se hacen



más grandes e incluso se puede presentar el desconchamiento. Este periodo abarca desde el comienzo del agrietamiento del concreto en la interface acero-concreto hasta el estado límite de servicio para el cual el ancho de grieta alcanza el valor de 1mm. Si no se considero la corrosión del refuerzo durante la etapa de diseño, la falla por resistencia de la estructura se presentará, muy probablemente durante el segundo periodo, cuando el refuerzo comienza a corroerse.

En este trabajo se considera que no se tomaron las precauciones necesarias para tomar en cuenta el problema de corrosión del acero de refuerzo, ya que muchas de las estructuras de concreto reforzado construidas en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, se diseñaron con reglamentos y normas que no incluían el diseño por durabilidad, con el que actualmente se pretende mitigar este tipo de problemas estructurales. También esta suposición es, hasta cierto punto válida, ya que generalmente no se conocen las propiedades físico químicas de los elementos que conforman la mezcla de concreto, provenientes de los bancos de materiales locales, ni se siguen las recomendaciones sobre el diseño por durabilidad. Debido a lo anteriormente expuesto, se considera que la longitud de anclaje del acero de refuerzo ya se vio afectada por el proceso de corrosión, es decir que está en el intervalo  $T_s$  del modelo representado en la figura 1.

#### IV. LONGITUD DE DESARROLLO DE BARRAS A TENSIÓN SEGUN LA NTC-04

De acuerdo con el apartado 5.1.2 de las NTC-04 sobre barras rectas la longitud de desarrollo,  $L_{db}$ , en la cual se considera que una barra a tensión se ancla de modo que desarrolle su esfuerzo de fluencia, se obtendrá multiplicando la longitud básica,  $L_{db}$  dada por la ec .1, por el factor o los factores indicados en la tabla 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a barras de diámetro no mayor que 38.1 mm (número 12)

Condición del refuerzo	Factor
Barras de diámetro igual a 19.1 mm (número 6) o menor.	0.8
Barras horizontales o inclinadas colocadas de manera que bajo ellas se cuelen más de 300 mm de concreto.	1.3
En concreto ligero	1.3
Barras con $f_y$ mayor de 412 MPa (4 200 kg/cm <sup>2</sup> ).	$2 - \frac{412}{f_y}$ ; $\left(2 - \frac{4200}{f_y}\right)$
Barras torcidas en frío de diámetro igual o mayor que 19.1 mm (número 6).	1.2
Acero de flexión en exceso <sup>2</sup>	$\frac{A_r \text{ requerida}}{A_s \text{ proporcionada}}$
Barras lisas	2.0
Barras cubiertas con resina epóxica, o con lodo bentonítico: - Recubrimiento libre de concreto menor que $3 d_b$ .	1.5

Tabla 1. Factores que modifican la longitud básica de desarrollo

$$L_{db} = \frac{a_s f_y}{3 \phi K_{tr} \phi_c} \geq 0.11 \frac{d_b f_y}{\phi} \quad \text{ec.1}$$

donde  $a_s$  es el área transversal de la barra,  $d_b$  es el diámetro nominal de la barra,  $c$  es la separación o recubrimiento y se debe usar la menor de los siguientes valores: la distancia del centro de la barra a la superficie de concreto más cercana o la mitad de la separación entre centros de las barras,  $K_{tr}$  es el índice de refuerzo transversal igual a  $A_{tr} f_{yt} / 10 s n$ , para la cual  $A_{tr}$  es el área total de las secciones rectas de todo el refuerzo transversal comprendido en la separación  $s$ , y que cruza el plano potencial de agrietamiento entre las barras que se anclan,  $f_{yt}$  es el esfuerzo de fluencia especificado del acero transversal,  $s$  es la máxima separación centro a centro del refuerzo transversal, en una distancia igual a  $L_{db}$  y  $n$  es el número de barras longitudinales en el plano potencial de agrietamiento. Por sencillez en el diseño se permite que  $K_{tr} = 0$ , aunque haya refuerzo transversal. Aquí también se especifica que en ningún caso  $L_{db}$  será menor que 300mm.

Observe que la longitud de desarrollo es

directamente proporcional al producto de área de la sección transversal y al esfuerzo de fluencia del refuerzo, es decir si sus valores disminuyen la longitud de anclaje disminuye también; esto es debido a que la fuerza axial sobre la barra que llevará a la fluencia al refuerzo es también más pequeña.

Debido a la corrosión, el área de la sección transversal del refuerzo disminuye, por el aumento de los productos de la misma, así como también disminuye el valor del esfuerzo de fluencia del refuerzo; todo esto hace que la corrosión debilite el anclaje de las barras de refuerzo.

#### V. MODELOS PARA LA REDUCCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA BARRA Y DE LA RESISTENCIA A LA FLUENCIA

En la literatura, Wang, Zhu y Sun (2006), Peralta, Rivas y Ortega (2006), Zhao y Jin, y Buyle-Bodin et.al., han propuesto diversas ecuaciones, basadas en simulaciones numéricas y/o en observaciones experimentales, para determinar la reducción del diámetro del refuerzo debido a la corrosión y de la disminución en el valor del esfuerzo de fluencia. Sin embargo, muchos de estos modelos requieren de la velocidad de corrosión,  $i_{cor}$  [mm/año]

para poder calcularlos, y ésta depende de las características de los materiales empleados para la fabricación del concreto, del tipo de ambiente al que estará expuesto el concreto y del tipo de acero empleado en la fabricación de las barras de refuerzo. Por su simplicidad se empleará la fórmula que emplea Da Silva para calcular el diámetro del refuerzo afectado por corrosión

$$d_t = d_i - 0.023 i_{cor} t \text{ ec. 2}$$

donde  $d_i$  es el diámetro del refuerzo después del refuerzo en el tiempo  $t$  (mm),  $i_{cor}$  es la intensidad de corrosión ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) y  $t$  es el tiempo de corrosión en años. Wang, Zhu y Sun (2006) ocupan la fórmula  $f_y = k_y f_{y0}$  ec. 3

para determinar el valor del esfuerzo de fluencia del refuerzo afectado por corrosión, donde  $f_y$  es el esfuerzo de fluencia del refuerzo con corrosión,  $k_y$  es el coeficiente que denota la reducción en el esfuerzo de fluencia y se calcula como  $k_y = 1 - 1.077 i_{cor}$  y  $f_{y0}$  es el esfuerzo de fluencia del refuerzo sin corrosión

## VI. METODOLOGÍA PROPUESTA

Como la NTC-04 no proporciona una fórmula para calcular la resistencia remanente del anclaje, aquí se propone que éste sea calculado empleando las ecuaciones 2 y 3 para obtener valores del diámetro del refuerzo afectado por la corrosión, el cual se puede calcular al paso de los años; así como el valor del esfuerzo de fluencia refuerzo afectado por corrosión. Como estos dos valores serán inferiores a los empleados al momento de diseño, arrojarán valores inferiores de la longitud de desarrollo básica, ec. 1. Lo cual se puede interpretar como que el refuerzo soporta una carga axial que provocará que la barra alcance el esfuerzo de fluencia para un valor de carga axial de menor magnitud, que aquella para el refuerzo sin corrosión

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es necesario tener, al menos, medidas de velocidades de corrosión para el sitio en el cual será construida la estructura; ya que de ellas depende la pérdida de área de la sección transversal del refuerzo. También se debe reconocer la influencia que tiene la calidad del concreto para retardar el avance del frente de carbonatación y la consecuente despasivación de la película protectora, así como de la capacidad para prevenir el agrietamiento del concreto. Es necesario corroborar mediante pruebas de laboratorio o simulaciones numéricas, en el peor de los casos, las longitudes de desarrollo calculadas con esta metodología, para de esta manera hacer los ajustes necesarios o proponer una nueva metodología.

## VII. REFERENCIAS

- Jiang Jhy Chang, Weichung Yeih, Ran Huang, and Jack Maochieh Chi, "Mechanical Properties of Carbonated Concrete", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol.26 Num.4 pp. 513-522 (2003)
- Yuan-Zhan Wang, Zhi-Wei Zhu and Yi Sun, "Comparisons on Reinforcing Bar Corrosion Models of RC Structures in Marine Environment", Third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, November 8-16 2006
- Tuutti, K. "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1982
- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004 (NTC-04)
- N. H. Peralta, I. E. Rivas y N. F. Ortega, "Análisis numérico de la fisuración superficial de estructuras de hormigón armado por efecto de la corrosión", Informe de la Construcción, Vol. 58. 501, 47-55, enero-marzo 2006
- Y. X. Zhao and W. L. Jin, "Study on Concrete Cracking due to Reinforcement Corrosion", 1<sup>st</sup> Asia Pacific Young Research and Graduates Symposium.
- F. Buyle-Bodin, A.L. Thang, M. Dekoster, O. Blanpain y O. Maurel, "Modeling of corrosion induced failure of reinforced concrete structures.", 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components, LYON, France, 17-20 April 2005

## Utilización del biogás producido con estiércol de vacas para la operación de un sistema de refrigeración por absorción

Dr. Adrián Vidal Santo<sup>1</sup>, M.I. Álvaro Gabriel Vega de la Garza<sup>2</sup>, Mauricio Reyes Aguirre<sup>3</sup>, Mario Alberto Cruz Domínguez<sup>3</sup> y Carlos Alberto Sánchez Cano<sup>3</sup>

**Resumen**— En esta investigación se presentan los resultados experimentales del diseño de un biodigestor alimentado con estiércol de vacas e instalado en una comunidad rural. También se presentan los resultados de la simulación de un ciclo de refrigeración por absorción que aprovecha la combustión del biogás para la conservación de productos lácteos. Los resultados muestran que para operar el sistema de refrigeración se requeriría un 400% más del consumo de biogás con respecto a quemar gas LP, debido al bajo poder calorífico del primero; sin embargo, se plantea en este estudio la limpieza de éste para reducir la concentración del CO<sub>2</sub> y alcanzar una mezcla con alrededor del 90% de metano, para que el sistema de refrigeración opere óptimamente consumiendo menos biogás, sólo 50% demás.

**Palabras claves**— biogás, biodigestor, simulación, absorción, renovables.

### I. INTRODUCCIÓN

En algunas zonas rurales de nuestro país se está impulsando el desarrollo de las comunidades mediante la integración de cooperativas para la crianza de cerdos, ganado vacuno, peces, pollos y se han constituido micro empresas para la fabricación de productos derivados de la leche. Estos productos lácteos se deben conservar en refrigeración para garantizar su buen estado. Sin embargo, el monto de la facturación por la energía eléctrica que consumen los sistemas de refrigeración convencionales es alto, por lo que las ganancias por estas actividades se ven severamente disminuidas, y peor aún en las zonas donde la energía eléctrica no está al alcance de la comunidad, por lo que es casi imposible que este tipo de proyectos gubernamentales puedan ser factibles de realizar. Sin embargo, el aprovechamiento de los desechos orgánicos como el estiércol de las vacas, los cerdos y borregos se puede transformar en biogás de manera relativamente fácil. Posteriormente el biogás se puede aprovechar de forma directa en las estufas, como combustible para una planta de generación eléctrica o como fuente de calor para operar un ciclo de refrigeración por absorción. Es en este último esquema en el que se trabajó en esta investigación, simulando el desempeño de un ciclo de refrigeración avanzado para producir refrigeración a temperatura cercana a cero grados Celsius para la conservación de los productos lácteos que se producen en la comunidad.

Este tipo de aprovechamiento de los desechos orgánicos cumple con dos buenos propósitos, el primero es la generación del biogás y el abono orgánico que se obtiene como subproducto y el segundo es la reducción de focos de infección al recolectar todos los desechos y evitar que se expongan al medio ambiente que puedan provocar el desarrollo de microorganismos patógenos.

<sup>1</sup> El Dr. Adrián Vidal Santo es Profesor Investigador de la Universidad Veracruzana en la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Región Veracruz. [avidal@uv.mx](mailto:avidal@uv.mx). (**Autor correspondiente**)

<sup>2</sup> El M.I. Álvaro Gabriel Vega de la Garza es Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad Veracruzana, Región Veracruz. [avega@uv.mx](mailto:avega@uv.mx).

<sup>3</sup> Mauricio Reyes Aguirre, Mario Alberto Cruz Domínguez y Carlos Alberto Sánchez Cano son estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz.

## II. ANTECEDENTES

La producción de biogás con desechos orgánicos no es un tema nuevo en la comunidad científica, de hecho, existen una gran variedad de biodigestores que han demostrado desde hace muchos años ser muy eficientes como se describe en Vandevivere et al. (2002) y en Singh y Prerna (2008). De manera que el reto no está en el diseño del biodigestor sino en el aprovechamiento del biogás en sistemas térmicos de producción de energía eléctrica, potencia o enfriamiento.

Investigaciones recientes (Mueller, 2007, Pipatmanomai et al. 2008 y Lansinga et al. 2008) han demostrado que el biogás puede ser utilizado en sistemas de generación de electricidad y en sistemas de calentamiento y poco se ha aportado para sistemas de refrigeración y enfriamiento por absorción. Por tal motivo en este trabajo se presenta la metodología de construcción de un biodigestor y sus resultados, así como los resultados de la simulación del desempeño de un sistema de absorción operado con biogás.

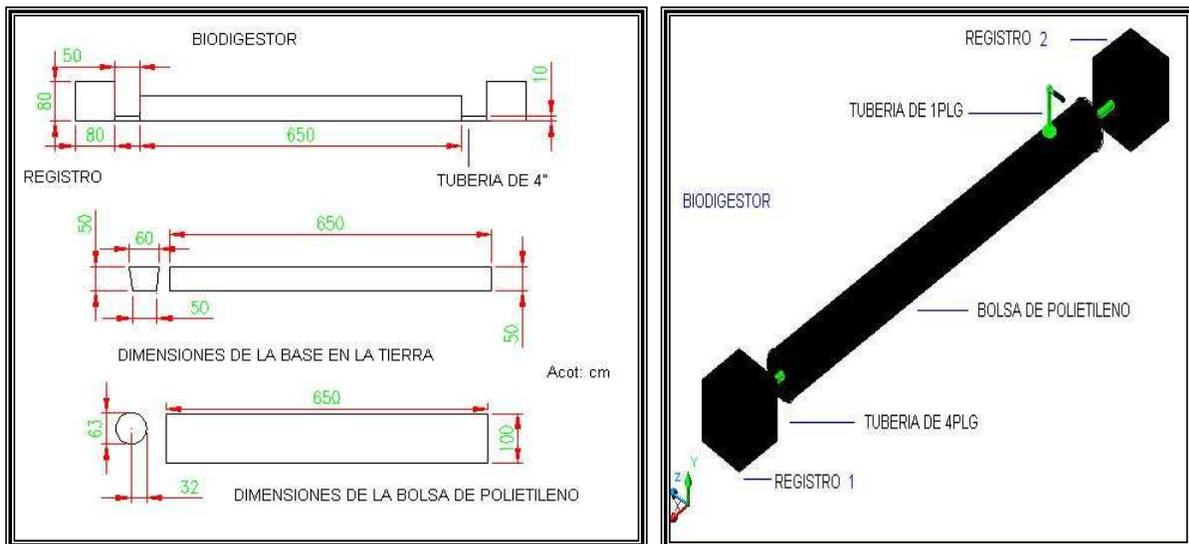
## III. METODOLOGÍA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN

### Diseño y construcción del biodigestor

Para la construcción del biodigestor ubicado en la comunidad de Tuxtilla, Veracruz, se utilizó la metodología propuesta por Botero et al. 1998 (Página Web [1]) y Lansinga et al. (2008) y se escaló a las necesidades de cocción de una familia de cuatro integrantes.

El cuerpo del biodigestor se construyó con polietileno tubular negro cédula 1200; para el suministro de la mezcla agua-estiércol y la descarga del abono se construyeron sendos registros de concreto, unidos al cuerpo del biodigestor por pequeños tramos de tuberías de PVC de 4" de diámetro. En el domo del biodigestor se colocó una válvula y una manguera plástica para el control y suministro del biogás. En la Figura 1 (a) se muestra el esquema del biodigestor, con las medidas de éste y sus registros de alimentación y descarga, de receptáculo perforado en la tierra y de la bolsa de polietileno. La Figura 1 (b) muestra el biodigestor en una vista 3D donde se aprecia la facilidad de construcción de este tipo de biodigestores, lo que los convierte en una buena opción para familias de pocos recursos económicos.

El estiércol se recolectó primeramente del rastro municipal, pero al parecer éste estaba contaminado con cloro o cal, de manera que inhibió la producción del biogás. Se vació el biodigestor y se volvió a cargar con una nueva mezcla de agua-estiércol, pero esta vez el estiércol se recolectó directamente del corral de las vacas en el momento en que las encierran para la ordeña; esta vez la producción del biogás fue exitosa y en tan solo 15 días.



(a) (b)  
Figura 1. (a) Dimensionamiento del biodigestor, del receptáculo (en la tierra) y del polietileno tubular.  
(b) Detalle del Biodigestor en 3D.

#### *Simulación del ciclo de refrigeración por absorción*

La simulación del ciclo de refrigeración por absorción GAX se realizó usando el simulador de procesos Aspen plus (2004). Una descripción completa del software y de la tecnología del ciclo de absorción GAX se pueden consultar en Vidal et al. (2009).

La fuente de calor para operar un sistema de absorción se obtiene comúnmente recuperando calor de desecho de equipos primarios, del sol, o de la combustión de gas natural o gas LP; sin embargo, hay poca información de la operación de sistemas de absorción de la combustión de biogás, muy probablemente por lo desagradable que es la producción del biogás; sobre todo si se pretenden usar en zonas comerciales o residenciales. En las zonas rurales, donde existe la materia prima para la producción del biogás, hay un gran potencial para desarrollar los sistemas de absorción para conservación de alimentos porque el estiércol de las vacas se puede transformar en biogás para alimentar dichos sistemas.

El biogás producido con el estiércol de las vacas tiene una composición comúnmente del 60% de metano ( $\text{CH}_4$ ) y 40% de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Mantilla et al. 2008). Simulaciones previas de Vidal et al. (2009) muestran que con esta composición se requiere suministrar casi del 400% de exceso de biogás comparado al quemar gas LP para producir una carga de refrigeración de 10.5 kW. Esto no es muy alentador, pero se puede lograr purificar el biogás mezclándolo con otros tipos de materias orgánicas o limpiándolo para eliminar el  $\text{CO}_2$ . Por lo tanto, en este trabajo se analizó el desempeño del ciclo de absorción variando la concentración de metano, partiendo del caso base de 60% hasta un 90%.

La simulación se realizó apegada a los conocimientos heurísticos y técnicos del desempeño de los dispositivos del ciclo de absorción, ya que se sabe que el calor liberado por el biocombustible no lo recibe al 100% la columna del generador, por lo que éste es afectado por la eficiencia de la caldera, que se fijó en 85%. A través del ciclo se manejó una caída de presión total de 0.5 bar.

En la Figura 2 se muestra un esquema del ciclo de absorción operado a fuego directo quemando biogás. Del lado izquierdo de la Figura se muestra el grupo de intercambiadores de calor: condensador (CD), preenfriador (PR) y evaporador (EV). En el centro de la Figura se muestra el absorbedor esquematizado en tres partes para que se aprecie el rechazo y la recuperación de energía térmica en cada sección. En el lado derecha de la Figura se muestra al generador con el rectificador, que de la misma forma que el absorbedor, se esquematiza en bloques. Y en la esquina inferior derecha de la Figura, se muestra la cámara de combustión, que suministra los gases de combustión a la sección 1G y 2G del generador. La sección 3G se calienta de forma regenerativa, recuperando calor de la corriente líquida (1) que abandona el generador a temperaturas cercanas a los 200°C.

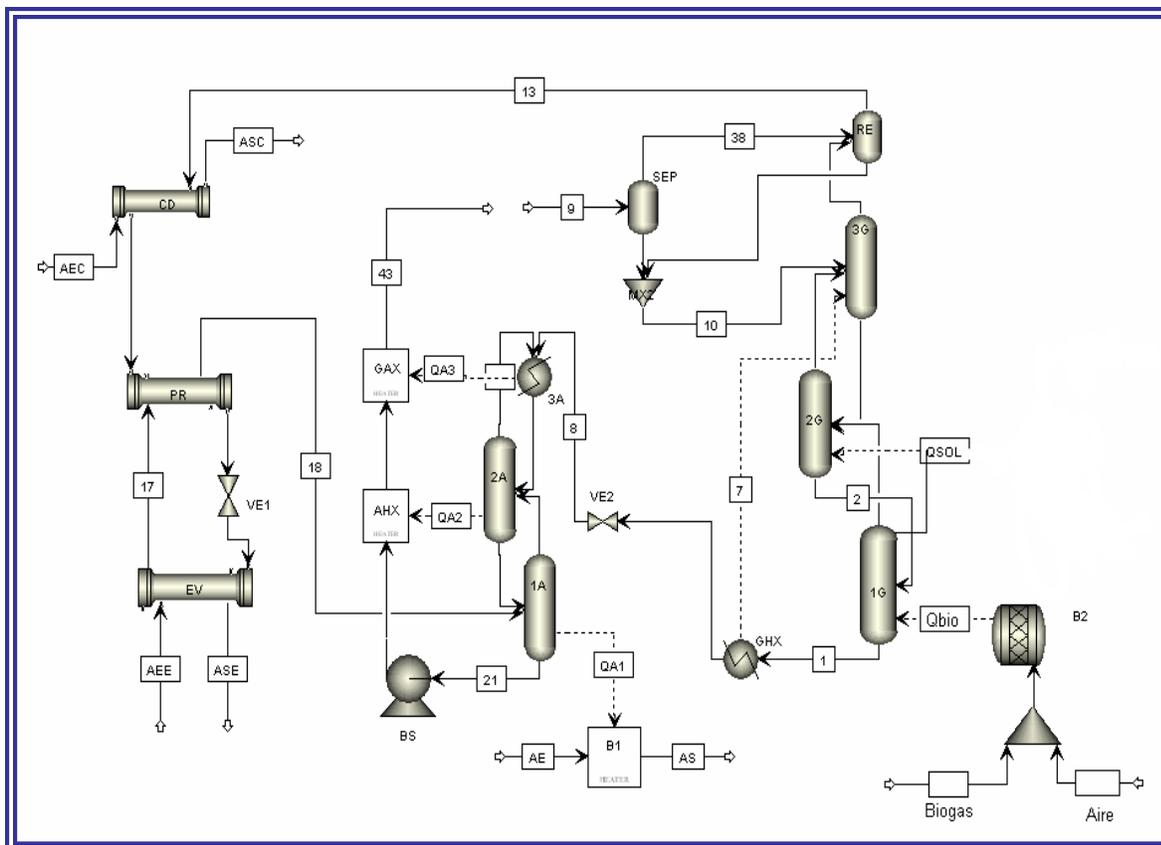


Figura 2. Diagrama esquemático del ciclo de absorción GAX a fuego directo.

#### IV. RESULTADOS

El biogás producido se ha estado quemando en un mechero, porque no se tienen aún las instalaciones para su aprovechamiento. Vale la pena mencionar, que aunque las condiciones climáticas de Tuxtilla; Ver., son las adecuadas para la biodigestión, existen épocas de lluvias abundantes y fuertes vientos en que la temperatura ambiental disminuye por debajo de los 25°C y la producción de biogás se ve limitada, que fue lo que nos sucedió a principios del año cuando iniciamos la experimentación. Por lo tanto, entre los parámetros que se deben de cuidar está la temperatura mesofílica (20°C<45°C), la correcta proporción de la mezcla estiércol-agua, la presión positiva (hermeticidad) y por supuesto la acidez de la mezcla. La acidez inhibe el proceso de metanización, por lo tanto, se debe tener cuidado en que la alimentación de los residuos sólidos esté perfectamente mezclada con el agua. Aguilar y Botero (2006) sugieren que una porción de estiércol se debe mezclar con tres porciones de agua, pero en nuestra primera experimentación no obtuvimos resultados, debido quizá a otras causas que se mencionaron previamente en este trabajo. Pero en nuestra segunda etapa de la experimentación la mezcla fue casi al 50%, sólo que la cernimos para reducir al máximo el contenido de sólidos y nos aseguramos de cumplir con los demás parámetros; el resultado fue la producción del biogás en menos de 15 días.

En la simulación básicamente se variaron los resultados de la combustión del biogás para aportar la carga térmica al generador, de modo que los parámetros de refrigeración no varían en ninguno de los casos que se simularon. Sin embargo, el flujo másico del biogás ( $m$ ) si varía considerablemente al cambiar la proporción de metano, como se muestra en la Tabla 1, donde se aprecia también la variación de la relación aire/combustible ( $r$  a/c), el poder calorífico (PCI) y la temperatura de flama de combustión

( $T_{flama}$ ). Vidal et al. (2009) estiman que quemando gas LP (PCI = 46,000 kJ/kg) se tendría un consumo de sólo 0.88 kg/h; sin embargo, adicional al costo del sistema de absorción habría que tomar en cuenta el costo del consumo periódico del gas LP, lo que con el biogás sería sólo el costo relativamente bajo de la inversión inicial, ya que los residuos orgánicos se generan necesariamente en el ciclo biológico de los seres vivos, por lo que la materia prima para producir el biogás estará siempre disponible.

La limpieza del biogás es quizá el mayor de los retos para que este tipo de proyectos tenga un éxito potencial, existe la tecnología de absorción química, para separar el  $CO_2$  del biogás, pero sería un proceso incosteable para las zonas rurales, no así si este tipo de proyectos se planea para el suministro de biogás en las ciudades, como lo es en ciudades Europeas (Páginas web [2-3])

Tabla 1. Parámetros de la cámara de combustión y el ciclo de absorción.

Parámetros	Fracción volumétrica del $CH_4$ en el biogás			
	60%	70%	80%	90%
Parámetros del biogás				
$\dot{m}$ kg/h	2.7	2.13	1.64	1.28
r a/c	6.9	8.9	11.5	15
<sup>a</sup> PCI [kJ/kg]	18,124	22,927.41	30,593	38258.81
$T_{flama}$ °C	1740	1792	1825	1840
Parámetros de refrigeración	Valores objetivos-constantes			
$Q_{ref}$ kW	10.5	10.5	10.5	10.5
$Q_{bio}$ kW	14.5	14.5	14.5	14.5
COP <sub>térmico</sub>	0.72	0.72	0.72	0.72
COP <sub>térmico-Aux.</sub>	0.68	0.68	0.68	0.68
<sup>b</sup> Lift °C	25.5	25.5	25.5	25.5
$T_{ref}$ °C	4.5	4.5	4.5	4.5

<sup>a</sup>Valores adaptados de Mantilla et al. (2008)

<sup>b</sup>El lift se define como la diferencia de la temperatura de condensación y evaporación.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Este trabajo de investigación mostró principalmente la factibilidad de producir biogás con desecho orgánicos, específicamente con estiércol de vacas, y se comentaron los principales parámetros que hay que mantener en rango para que el proceso de metanización sea exitoso. Se mostró también de manera teórica, con resultados de la simulación, que el biogás puede ser utilizado en sistemas de refrigeración por absorción obteniendo un coeficiente de operación (COP) cercano a 0.8, sin embargo, como en toda simulación, estos resultados se deben tomar con reserva hasta que sean validados experimentalmente.

### Recomendaciones

En el estado de Veracruz y en muchos estados de la República Mexicana se tiene un gran potencial en recursos orgánicos que pueden fácilmente ser convertidos en biogás, por lo que se espera recibir apoyo o patrocinio para continuar con esta investigación para el uso del biogás en la producción de energía eléctrica y refrigeración tanto en zonas rurales como en zonas urbanas.

### Agradecimientos

Se agradece a la M.C. Consuelo Rendón Caravantes y al alumno Óscar González Guatzozón, por los gráficos realizados para este trabajo y a mis alumnos entusiastas, quienes motivados desde el salón de clases creyeron y construyeron el prototipo experimental. Se agradece también al Dr. Alexandro

Castellanos Mier, Director de la Facultad de Ingeniería-Región Veracruz, por las facilidades brindada para el desarrollo de esta investigación.

## VI. REFERENCIAS

- Vandevivere, P., L. De Baere y W. Verstraete. "Type of anaerobic digester from solid wastes. Biomethanization of organic fraction of Municipal solid wastes", ed. by J. Mata-Alvares. IWA Publishing, 2002.
- Singh, S.P., P. Prerna. "Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008.
- Mueller, S. "Manure's allure: Variation of the financial, environmental, and economic benefits from combined heat and power systems integrated with anaerobic digesters at hog farms across geographic and economic regions". *Renewable Energy* 32 (2007) 248–256.
- Pipatmanomai, S., S. Kaewluan, T. Vitidsant. "Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H<sub>2</sub>S removal by activated Carbon in small pig farm". *Applied Energy*, 2008.
- Lansinga, S., J. Viquez, H. Martínez, R. Botero, J. Martínez. "Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system". *Ecological Engineering* 34 (2008) 332–348.
- Aspen Plus, version 12.1. 2004. Aspen Technology, Inc. Ten Canal Park, Cambridge, MA, USA, [www.aspentech.com](http://www.aspentech.com).
- Vidal, A., V.H. Gómez, A. Castellanos y R. Best. "Modelo de simulación del sistema de enfriamiento por absorción GAX". En V Congreso Ibérico y III Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío, Castellón, España, 23 a 25 de septiembre de 2009.
- Mantilla, J.M., B.J. Aguirre y L. A. Sarmiento. "Evaluación experimental de un motor encendido por chispa que utiliza biogás como combustible". *Revista Ingeniería e Investigación*, Vol. 28 no. 2, agosto de 2008 (131-141).
- Aguilar, F.X. y R. Botero. Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical* (2006) 2 (1): 15-25.

### Páginas Web

- [1] [www.ruralcostarica.com/biogas-video.html](http://www.ruralcostarica.com/biogas-video.html)
- [2] [www.anatoliki.gr/anatoliki/.../en/Biogas\\_in\\_Murcia\\_EMUASA.pdf](http://www.anatoliki.gr/anatoliki/.../en/Biogas_in_Murcia_EMUASA.pdf)
- [3] [www.appice.es/pdf/boletin/APPICE%20Boletin%201-08.pdf](http://www.appice.es/pdf/boletin/APPICE%20Boletin%201-08.pdf)

## FPOA, una nueva solución reconfigurable

Oscar Leopoldo Pérez Castañeda<sup>1</sup>, Yves Berviller<sup>2</sup>

*Resumen*—Con la llegada de los FPGAs se inició una nueva etapa dentro del diseño de los Sistemas Digitales. La posibilidad de reconfiguración de estos dispositivos, así como su flexibilidad en cuanto a la granularidad, les ha dado ventaja sobre los dispositivos tradicionales. Diversas aplicaciones tanto académicas como industriales tienen como base una plataforma reconfigurable, es decir, basada en dispositivos FPGAs. Este tipo de plataforma parecía que era la ideal para cualquier aplicación digital. Sin embargo, la evolución de la tecnología ha abierto paso a otro tipo de dispositivos con la misma característica de reconfiguración pero ofreciendo soluciones lógicas programables de alto desempeño tanto para procesamiento digital de imágenes como de señales.

Un FPOA es un arreglo bidimensional de objetos de silicio. El FPOA combina un performance elevado y la capacidad de reprogramación (reconfiguración) con la finalidad de satisfacer una gran variedad de aplicaciones.

*Palabras claves*— Reconfiguración, performance, FPGA, FPOA, sistema digital.

### I. INTRODUCCIÓN

La tecnología del FPGA ha sido utilizada durante varios años, como plataforma para la realización de sistemas reconfigurables experimentales.

Los trabajos en esta área se encuentran algunos dentro de un estado de desarrollo con algunas problemáticas sin solución general [DUTT\_etal03], sobre todo para los modelos híbridos de programación CPU/FPGA [ANDREWS\_etal04]. Sin embargo, existen algunos dominios de aplicación donde los sistemas reconfigurables ofrecen un panorama alentador como son las comunicaciones, la multimedia y la criptografía [ENZLER\_etal01].

Un sistema reconfigurable típico está compuesto de uno o algunos procesadores combinados con uno o algunos circuitos lógicos reconfigurables asociados a una o algunas memorias. Las características ideales comunes de todos los sistemas reconfigurables son: un bus de datos ancho, corto tiempo para la reconfiguración, la posibilidad de reconfigurar el dispositivo durante el tiempo de ejecución [HARTENSTEIN\_etal01]. En todos los casos, el procesador convencional es utilizado normalmente para ejecutar código secuencial y/o como unidad de control, mientras que la unidad reconfigurable es utilizada para acelerar parte del cálculo y regular un dominante flujo de datos del núcleo del programa [HAUCK\_etal06]. Los sistemas reconfigurables están clasificados en función de su acoplamiento entre el dispositivo reconfigurable y el procesador convencional. Existen al menos cinco clases para los sistemas reconfigurables: Unidad de tratamiento stand-alone externa; unidad de tratamiento pegada; Coprocesador; Unidad funcional reconfigurable y Procesador Embarcado dentro de un dispositivo reconfigurable. Las cuatro primeras las describe con cierto detalle [COMPTON\_etal02]. Todo lo anterior

<sup>1</sup> Oscar Leopoldo Pérez Castañeda Ph.D. es Profesor de Posgrado y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Tehuacán. [oscar\\_pc\\_2000@hotmail.com](mailto:oscar_pc_2000@hotmail.com) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> Yves Berviller Ph.D. es Profesor de Electrónica en la Universidad de Nancy I, en Francia.

llevaba a pensar que la plataforma ideal para la implementación de una arquitectura de procesamiento de datos era el FPGA. Sin embargo, hace unos cuantos años hace su aparición un nuevo dispositivo, el FPOA, haciendo gala de un alto performance, superior al del FPGA y reconfigurable en tiempo de ejecución. Esto está llevando a algunos diseñadores de sistemas digitales a cambiar de plataforma.

## II. FPOA

### Introducción

Un FPOA (Field Programmable Object Arrays) [MathStar06] El FPOA es un arreglo bidimensional de objetos de silicio (OS). El FPOA combina un performance elevado y la capacidad de reprogramación, con la finalidad de satisfacer una larga variedad de aplicaciones, privilegiando el tratamiento de imágenes y señales. La principal diferencia con un circuito FPGA es la granularidad, la cual es más gruesa en los FPOAs. Estos dispositivos están compuestos por elementos llamados objetos. Los objetos proveen de un nivel de abstracción más alto que los elementos convencionales de los FPGAs y efectúan operaciones a frecuencias de base más elevadas, gracias a la supresión de un rutado local configurable al interior del operador (llamado objeto).

### Arquitectura de una FPOA comercial

Los objetos de silicio son elementos configurables, que manipulan datos de 16 bits, tales como unidades aritméticas y lógicas (ALU), Multiplicadores-Sumadores(MAC), o bancos de registros (RF), lo que es presentado en la figura 1.

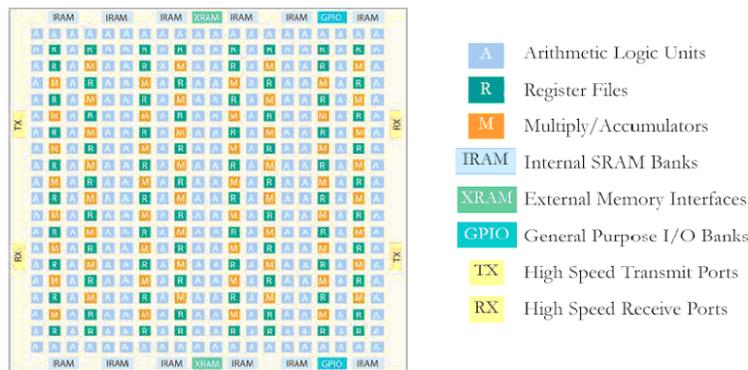


Figura 1. Red de FPOA [MathStar].

### Unidad Aritmética Lógica (ALU)

Estos objetos ejecutan funciones lógicas y matemáticas con datos de 16 bits y proveen funciones generales para el control.

### Multiplicador-Sumador (MAC)

Este tipo de objetos realizan multiplicaciones de un ancho de 16 bits en cada ciclo de reloj.

### Banco de Registro (RF)

Estos elementos resultan bastante flexibles ya que pueden ser configurados como RAM, como FIFO o como un objeto de lectura secuencial. Contienen 64 palabras de 20 bits (16 bits de datos más cuatro de control).

Aunque todos los objetos de silicio pueden trabajar de forma independiente, ellos pueden ejecutarse de manera síncrona con un reloj. El tiempo de tratamiento de los objetos y el de la comunicación de red fija, tabla 1, pueden garantizar un funcionamiento determinista con frecuencias que pueden alcanzar hasta 1 GHz.

Recurso	Arquitectura	Velocidad hasta
ALU	16 bit datos, 5 bits de control, lógica de control.	1 GHz
RF	128 bytes, dual port RAM o FIFO	1 GHz
MAC	16x16 bits para la multiplicación	1 GHz
RAM Interne	2K x 76 bits cada una	700 MHz
RAM Externe	36 bits RLDRAM II	266 MHz DDR
GPI/O	48 pines por banco, reloj programable	100 MHz

Tabla 1. Algunos recursos ofrecidos por los FPOAs [MathStar].

Este determinismo elimina las tediosas etapas de verificación de performances temporales “timing closure” los cuales son necesarios durante el diseño del sistema basados en FPGAs y ASICs. Los objetos del FPOA residen en dos sectores: el núcleo y la periferia. Los objetos del núcleo realizan la mayor parte del cálculo, mientras que los objetos de la periferia proveen las interfaces con la RAM tradicional así como con los dispositivos externos. La figura 2 muestra las dos superficies. Puestos que los objetos del núcleo se encuentran sobre una malla o cuadrícula, ellos son descritos en términos de columnas y líneas. Hay veinte (20) columnas y veinte (20) líneas sobre la malla. Los objetos del núcleo se comunican unos con otros (y con los objetos de la periferia) a través de la red de inter-conexión.

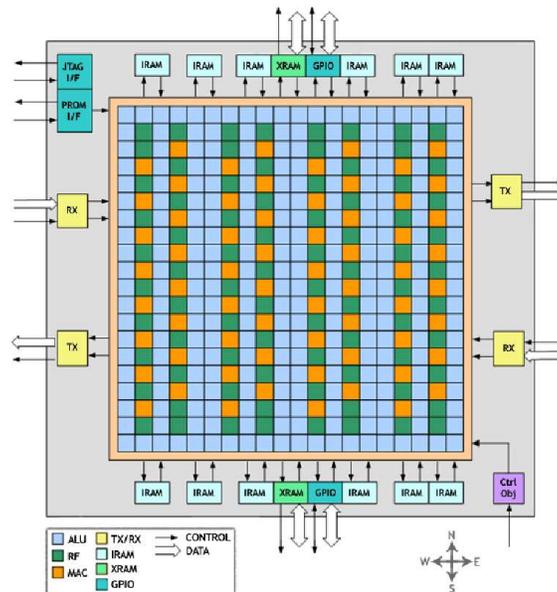


Figura 2. Muestra las dos superficies generales de un FPOA [MathStar].

Hay dos formas de comunicación en los FPOAs:

- ▶ Con el vecino más cercano (Nearest Neighbor). Este tipo de comunicación permite a un objeto del núcleo comunicarse con cualquiera de sus vecinos inmediatos sin generar un retardo de reloj.
- ▶ La línea de grupo (Party Line). Este enlace permite a un objeto comunicarse con algunos objetos situados más allá del vecino inmediato o entre el núcleo y la periferia. La línea de grupo consume al menos un retardo de un ciclo de reloj. La figura 3 ilustra los dos tipos de conexión entre objetos.

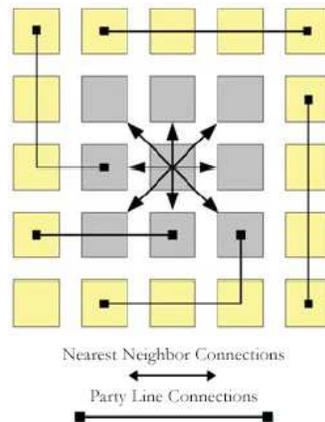


Figura 3. Los dos tipos de conexión para un FPOA [MathStar].

Los objetos periféricos se comunican con los elementos del núcleo y/o con los elementos periféricos externos. Hay cinco clases de objetos periféricos:

1. RAM interna (IRAM). Cada objeto IRAM provee de un puerto de acceso simple de 2Kx76 bits. Esta RAM puede ser cargada de forma anticipada durante la inicialización. Existen 12 objetos en la periferia.
2. RAM externa (XRAM). Cada objeto RAM provee un puerto de acceso simple. Hay dos objetos XRAM en la periferia.
3. Entrada/Salida de uso general (GPIO). Los objetos GPIO proveen 48 pines bidireccionales de entra/salida, permitiendo la transferencia de datos entre el FPOA y los dispositivos externos. Existen dos objetos GPIO en la periferia.
4. Interface de recepción (RX). Esta interface es utilizada para recibir de forma paralela datos LVDS al FPOA. Cada interface posee 17 bits de entrada. Hay dos interfaces RX en la periferia del dispositivo.
5. Interface de transmisión (TX). Esta interface es utilizada para enviar datos de manera paralela. Igual que la anterior posee 17 bits.

Ventajas del FPOA comparado con el FPGA

A continuación se enumeran algunas ventajas de los FPOAs sobre los FPGAs:

- ▶ Frecuencia de trabajo superior.
- ▶ Tiempo de programación/desarrollo más corto. La figura 4 ilustra este situación.
- ▶ Una migración más simple hacia circuitos de nueva generación, gracias al determinismo del tiempo de tratamiento. Puesto que en el caso de un FPGA la migración de un diseño hacia un circuito más reciente (por ejemplo de 130 nm a 90 nm) requiere al diseñador de volver a realizar el proceso de síntesis, placement y routage, así como el “timing closure”. Por el contrario, puesto que el tiempo de tratamiento del FPOA es contado en ciclos, la migración hacia un nuevo circuito no exige un rediseño, a condición de que el arreglo de objetos permanezca en un subconjunto del dispositivo destino.
- ▶ Consumo energético menor. El árbol de reloj de un FPGA es único o eventualmente dividido en algunas regiones rectangulares, así la utilización de una celda por región consume lo de todo el árbol. Sin embargo, dentro de un FPOA, los objetos de silicio que no son utilizados son puestos en modo de bajo consumo. Además, el rutage intra-objeto siendo no configurable resulta más eficaz energéticamente.

- ▶ Tiempo de configuración comparable al de los FPGAs. Puesto que un FPGA, siendo configurado a nivel de un celda de tratamiento de algunos bits, puede implementar de forma más eficaz operadores procesadores de 3, 5, 8 11, etc bits. Mientras que los FPOAs tratan o procesan con un grano de cálculo fijo cualquiera que sea el tamaño de los datos.

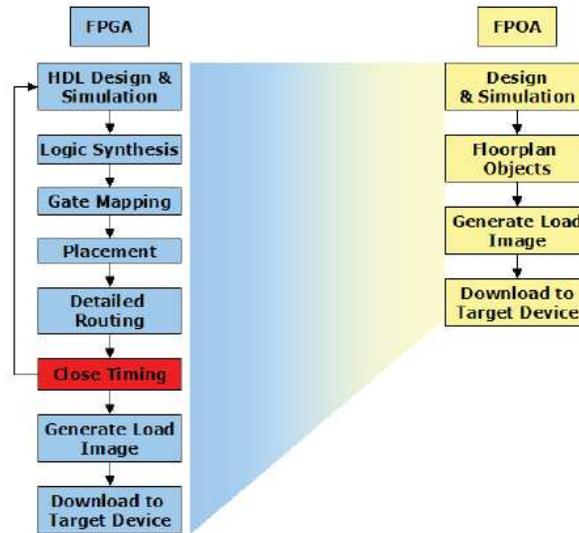


Figura 4. Comparación de flujo de diseño entre FPGA y FPOA.

### III. COMENTARIOS FINALES

#### Conclusiones

La tecnología no deja de evolucionar y con ello la oportunidad para que los diseñadores de sistemas digitales tengan mejores herramientas para el diseño de los mismos, los FPOAs es un claro ejemplo. Con la aparición de los dispositivos programables se dio un gran salto en el tema de diseño (PLAs, PLDs, etc.). Seguido de ello aparecieron los dispositivos con reconfiguración estática y después dinámica, con una de las características interesantes además de su grande performance, la granularidad. Ahora llegan los FPOAs con un performance más elevado que los anteriores dispositivos.

Sin lugar a duda, el diseño de arquitecturas de procesamiento de datos se vuelve algo más personalizado, ofreciendo ventajas notables como son, tiempo de diseño más corto, granularidad ajustable a la aplicación, menor consumo de energía y un performance bastante interesante entre otras. Se vislumbran diseños hechos a la medida, sólo habrá que conocer las diferentes plataformas de diseño y ajustarlas a las necesidades.

### IV. REFERENCIAS

- ANDREWS\_etal04D. Andrews, D. Niehaus, and P. Ashenden, "Programming Models for Hybrid CPU/FPGA Chips," *IEEE Computer*, vol. 37, pp. 118–120, Jan. 2004.
- COMPTON\_etal02 Compton, K., and Hauck, S.: 'Reconfigurable computing: a survey of systems and software', *ACM Comput. Surv.*, 2002, 34, (2), pp. 171–210.
- DUTT\_etal03 N. Dutt and K. Choi, "Configurable Processors for Embedded Computing," *IEEE Computer*, vol. 36, pp. 120–123, Jan. 2003.
- ENZLER\_etal01 R. Enzler, M. Platzner, and C. Plessl, "Reconfigurable Processors for Handhelds and Wearables: Application Analysis," *Reconfigurable Technology: FPGAs and Reconfigurable Processors for Computing and Communications III*, vol. 4525 of Proceedings of SPIE, pp. 135–146, Aug. 2001.

HARTENSTEIN\_etal01 R. Hartenstein, M. Herz, and T. Hoffmann, "On Reconfigurable Co-Processing Units," Proceedings of the 1998 Fifth Reconfigurable Architectures Workshop (RAW'98), pp. 67–72, 30 Mar. 1998.

HAUCK\_etal06 S. Hauck, T. W. Fry, and M. M. Hosler, "The Chimaera Reconfigurable Functional Unit," *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 12, pp. 206–217, Feb. 2004.

MathStar. <http://www.mathstar.com/>

El **Dr. Oscar Leopoldo Pérez Castañeda** es profesor del Instituto Tecnológico de Tehuacán de la Maestría de Ingeniería Industrial y de la Licenciatura en Electrónica. Terminó sus estudios de maestría en el INAOE, México; en el área de Sistemas Digitales y el doctorado en el LIEN de Nancy Francia, en el área de Arquitecturas Reconfigurables.

El **Dr. Yves Berviller** es Maestro de Conferencias en la Université Henri Poincaré Nancy-I, France.