



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)

## 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>, Abigail 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)

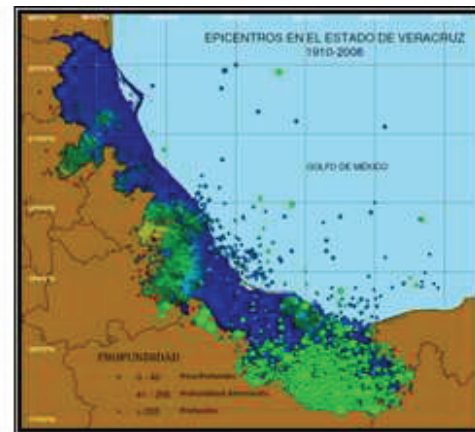
<sup>2</sup> Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (55) 56233500 ext.1264, [jles@pumas.iingen.unam.mx](mailto:jles@pumas.iingen.unam.mx)

<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), [frejomolina@yahoo.com.mx](mailto:frejomolina@yahoo.com.mx).

Con la finalidad de conocer la sismicidad de larga periodicidad del estado de Veracruz, se recopilaron 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	$M_s=6.5$ $M_c=6.4$	15	19.27°	-97.08°	Tembor de Nalapa	Suter et al. (1996)
15-01-1931	$M_c=7.8$	40	16.34°	-96.87°	Tembor de Oaxaca	Singh et al. (1985)
26-07-1937	$M_c=7.3$	85	18.48°	-96.08°	-	Jumenez y Ponce (1977-78)
11-08-1948	$M_s=6.7$	100	17.75°	-92.25°	-	Zúñiga F.R. (2008)
26-08-1919	$M_c=6.4$	20	18.26°	-94.43°	Tembor de Jáltipan	Ponce y Suárez (1985)
11-03-1967	$M_c=5.7$	24	19.23°	-95.74°	Tembor de Veracruz	Ponce y Suárez (1985)
28-08-1973	$m_s=7.3$ $M_c=7.0$	82	18.70°	-96.53°	Tembor de Orizaba	Abe (1981) Singh y Wynn (1976)



Cuadro 1. Sismos importantes ocurridos en la región.

Figura 1. Epicentros en Veracruz (1910-2008)

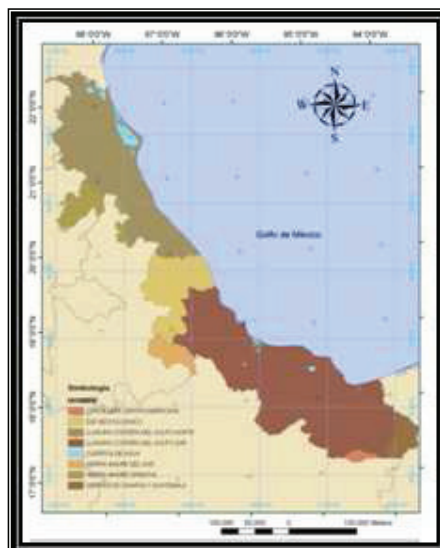


Figura 2. Provincias Fisiográficas

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.



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.

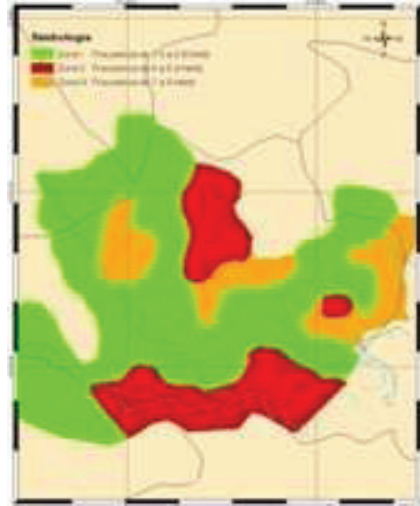


Figura 8. Mapa de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de Orizaba, Ver.

### 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.

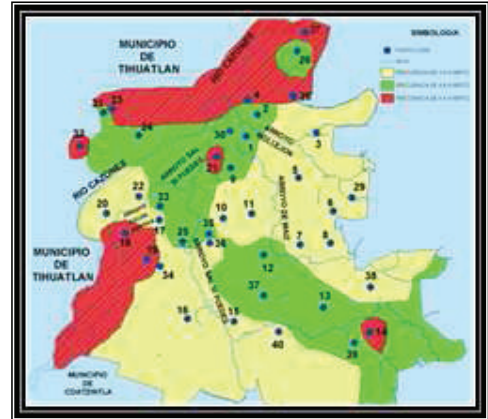


Figura 10. Mapa preliminar de formas espectrales con fines de microzonificación sísmica de Poza Rica, Ver.

### **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.