
MAPAS DE INTENSIDADES SÍSMICAS EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO (ZCV), MÉXICO, PARA EL SISMO DE SAYULA DEL 25 DE FEBRERO DE 2011 (M_w 6.0)

**Francisco Williams Linera⁽¹⁾, Javier Lermo Samaniego⁽²⁾, Francisco J. Sánchez-Sesma⁽²⁾,
Guadalupe Riquer Trujillo⁽¹⁾, Regino Leyva Soberanis⁽¹⁾, Sara Pérez Torres⁽¹⁾, Roberto Rivera
Baizabal⁽¹⁾**

RESUMEN

En este trabajo se presentan los estudios experimentales llevados a cabo para la estimación de intensidades sísmicas en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), Veracruz. Las estimaciones se realizaron para el temblor ocurrido el 25 de febrero de 2011 (M_w 6.0), con epicentro cerca de Sayula, Ver. En este trabajo, se considera que el cociente HVNR es un estimador adecuado de los factores de amplificación del sitio. Dada la validación de las relaciones HVNR, en cada sitio se generan acelerogramas sintéticos y los correspondientes espectros de respuesta de pseudoaceleraciones para un amortiguamiento del 5% del valor crítico. Los resultados obtenidos son presentados por medio de mapas.

ABSTRACT

This paper presents experimental studies conducted to estimate seismic intensities in the metropolitan area Veracruz-Boca del Río (ZCV), Veracruz. The estimates were made for earthquake occurred on 25 February 2011 (M_w 6.0), with its epicenter near Sayula, Ver. In this work, it is considered that the ratio is an estimate HVNR appropriate amplification factors of the site. Given the relations HVNR validation at each site are generated synthetic accelerograms and response spectra corresponding to a damping pseudo-acceleration 5% critical value. The results are presented through maps

INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz es una zona de sismicidad de interés por su vecindad con las placas tectónicas de Cocos (CO), la de Norteamérica (NA) y la del Caribe (CA), las que a su vez tienen una interacción compleja. La Placa de Cocos penetra debajo de la placa de Norteamérica y genera una de las zonas de mayor potencial sísmico en México; a su vez el movimiento entre las placas de Norteamérica y el Caribe crean una larga zona de fallas izquierdas con gran actividad sísmica.

La zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), como la mayor parte de México, está ubicada dentro de la placa tectónica de Norteamérica. La evidencia sísmica histórica (Figura 1), y su crecimiento urbano la convierten en un área prioritaria en el estado para invertir esfuerzos en reducir el riesgo sísmico en las construcciones. Las condiciones del suelo de desplante en las construcciones pueden generar cambios significativos del movimiento sísmico, produciendo daños concentrados en algunas zonas. El costo de los estudios para la obtención de los parámetros empleados para la determinación del espectro de diseño sísmico, representa para las construcciones de baja altura un alto porcentaje con respecto a su costo total. Con la finalidad de que las autoridades correspondientes dispongan de la información necesaria para establecer

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc.Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel. (01-229) 7752000 ext. 7, franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx.

² Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Ala Sur, Cub. 8, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (01-55) 56233500 ext.1264, jles@pumas.iingen.unam.mx, sesma@servidor.unam.mx.

normas con los requisitos mínimos para el diseño sísmico, primeramente se realizaron estudios de microzonificación sísmica. Se usó un acelerógrafo para el registro de vibración ambiental y sismos, con lo que se pudo estimar la respuesta dinámica de los suelos en ciudades importantes como en la ZCV que aquí se presenta en mapas digitales geo-referenciados; la metodología para esta microzonificación se describe brevemente (Riquer et. Al., 2003, Leyva et. Al., 2004; Williams et. Al., 2007). Posteriormente, se hicieron estudios complementarios de ruido (vibración ambiental) con un sismómetro de banda ancha en cada una de las microzonas identificadas. En este trabajo, se analiza la alternativa de usar la función de transferencia para escalar el acelerograma en la base firme y obtener el acelerograma sintético en superficie. Finalmente se elaboraron los mapas de intensidad sísmica de la ZCV con las aceleraciones generadas por el sismo del 25 de febrero del 2011, elegido por sus características y disponibilidad de datos.



Figura 1 sismos importantes del estado de Veracruz.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona en estudio quedó definida después de un análisis histórico del crecimiento urbano (Figura 2) y su proyección futura, partiendo de las cartas de la Dirección General de Ordenamiento Urbano y Regional de la Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Veracruz. Se atendieron también los antecedentes sísmicos de la zona y se identificaron los daños que ocasionaron en las construcciones.



Figura 2. Crecimiento del centro histórico de la ZCV (superposición de mapas antiguos)

RED DE REGISTRO SÍSMICO

Desde marzo del 2001 (Williams et al 2003), se tiene instalada la Red del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (RIIUV), para el registro de los sismos, y está compuesta por 6 aparatos ubicados en la ZCV (2 acelerógrafos GSR-18 de Refraction Technology, Inc., 1 acelerógrafos Etna de Kinemetrics y 3 sismómetros de banda ancha Guralp) y más recientemente (mayo 2009), 2 aparatos en la ciudad de Coatzacoalcos (un Guralp y un Etna). Esta red ha permitido un número importante de registros de sismos locales y regionales de distintas magnitudes y de diferentes fuentes sísmicas. En la ZCV se tiene de modo permanente una estación de referencia (POVE) (con un Guralp y un Etna), es decir sin *efecto de sitio*; las otras estaciones son temporales, y se reubican periódicamente en los diferentes sitios donde la respuesta dinámica del suelo es de interés (Figura 3). Con los sismos registrados en la ZCV, se obtuvieron las funciones de transferencia empírica, aplicando la técnica estándar (SSR), y se definieron la frecuencia y la amplificación real del movimiento.

GEOLOGÍA, GEOTÉCNIA, HIDROLOGÍA Y REFRACCIÓN SÍSMICA

La información geológica y geotécnica se apoyó en el trabajo de Páez Andrade (2001), Esquivel et. al. (1976) y se complementaron con estudios geotécnicos y sondeos de exploración (SPT). Se analizó la topografía y se localizaron antiguos cauces de ríos, espejos de agua, zonas de inundación validadas con el mapa de inundaciones 2010 (Neri et. Al., 2010) y de relleno, así como áreas ganadas al mar, ahora dentro de la mancha urbana, donde el suelo puede presentar características dinámicas especiales (Figura 2 y 4) y se hicieron 12 estudios de refracción sísmica estratégicamente ubicados (figura 5).

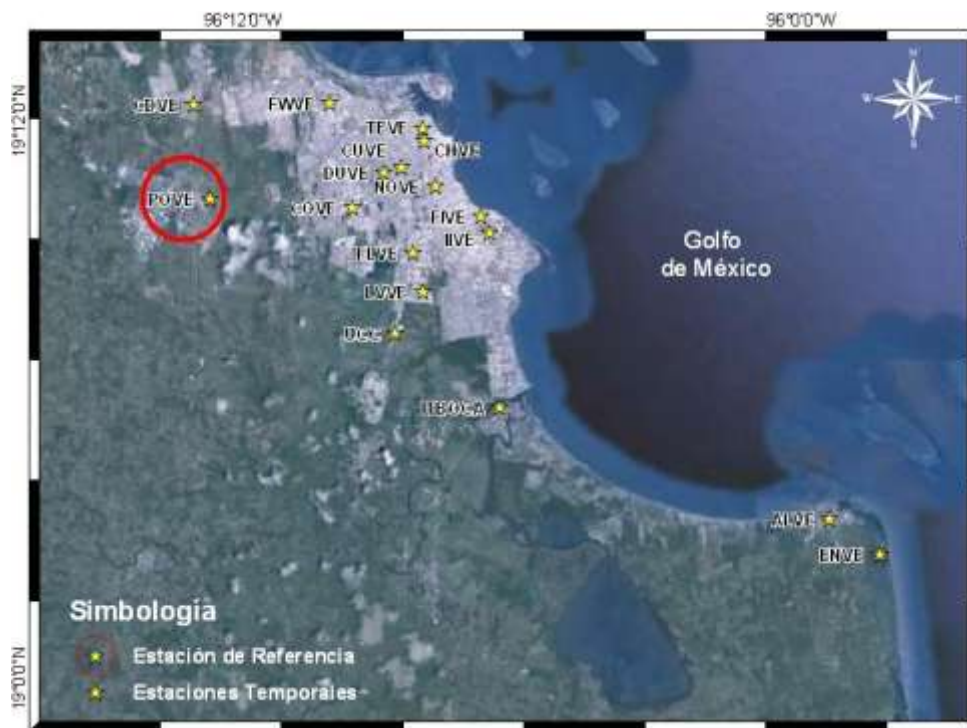


Figura 3. Localización de estaciones temporales y la de referencia



Figura 4. Mapa de la geología, geotecnia e hidrología



Figura 5. Ubicación de SPT, perfiles estratigráficos y refracción.

PERÍODOS DOMINANTES Y MAPA DE MICROZONIFICACIÓN

Se registraron microtremores en 332 sitios en la zona usando un acelerógrafo Etna, con ellos se estimó el cociente espectral de Nakamura (HVNR por sus siglas en inglés) para estimar frecuencia y período dominante (Figura 6); para las amplificaciones se usó el registro de los sismos. Las funciones de transferencia empíricas FTE fueron agrupadas de acuerdo a su forma espectral en familias, quedando delimitadas las 3 microzonas de la ZCV (Figura 7).

Estas familias espectrales se pueden observar en la Figura 7, donde la Zona I, presentan FTE totalmente planas desde 0.1 a 8 Hz aproximadamente para sus dos componentes horizontales, por lo que sus efectos de sitio presentan un periodo dominante entre 0.0 a 0.19 segundos, cuyos depósitos en su mayoría son conglomerados. La Zona II, cuyos suelos son en su mayoría depósitos de dunas, su familia espectral, para las dos componentes horizontales presentan un máximo entre 2.5 a 5.0 Hz (0.20 a 0.39 segundos); mientras que la zona III, cuyos suelos son depósitos aluviales, presentan máximos espectrales entre 1.5 a 2.5 Hz (0.40 a 0.7 segundos).

Como resultado de esta etapa se elaboró la primera propuesta de zonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, Veracruz. En la figura 7 se presenta el mapa propuesto que incluye las tres microzonas que representan los diferentes tipos de terreno con fines de diseño sísmico. En azul la Zona 1, descrita como “zona firme”; en verde la Zona 2, descrita como “zona de dunas”; y en amarillo la Zona 3, descrita como “zona aluvial”.



Figura 6. Mapa de periodos dominantes

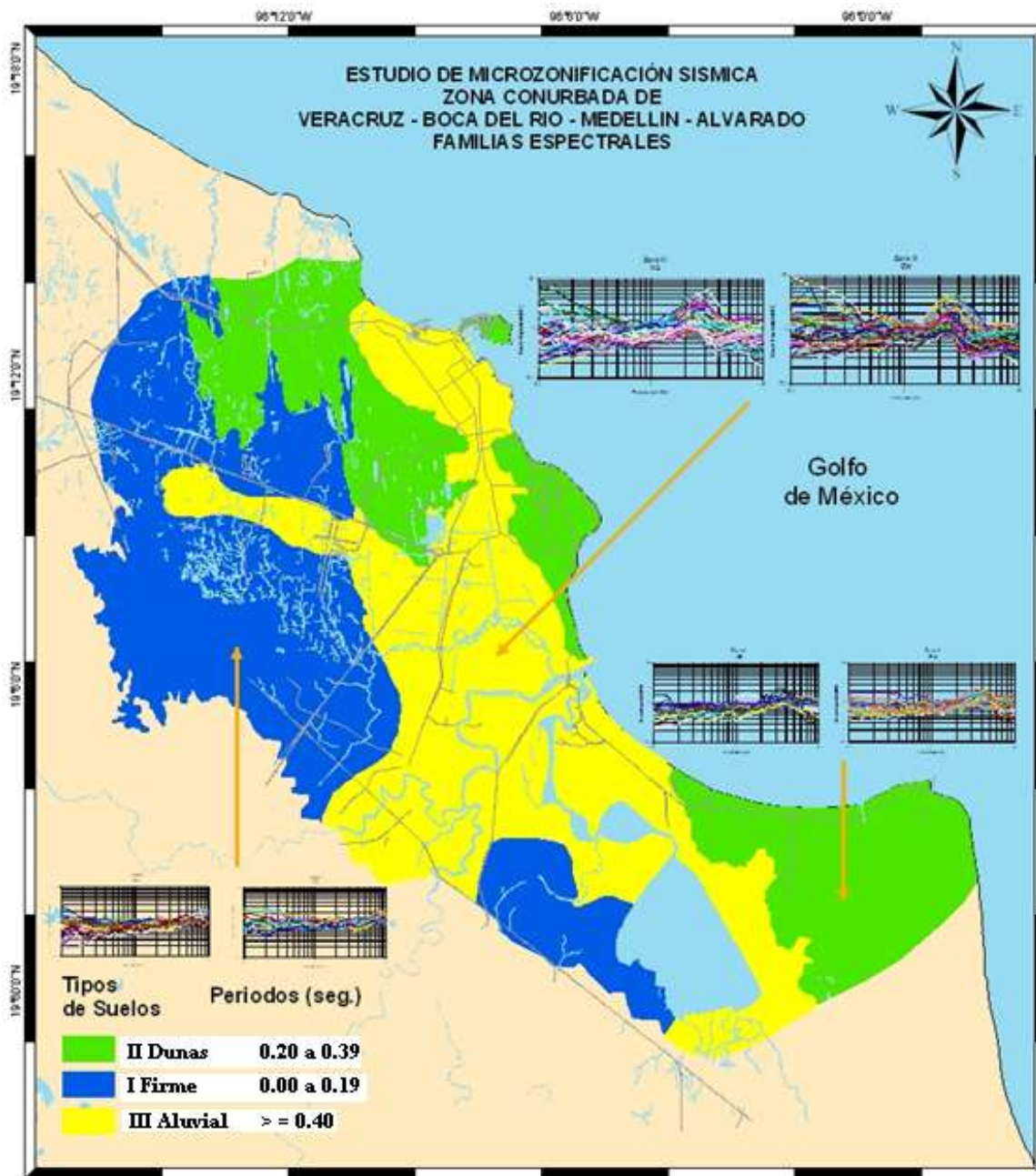


Figura 7. Mapa de Microzonificación sísmica

ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

EFFECTO DE SITIO

En zona de gran actividad sísmica, es práctica común caracterizar los efectos de sitio mediante la relación espectral de los movimientos registrados en el lugar de interés con respecto a los registrados en otro suelo de referencia sin efecto de sitio (roca). Estas razones espectrales son las funciones de transferencia empírica (FTE). Sin embargo frecuentemente es necesario obtener una función que represente un modelo unidimensional del suelo para estimar la frecuencia y amplificación del movimiento en el sitio de interés, para

ello es preciso realizar los estudios antes descritos de geotecnia, prospección sísmica, vibración ambiental, etc.

Lermo y Chávez (1993) obtuvieron con ruido (vibración ambiental o microtremores), una buena estimación de la frecuencia de resonancia del suelo, usando la relación espectral entre los movimientos horizontales y verticales (H/V) de un mismo registro de ruido en un mismo sitio. Esto se ha estudiado ampliamente señalando sus ventajas y limitaciones, entre estas últimas se ha observado que la amplificación solo es una idea burda de la real. A la relación H/V se le han dado diversas explicaciones: suponer que los microtremores se componen principalmente de ondas superficiales, relacionándolas con las ondas Rayleigh, mientras que otros autores postulan que las ondas de cuerpo dan el pico máximo de la relación H/V. Sánchez- Sesma et al. (2011), asume que el ruido es una onda de campo difuso que contiene todo tipo de ondas elásticas que dan una idea física de profundidad, lo que explica el éxito de una de las técnicas más utilizadas hoy en día.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EMPÍRICA CON 2 HRS DE MICROTREMORES

Partiendo de lo planteado anteriormente, se llevaron a cabo registros de 2 horas de ruido, usando un sismómetro de banda ancha Guralp en cada una de las microzonas sísmicas identificadas en el trabajo anterior, para reflejar la estructura a profundidad del suelo. Se aplicó el programa GEOPSY para obtener la función de transferencia empírica promedio FTE de las dos direcciones horizontales, y se observa que esta FTE así obtenida es un buen estimador de la amplificación obtenida con sismos, además de coincidir en la frecuencia de resonancia del sitio (Figura 8). En la misma figura se observan las FFE (y su promedio) de la zona III, la de mayor efecto de sitio, y ésta requiere un factor de escala de 2.5.

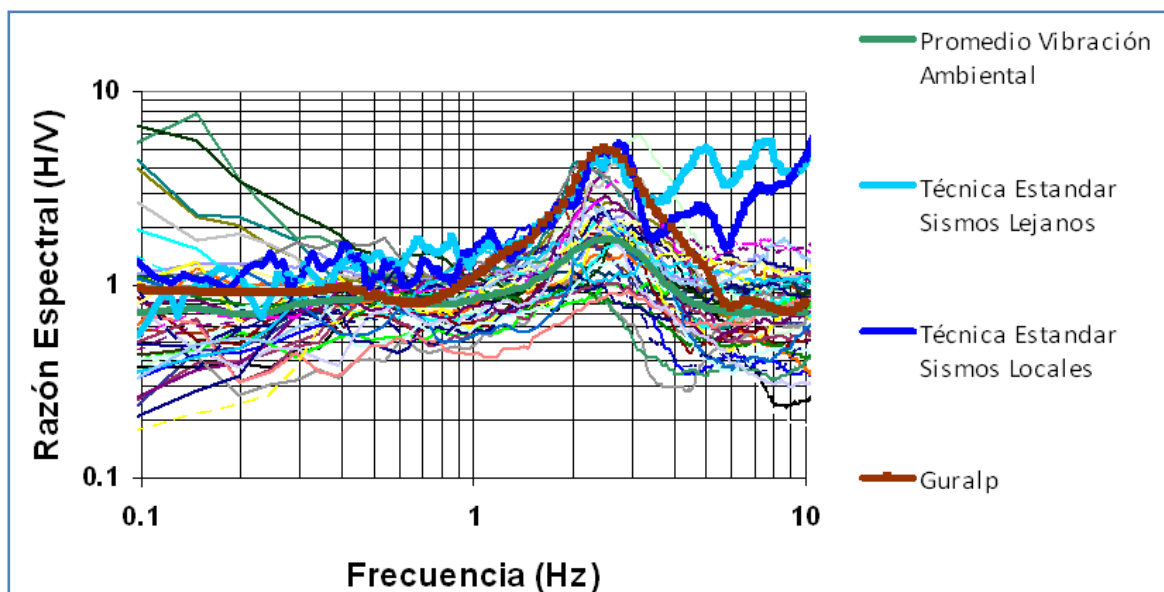


Figura 8. Gráficas comparativas de FTE en la zona III de la ZCV , líneas delgadas de diferentes colores FTE con registros de vibración ambiental que presentan una duración menor a los 2 minutos.

RELACION DE ACELERACIONES MÁXIMAS

Existen programas de cómputo (como el Degtra A4, Ordaz y Montoya, 1990) que estiman la intensidad sísmica (generalmente en función de la aceleración) en la superficie del terreno a partir del acelerograma registrado, o calculado de manera sintética a partir de la señal incidente (acelerograma en la roca basal) y de

las propiedades dinámicas de los estratos de los depósitos del suelo (FTT), asumiendo una propagación unidimensional de ondas a través del medio estratificado.

Como se observó en el párrafo anterior, la FTE obtenida con 2 hrs de registro de ruido con un sismómetro de banda ancha, es un estimador aproximado de la frecuencia y amplitud del movimiento. Para fines comparativos, se obtuvo el acelerograma sintético de la misma zona partiendo del acelerograma registrado en roca (estación de referencia) como acelerograma basal, y usando la FTE del sismómetro de banda ancha como sustituto de la función de transferencia teórica que represente al modelo del suelo.

Además, se analiza la conveniencia de aprovechar el importante número de FTE que ya se tienen (332 sitios), usándolos afectados por un factor de escala (Figura 9).

De este análisis comparativo se observa: de la FTE de un sismómetro de banda ancha se obtiene una buena estimación de la aceleración máxima del sismo; la FTE obtenida con el acelerógrafo requiere de un factor de escala mayor. La relación de las aceleraciones máximas registradas a las obtenidas con las FTE se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Relación de aceleraciones máximas

	Aceleraciones Máximas	Relación
Etna (registros con una duración de menos de 5 minutos)	7.71	2.5
Guralp (registros con una duración mayor a las 2 horas)	15.7	1.2
Registrada en el Sitio	19.9	-

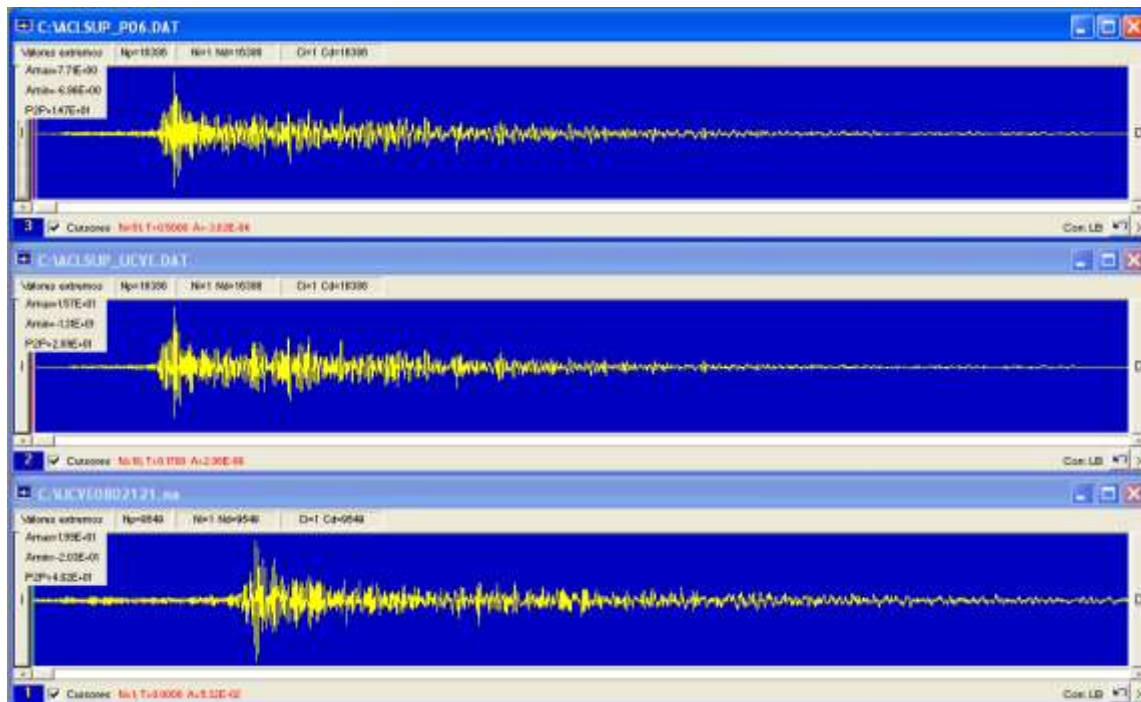


Figura 9. Acelerogramas en superficie en la zona III: con 2 min de registro (acelerógrafo); con 2 hrs de registro (sismómetro de banda ancha); con sismo (12 de febrero del 2008).

MAPAS DE INTENSIDADES SÍSMICAS DEL SISMO DE SAYULA DEL 26 DE FEBRERO DEL 2011

CARACTERÍSTICAS DEL SISMO

Este sismo ocurrió a las 7:07 horas tiempo de México, con una magnitud $M_w=6.0$, asociado a una profundidad de 135 Km y fue localizado por el Servicio Sismológico Nacional con coordenadas epicentrales de 17.76 latitud N y 95.21 longitud W, en la frontera entre los estados de Oaxaca y Veracruz, aproximadamente a 30 Km al Suroeste de Sayula de Alemán, Ver. y fue registrado también en tres equipos de la Red del IIUV instalados en la ZCV (Figura 10).

El mecanismo focal de este sismo obtenido por el Servicio Sismológico Nacional corresponde a una falla de tipo normal, característico de los sismos profundos intraplaca ocurrido en la placa de Cocos que subduce a la placa de Norteamérica.

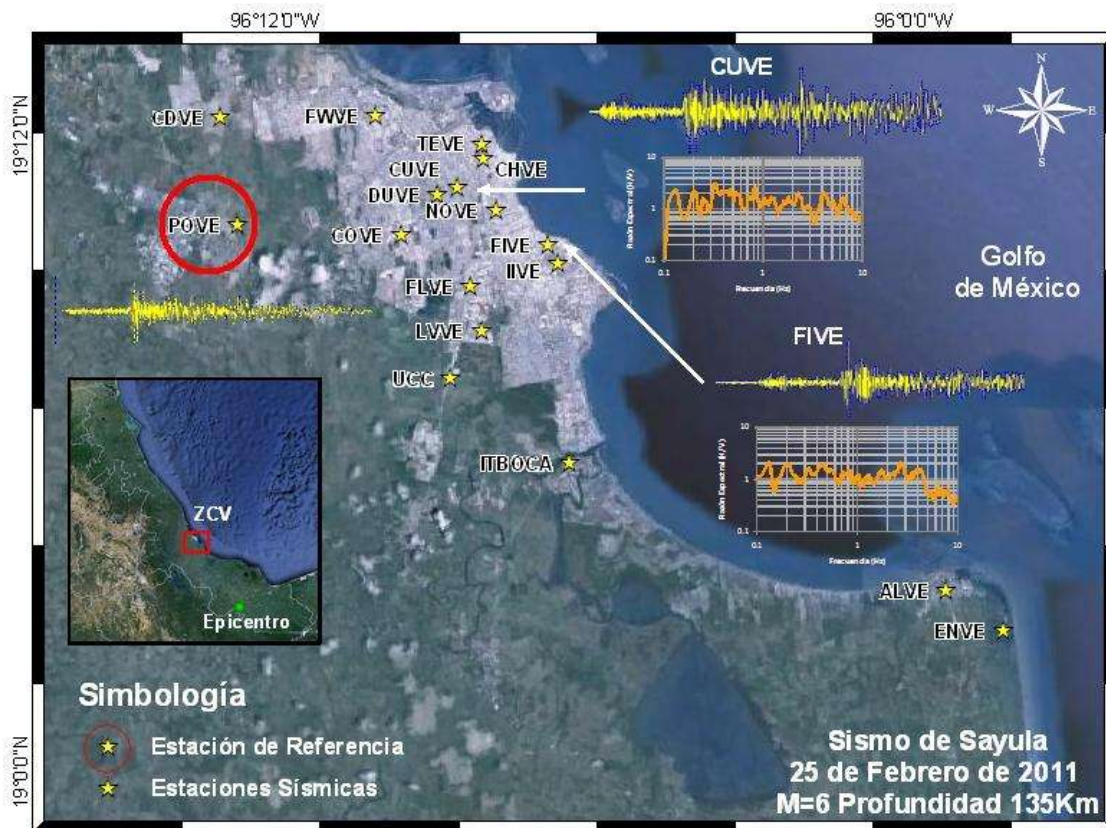


Fig. 10.- Epicentro del sismo de Sayula y estaciones de registro sísmico en la ZCV

DAÑOS EN LAS CONSTRUCCIONES

Fue sentido en diferentes localidades de los estados de Veracruz, Oaxaca y la ciudad de México, incluyendo las conurbaciones de Veracruz-Boca del Río y Xalapa. La Coordinación Regional de Protección Civil reportó en Sayula de Alemán algunos daños menores por agrietamientos, asentamientos y desplazamientos en construcciones bajas (Figura 11), principalmente en algunas escuelas primarias como: la 21 de Marzo, la José María Morelos y Pavón y la Francisco Gabilondo Soler; así como determinados jardines de niños como: el Narciso Mendoza y el Juan Zilli Bernardi (Figura 12), algunos de estos edificios suspendieron clase y fueron

desalojados hasta ser evaluados en su seguridad. También se reportó afectación en la catedral católica San Isidro Labrador, principalmente por agrietamiento en una de sus cúpulas (Figura 11) . En Jáltipan, de lamentable memoria por los daños causados en el sismo del 26 de agosto de 1959, este sismo del 25 de febrero causó daños por asentamientos en una escuela para trabajadores ubicada en la Col. Doctores.



Figura 11.- Tipo de estructuras que presentaron daños.



Figura 12. Distribución de daños en Sayula de Alemán.

ESPECTROS DE RESPUESTA

En las figuras 13 y 14 se presenta una comparación entre los espectros de respuesta calculados en las estaciones CUVE (zona III) y FIVE (zona II) con los registros del sismo del 25 de febrero del 2011 y los obtenidos con la FTE determinada con los sismómetros de banda ancha y 2 hrs. de registros, observando que podemos tener una buena aproximación a la de un sismo. El definir un factor de ajuste se hará después de contar con registros en más sitios dentro de la ZCV.

MAPAS DE INTENSIDADES

A partir de los acelerogramas sintéticos calculados en cada punto en donde se tenían registros de vibración ambiental se determinó para cada uno de ellos su respectivo espectro de respuesta de pseudoaceleraciones utilizando el programa DEGTRA para un amortiguamiento del 5 % y de acuerdo al periodo en estudio se toma el valor correspondiente de aceleración.

Los mapas de intensidades que se presentan en las Figuras 15 a la 21; se generaron tomando en cuenta los rangos que se muestran en la tabla 2, seleccionando la mayor amplitud dentro de cada rango para realizar una interpolación utilizando el algoritmo de Kriging contenido en un programa de Sistemas de Información Geográfica.

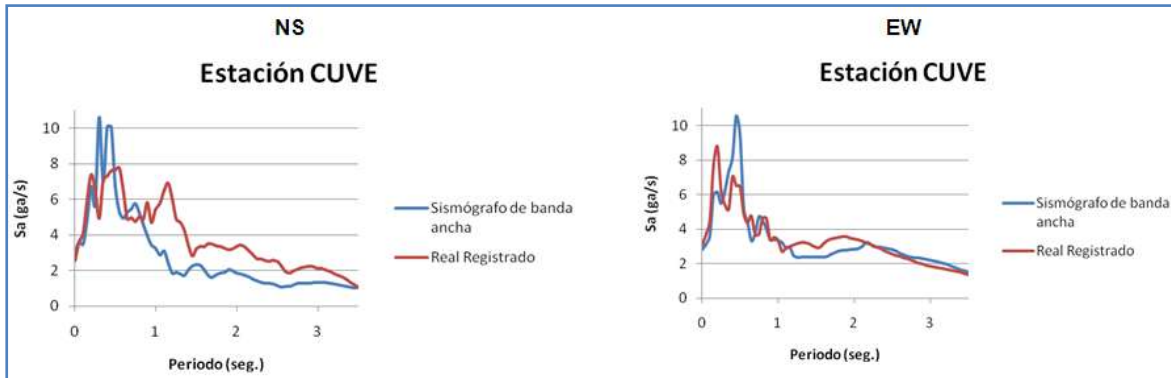


Figura 13.- Espectros de Respuesta estación CUVE

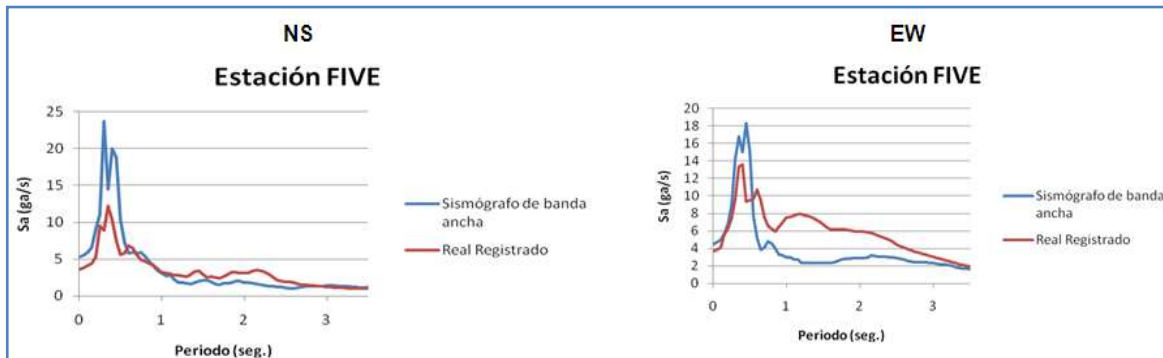


Figura 14.- Espectros de Respuesta estación FIVE

Tabla 2.- Rangos de periodos

Mapa de Intensidad	Periodos
0.20 seg.	0.10 a 0.30 seg.
0.40 seg.	0.31 a 0.50 seg.
0.60 seg.	0.51 a 0.70 seg.
0.80 seg.	0.71 a 0.90 seg.
1.00 seg.	0.91 a 1.25 seg.

También se generó un mapa a partir de las aceleraciones máximas independientemente del periodo (Figura 21). Interpretando los mapas se puede observar que las mayores intensidades se presentan en la zona III, correspondiente a aluviales.

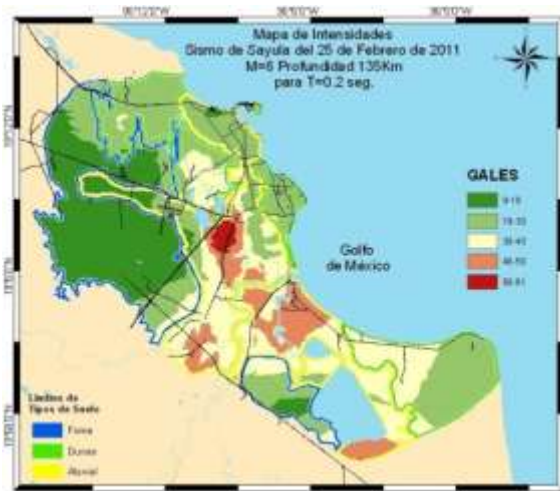


Fig. 15.- Mapa de intensidades para T= 0.2 seg.

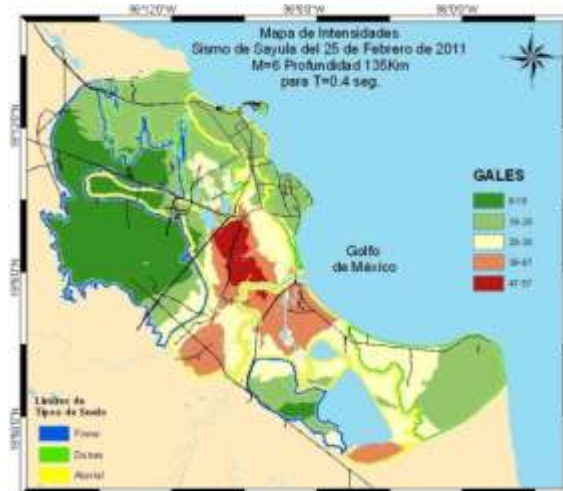


Fig. 16.- Mapa de intensidades para T= 0.4 seg.

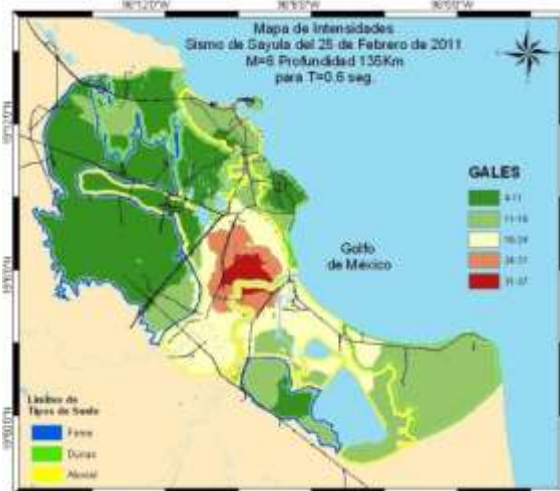


Fig. 17.- Mapa de intensidades para T= 0.6 seg.

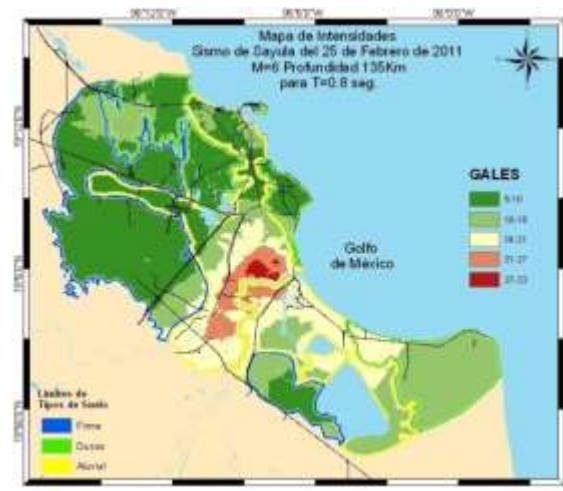


Fig. 18.- Mapa de intensidades para T= 0.8 seg.

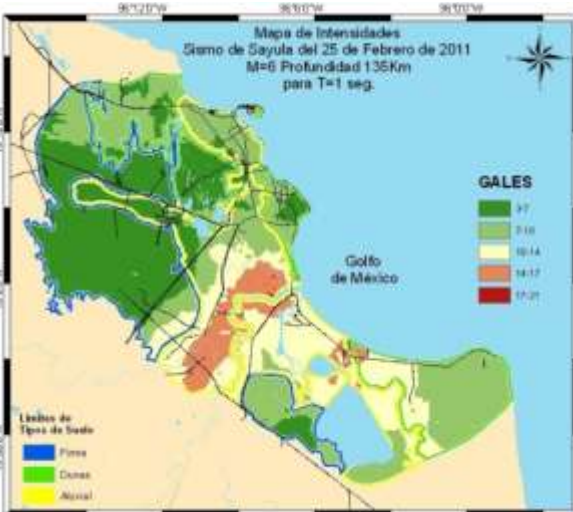


Fig. 19.- Mapa de intensidades para T= 1.0 seg.

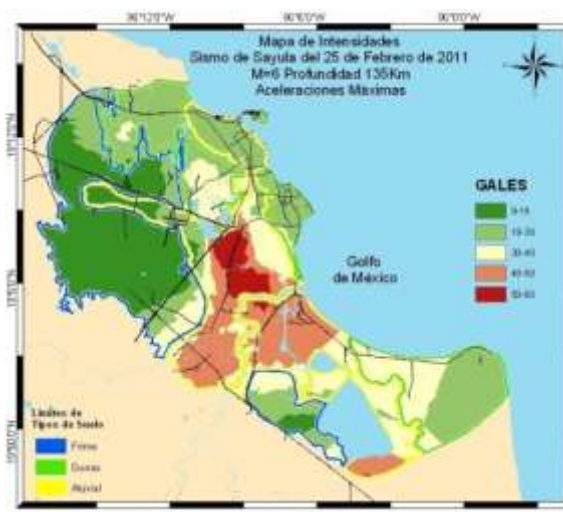


Fig. 20.- Mapa de aceleraciones máximas

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los estudios experimentales que dieron lugar al desarrollo del primer mapa de zonificación sísmica para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, el cual contempla tres tipos de terreno, con sus correspondientes periodos dominantes, para fines de diseño sísmico de las construcciones.

Por otro lado, se considero que el cociente HVNR obtenido a partir de un registro mayor a una hora, con un sismógrafo de banda ancha, es un buen estimador de la frecuencia y amplitud del movimiento, lo cual es una herramienta muy útil para determinar espectros sintéticos. Las estimaciones se realizaron para el temblor ocurrido el 25 de febrero de 2011 (M_w 6.0), el cual es considerado como un sismo de intraplaca de falla normal. Para cada punto de interés se calcularon los acelerogramas sintéticos y sus correspondientes espectros de respuesta. Los resultados obtenidos se presentan por medio de mapas de intensidades sísmicas, estimadas para el escenario sísmico de interés y para cinco valores del periodo de vibrar de las construcciones ($T=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ y 1.0 segundos) y el valor de la aceleración máxima del terreno.

Del análisis de los resultados obtenidos para la validación de la metodología propuesta, se observa una buena aproximación para la mayoría de los puntos, sin embargo en algunos casos tal aproximación no es satisfactoria. De lo anterior surge la necesidad de continuar con la instrumentación sísmica de esta ciudad para contar con más sismos instrumentales y poder llevar a cabo más estudios que permitan mejorar las estimaciones aquí presentadas.

La distribución de aceleraciones presentadas en los mapas de intensidades muestra una coherencia entre sí ya que las intensidades son mayores en la zona depósitos aluviales, siendo las estructuras de dos niveles las más vulnerables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Mtro. Daniel Vega Rocha, por el desarrollo del software para obtener los acelerogramas sintéticos.

RECONOCIMIENTOS

Estos trabajos se han podido realizar gracias al apoyo de Fondos Mixtos Conacyt-Gobierno del estado de Veracruz-Llave.

REFERENCIAS

Borcherdt, R.D., (1994). **“Estimates of site dependent response spectra for design (methodology and justification)”**. Earthquake Spectra, 10, pp. 617-653.

Dobry R., R. D. Borcherdt, C. B. Crouse, I. M. Idriss, W. B. Joyner, G. R. Martin, M. S. Power, E. E. Rinne and R. B. Seed, (2000). **“New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions”**. Earthquake Spectra, 16, pp. 41-67.

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

Lachet C. y Bard P.Y. (1994), **“Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura’s technique”**, J. Phys. Earth., Vol. 42, pp. 377-397.

Lermo, J., Chávez-García, F. (1993), **“Site effect evaluation using spectral ratios with only one station”**, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 83, pp.1574-1594.

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

Lermo, J., Chávez-García, F. (1994b), **“Site effect evaluation at Mexico City: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records”**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.13, pp. 413-423.

Lermo J., Torres G., Almanza P., Vargas A., Cruz J. y Hernández J.A. (1995). **“Efectos de sitio en el Puerto de Veracruz, México, Microzonificación Sísmica Preliminar”**. Memorias del XX congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., pp.115-120, Veracruz, Ver., México.

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 Microzonation Risk Reduction, Almería, Spain.

Leyva R. (2004), **“Obtención de las Curvas de Isoperiodos de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río”**, Tesis de Maestría, Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver.

Limaymanta M. (2009), **“Uso de familias espectrales obtenidas con registros de sismos y microtremores para la clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico. aplicación en las ciudades de Veracruz-Boca del Río, Oaxaca y Acapulco”**, Tesis para obtener el grado de Maestra en Ingeniería (Geotécnia). División de estudios de posgrado de la facultad de Ingeniería de la UNAM.

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

Neri I., Riquer G., Williams F., Leyva R., Carmona E., Lermo J. y Rivera R. (2010), **“Selección de Zonas para Fuentes de Abastecimientos de Agua y Albergues Temporales ante Situaciones de Inundación y Terremotos”**, Libro de Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, (En prensa).

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.

Riquer G., Williams F., Lermo J., Torres G. y Leyva R. (2003), **“Microzonificación Sísmica en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río”**, Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, México.

Sánchez-Sesma F., Rodríguez M., Iturrarán-Viveros U., Luzón F., Campillo M., Margerin L., García-Jerez A., Suárez M., Santoyo M., Rodríguez-Castellanos A. (2011), **“A Theory for microtremor H/V spectral ratio: Application for a layered médium”**. Accepted for publication abril 2011, Geophysical Journal International.

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

Williams F., Riquer G., Leyva R. y Torres G. (2003), **“Red Acelerográfica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río”**, Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, México.