



Riquer Trujillo Guadalupe¹, Williams Linera Francisco¹, Lermo Samaniego Javier², Torres Morales Gilbert³, Leyva Soberanis Regino¹

Artículo II-09**RESUMEN**

Se describen los trabajos realizados en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río, México (ZCV), para la elaboración de un mapa de microzonificación sísmica. Los períodos dominantes del suelo se muestran en un mapa de isoperíodos obtenido con vibración ambiental en 176 puntos, utilizando la técnica de Nakamura. Se instalaron en 5 de estos puntos, estaciones acelerográficas temporales y con el registro de sismos, se pudo evaluar el efecto de sitio usando la técnica de Nakamura y la Estándar. Se consideraron características geológicas, geotécnicas e hidrología superficial así como la distribución de daños en sismos históricos.

ABSTRACT

This work describe the studies done in urban zone Veracruz-Boca del Río, Mexico (ZCV), for the elaboration of the seismic microzonification map. The dominant periods of ground to shown in one isoperiods map to obtained with environmental vibration in 176 points, using the Nakamura technical. It was installed in 5 of this points, acelerographic stations temporal and with the record of seismics it could to evaluated the site effect using the Nakamura, and Standar technicals. It consideredated geological, geotechnical characteristics and superficial hydrology, so as the damage distribution in historic seismics.

INTRODUCCIÓN

El Reglamento de Construcciones vigente para el Estado de Veracruz-Llave, data de 1979 y no cuenta con Normas Técnicas Complementarias. En 1998 se hizo una nueva propuesta que está en proceso de revisión y aprobación por la legislatura; ésta, sí contempla una propuesta de Normas Complementarias para el Diseño por Sismo, empleando espectros de diseño basados en formas espectrales suavizadas de espectros de peligro sísmico uniforme, y al igual que el Manual de CFE de 1993, reconoce la importancia de que existan estudios de microzonificación sísmica.

-
- (1) 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) 9232800 ext. 22216, Fax 9232827, guadaluperiquer@yahoo.com.mx
 - (2) Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F., Tel. (01-55) 56223461, jles@pumas.iingen.unam.mx
 - (3) 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, giltorres@prodigy.net.mx

El Manual de CFE delimita al Estado como potencialmente expuesto a un riesgo sísmico de moderado a alto en un 80 % de su área, donde se concentra el 90 % de la población y sus construcciones. Además la historia sísmica del Estado, nos advierte de la probabilidad de ser afectados por sismos de características similares a los ocurridos.

Lo anterior motivó el desarrollo de un proyecto de investigación financiado por SIGOLFO (CONACYT) propuesto por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (IIUV), llamado “Estudios Sísmicos e Instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación Sísmica en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río)”, que además de mejorar la densidad de instrumentación para el registro de los sismos con la instalación de tres acelerógrafos, contempló la elaboración del mapa de isoperíodos y el de Microzonificación sísmica de la ZCV que se presentan en este trabajo (Torres et al., 2002; Riquer et al., 2003a,b).

La zona directamente beneficiada tiene una población aproximada de 800 000 habitantes y un gran impacto social en el Estado si tomamos en consideración que se ha convertido en un importante núcleo turístico, con infraestructura que la hace uno de los principales puertos mercantiles de altura y comercial de México, viable a fuertes inversiones en obras civiles.

Los resultados de este trabajo servirán de base al planteamiento de parámetros para el diseño de estructuras sismo-resistentes en la zona y planes de desarrollo urbano.

HISTORIA SÍSMICA Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA

Para determinar el impacto de grandes sismos históricos, se consideraron los sismos a partir de la instrumentación sísmica en México en la época del Porfiriato en 1910, donde se pueden obtener valores de magnitud, profundidad y una localización más exacta de los mismos (Tabla 1):

Tabla 1. Sismos importantes ocurridos en la región.

Fecha	Magnitud	Profundidad Km	Latitud N	Longitud W	Observaciones	Referencia
04-01-1920	$m_b=6.5$ $M_s=6.2$	15	19.27°	-97.08°	Temblor de Xalapa	Suter et al., (1996)
15-01-1931	$M_s=7.8$	40	16.34°	-96.87°	Temblor de Oaxaca	Singh et al., (1985)
26-07-1937	$M_s=7.3$	85	18.48°	-96.08°		Jiménez y Ponce (1977-78)
26-08-1959	$M_w=6.4$	21	18.26°	-94.43°	Temblor de Jáltipan	Ponce y Suárez (1985)
11-03-1967	$M_w=5.7$	24	19.23°	-95.74°	Temblor de Veracruz	Ponce y Suárez (1985)
28-08-1973	$m_b=7.3$ $M_w=7.0$	82	18.30°	-96.53°	Temblor de Orizaba	Abe (1981) Singh y Wyss (1976)

Se evaluó la extensión, ubicación e intensidad de los efectos locales de los sismos históricos y el crecimiento histórico de la ciudad. Para ello se recurrió a planos y litografías como el de la figura 1 que datan del siglo XVIII hasta nuestros días. El área en estudio, comprende el casco histórico de la antigua

ciudad amurallada, en algún tiempo conocido como “Ciudad de Tablas”, por el tipo de construcciones que en ella predominaba.

Se localizaron antiguos cauces de ríos 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.

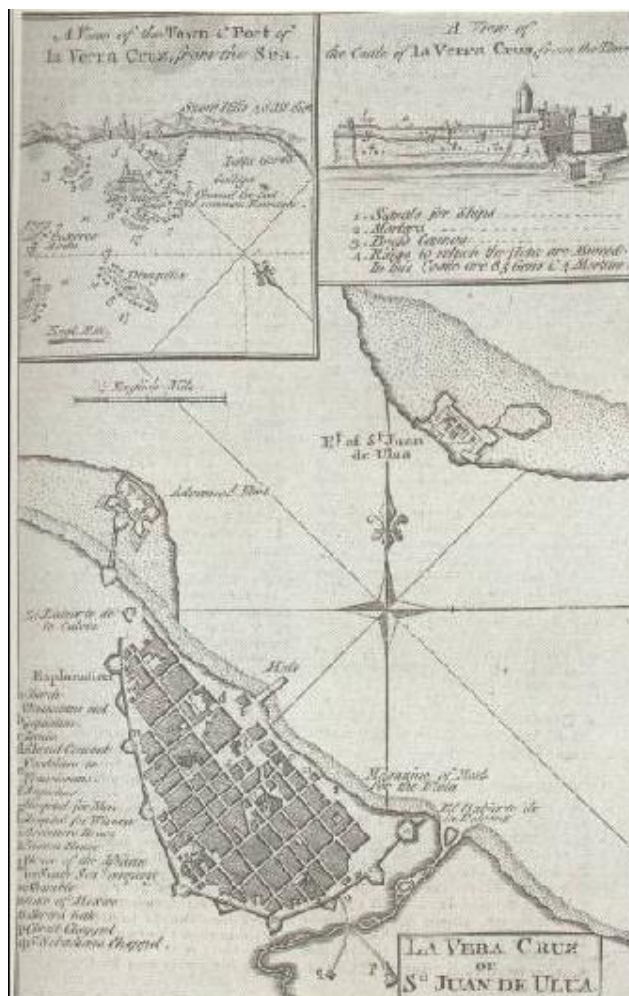


Figura 1. Antigua ciudad amurallada de Veracruz, cartografía inglesa, finales del siglo XVIII, donde se muestra el cauce del Río Tenoya.

El crecimiento urbano actual y su proyección futura de la ciudad, se observaron en las Cartas de la Dirección General de Ordenamiento Urbano y Regional de la Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Veracruz, con una expansión industrial notoriamente marcada hacia el suroeste y la habitacional y turística hacia el sureste.

Se consideraron antecedentes de las características geotécnicas, geológicas y morfológicas hechos en la zona, así como estudios preliminares de microzonificación sísmica (Lermo et. al. 1995). Considerando todo lo anterior, quedó de manifiesto la zona de interés para este estudio.

GEOLOGÍA REGIONAL

La formación geológica de la zona tiene su origen en el cuaternario, no existiendo fenómeno tectónico que haya afectado su formación. Su estratigrafía tiene una gran uniformidad en sus materiales, ya que los sedimentos están constituidos principalmente por arenas, que se pueden considerar contemporáneos, pues mientras por un lado el viento forma los cordones de dunas litorales, por el otro los ríos con sus inundaciones y el mar, moldean la superficie topográfica del área.

La altitud sobre el nivel del mar es en general baja (10 m.) y desde el punto de vista morfológico, se diferencian tres zonas principales: Zona de depósito de playas, con una ligera pendiente hacia el mar; la zona de depósito de médanos, que son formaciones con eje longitudinal en la dirección norte-noreste y la zona de depósitos aluviales, que se ubica en la parte baja de la ciudad, por detrás del cordón de dunas. Esta clasificación se integra a la geológica por su analogía, como se muestra en la figura 2.

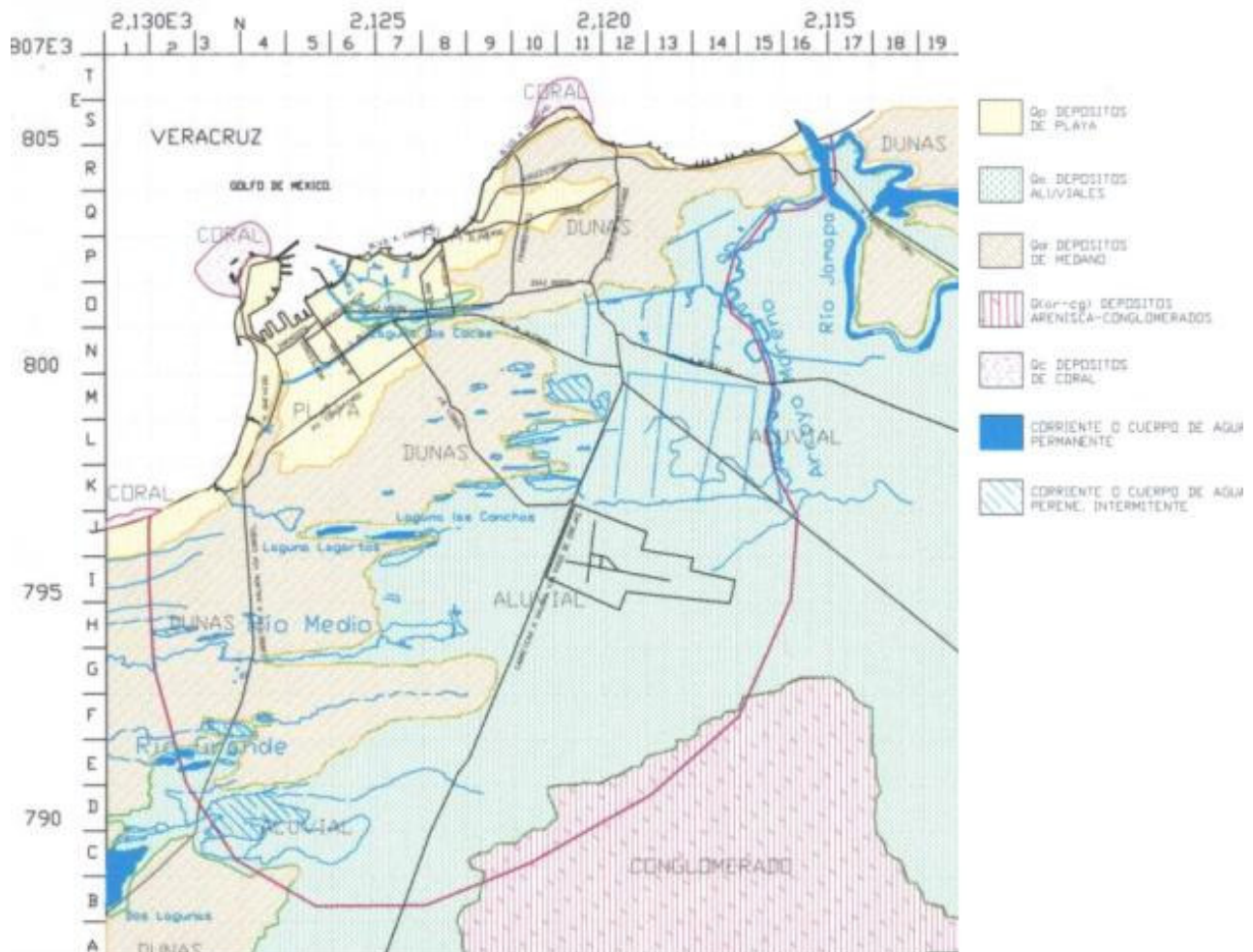


Figura 2. Zonificación Geológica –Geotécnica de la ZCV.

Destaca por sus características dinámicas una pequeña zona de depósito aluvial, localizada entre la zona de dunas y los depósitos de playa dentro de la mancha urbana, generada a partir de los escurrimientos naturales hacia el mar de las zonas de inundación del Río Jamapa y el Arroyo Moreno, que a su paso formaban pequeñas lagunas. Una de ellas es conocida como la Laguna de Cocos, la que posteriormente

seguía el cauce hacia un arroyo conocido como Tenoya hasta desembocar al mar. También había otro brazo de agua que salía de la Laguna de Cocos por la hoy calle de Ignacio Allende, hasta el mar, donde hoy están los muelles de acuerdo a la figura 3. En estas zonas se han presentado problemas de estabilidad en cimentaciones, así como daños en los sismos históricos.

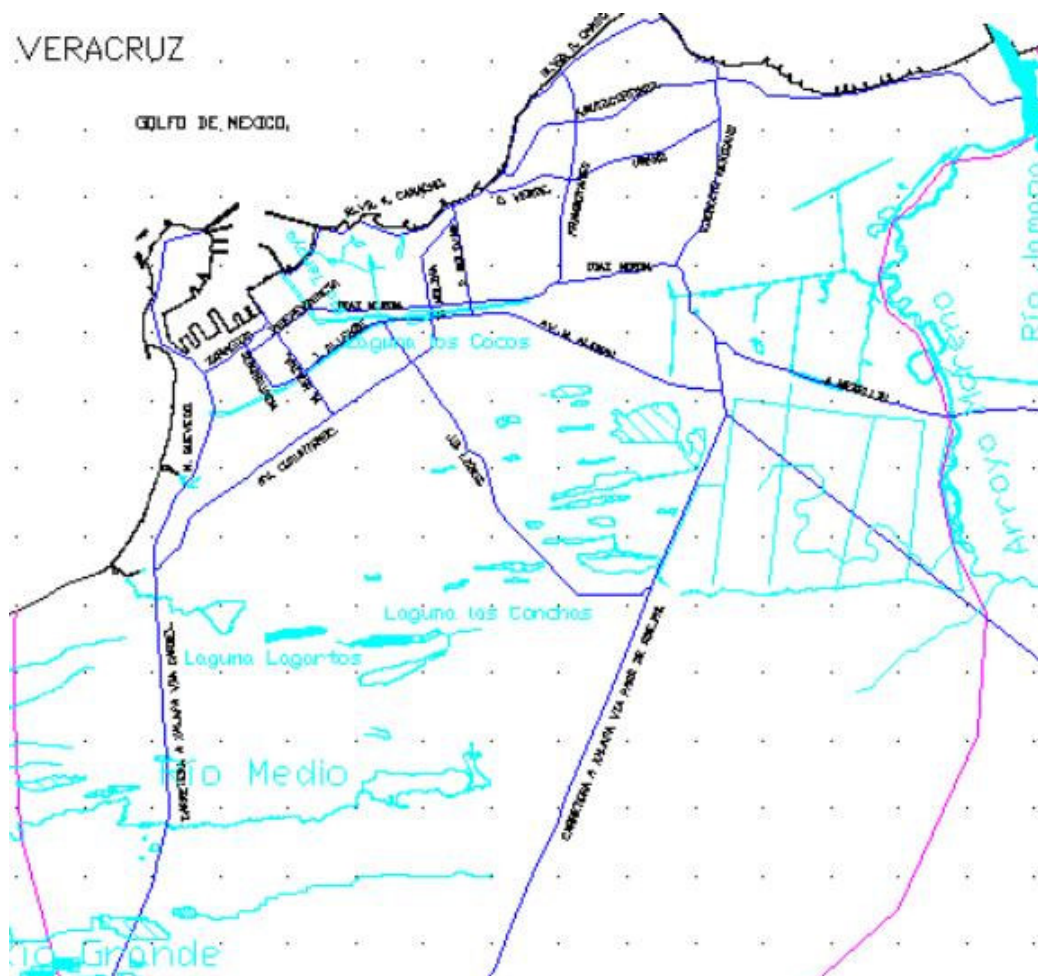


Figura 3. Hidrología de la ZCV.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Se localizó un trabajo de tesis desarrollado por Páez (2000) de zonificación geológica y geotécnica reciente de la ZCV, basado en 100 estudios de mecánica de suelos. El 52 % de estos estudios fueron exploratorios (de los tipos alterado-continuo y alterado-selectivo); el 17 % tipo mixto (alternando el muestreo alterado con muestreo inalterado); y el 31 % son pozos a cielo abierto. Las profundidades de las exploraciones oscilan entre 0.80 y 30.5 m. Sin embargo, estos estudios se concentran en la zona urbana principalmente y no se cuenta con información suficiente en áreas de expansión urbana e industrial, por lo que este trabajo se basó en las principales características geotécnicas dentro del mapa geológico, sin llegar a un mapa geotécnico preciso, como se aprecia en la figura 2.

Resumiendo resultados podemos decir que en la zona de médano, playa y zonas planas, el tipo de suelo es de arenas finas uniformes limpias, poco limosas y limosas, con compacidad suelta encontrada desde profundidades de 4 hasta 10 m. En zonas bajas e inundables, los suelos son arcillas, limos, arenas y arcillas orgánicas, normalmente consolidados y de alta compresibilidad. En las líneas de playa e instalaciones portuarias se tiene coral y arenas coralíferas, son depósitos heterogéneos de compacidad y permeabilidad variable y errática (Esquivel, 1976).

VIBRACIÓN AMBIENTAL

El uso de microtremores (vibración ambiental) para obtener la estimación de la respuesta de un sitio fue introducido en Japón por los años 50 (Kanai et al., 1954). No obstante los cuestionamientos que se han hecho sobre su utilidad (Gutiérrez y Singh, 1992; Lachet y Bard, 1994), las mediciones de microtremores continúan presentando un alto atractivo para la caracterización de la respuesta de sitio, tanto por su sencillez de operación y su bajo costo como por la rapidez con que permiten obtener resultados (Lermo y Chávez-García, 1994a,b). En especial cuando es interpretado utilizando la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (*técnica de Nakamura*), propuesta originalmente por Nakamura (1989).

Se registraron vibración ambiental en 176 sitios, cubriendo la mayor parte de los puntos de una malla que divide el área en estudio en una cuadrícula a razón de un km² como se indica en la figura 5. Los equipos de registro usados fueron dos acelerógrafos GSR-18 marca Terra Technology y un ETNA marca Kinematics. Ambos 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 200 mps en sus tres direcciones ortogonales.

Después de orientar y nivelar el aparato, en cada punto se registraron dos eventos, utilizando un pre-evento de 1 s. y un post-evento de 60 s. Los datos registrados se transfieren a una computadora para su análisis. La primera parte del mismo 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 estacionariedad de las señales (principalmente vehículos y peatones en la proximidad del instrumento). Dentro de los registros se seleccionan ventanas de entre 20 y 30 s de duración para cada punto, las cuales se utilizaron para calcular espectros de Fourier. Al seleccionar varias ventanas de registro para cada punto, permite obtener estimaciones más robustas del espectro de amplitudes de Fourier para cada punto de observación. 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 aplica la técnica de Nakamura para cada uno de los 176 puntos, y se obtiene una estimación de la frecuencia dominante del sitio. Como ejemplo se muestra en la figura 4 las razones espectrales y su promedio para las estaciones acelerográficas de POVE y CHVE (Línea delgada, razones espectrales, Línea gruesa, promedio).

MONITOREO SÍSMICO

Con el objeto de validar y cuantificar el efecto de sitio estimado con microtremores, se instalaron estaciones acelerográficas temporales, en seis sitios dentro de la zona urbana de Veracruz: dos en los depósitos de playa (Universidad Veracruzana y Centro Histórico); dos en la zona de dunas (Unidad habitacional Ruiz Cortines y El Coyol); uno en la parte Aluvial cerca de los conglomerados (Posta Zootécnica de la UV); y otro en Punta Antón Lizardo, Mpo. de Alvarado, Ver (Heroica Escuela Naval Militar). En la Figura 5 se muestra con círculos grandes la ubicación de las primeras cinco estaciones. Hasta la fecha se han registrado 18 sismos entre locales y regionales. Sin embargo la mayoría de estos

sismos se han registrado en una sola estación (IIVE), seis sismos en dos estaciones y dos sismos en tres estaciones. Los cuales se detallan en el trabajo de Williams et al (2003), publicada en esta misma memoria.

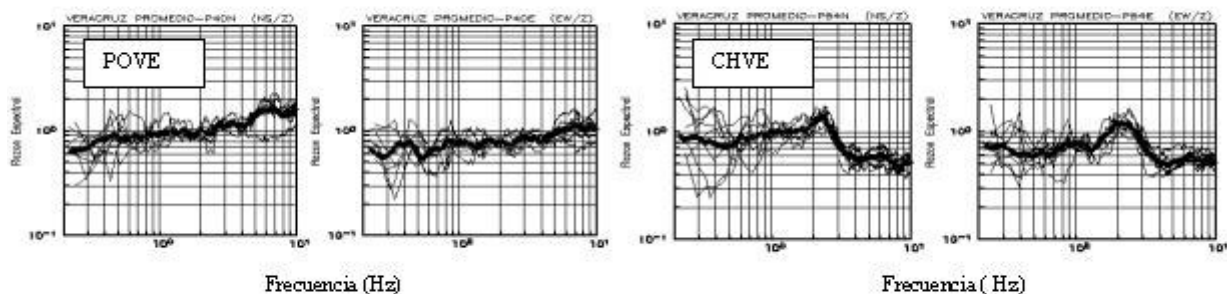


Figura 4. Efectos de sitio para estaciones acelerográficas temporales POVE y CHVE, obtenidas con la técnica de Nakamura, utilizando registros de microtemores.

Uno de los métodos más populares para estimar efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad es el uso de la razón espectral (de espectros de Fourier) de registros de temblores (*técnica estándar*), obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando con respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (Singh et al., 1988). Otra técnica, es la estimación de la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro (*técnica de Nakamura para sismos*). Este método fue aplicado por Lermo y Chávez-García (1993) a la parte intensa de las ondas-S en registros de movimientos débiles con resultados que sugirieron que si el efecto de sitio es causado por una geología simple, proporciona una estimación robusta de la frecuencia y amplitud del primer modo de resonancia.

Ahora, con el objeto de estimar el efecto de sitio en alguna de las seis estaciones, con la *técnica estándar* y compararlo con la *técnica de Nakamura* con microtemores y sismos, seleccionamos la estación CHVE, ya que es la única estación que ha registrado simultáneamente seis sismos con alguna otra estación. De éstas, solamente la estación POVE presenta un efecto de sitio cerca de los 10 Hz, como se puede observar en la función de transferencia empírica mostrada en la figura 4. Por lo que, esta estación fue seleccionada como *estación de referencia*.

En la figura 4, también se muestra el efecto de sitio para la estación CHVE seleccionada, usando la *técnica de Nakamura con microtemores*. Para aplicar la técnica de Nakamura para sismos, se tomaron los seis sismos registrados en esta estación, cuyas características hipocentrales y de magnitud se pueden observar en las tablas 3 y 4 del trabajo de Williams et al.(2003), publicada también en las memorias de este congreso. Los resultados de las razones espectrales o funciones de transferencia empíricas obtenidas con la *técnica de Nakamura para sismos*, para cada una de las componentes horizontales (NS y EW) para cada uno de los seis sismos registrados en la estación CHVE, se muestran con línea delgada en la parte superior de la figura 6. En esta misma figura 6, se muestra también con línea gruesa el promedio de estas razones espectrales para cada una de las componentes horizontales. Este promedio muestra un máximo espectral alrededor de los 2 Hz, con una amplificación relativa de 4 veces en promedio juntando las dos componentes horizontales. Sin embargo hacia bajas frecuencias (entre 0.3 y 1.5 Hz) también se observa una amplificación en las dos componentes horizontales, los cuales confunden el máximo espectral observado alrededor de los 2 Hz.

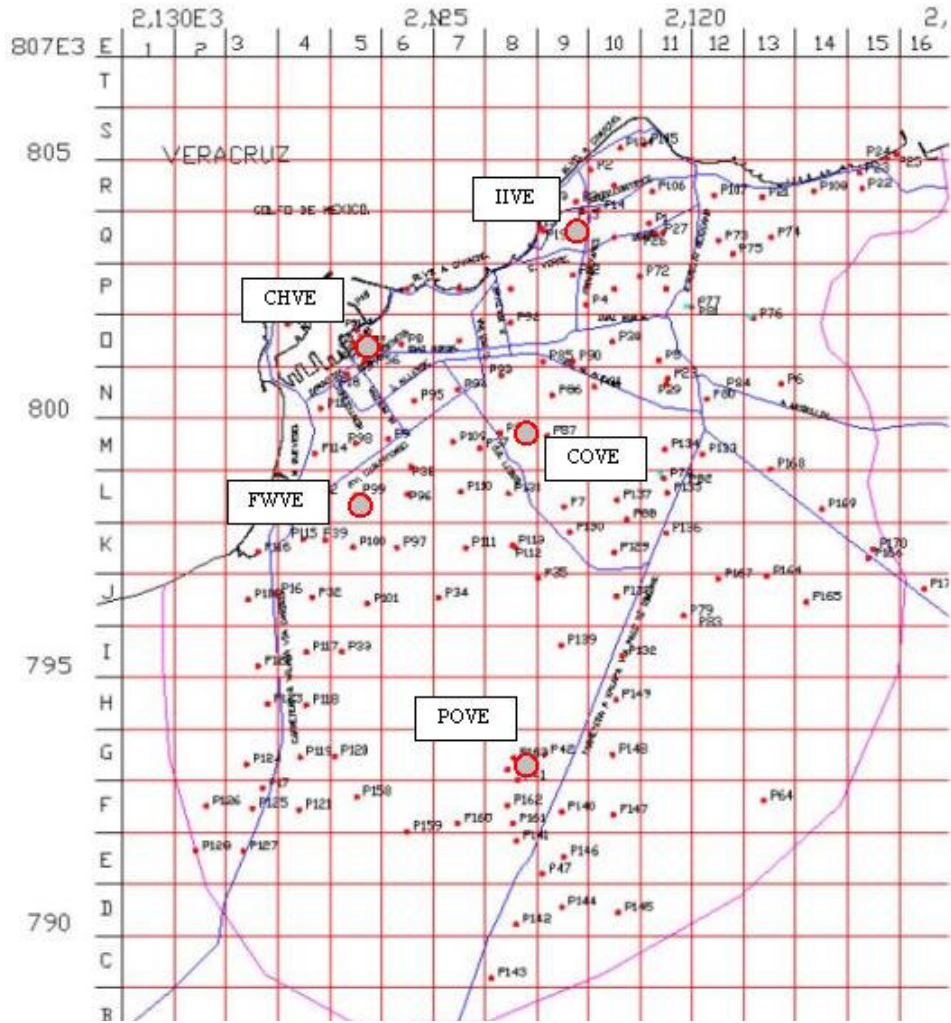


Figura 5. Puntos negros pequeños, ubicación de los sitios donde se registró vibración ambiental.
Puntos negros grandes, ubicación de las estaciones acelerográficas temporales.

Finalmente, para aplicar la *técnica estándar* en la estación CHVE, utilizaremos el sismo registrado el 16 de Enero de 2002 y localizado en la costa de Chiapas. Este sismo fue seleccionado por su magnitud ($M_e=6.3$) y porque fue registrado simultáneamente en la estación CHVE y POVE (seleccionado como estación de referencia). Después de obtener sus respectivos espectros de Fourier suavizados del paquete de ondas S en cada una de las dos componentes horizontales, se estimó la razón espectral entre las componente horizontales de la estación en suelo blando (CHVE) entre las componentes horizontales de la estación de referencia (POVE). Esta razón espectral se puede observar en la parte inferior de la figura 6, donde se han graficado las tres técnicas mencionadas. Con línea continua gruesa, se han graficado los resultados de aplicar la técnica estándar en las dos componentes horizontales. Con línea discontinua delgada, se han graficado los resultados de aplicar la técnica de Nakamura con sismos, y con línea continua delgada, la técnica de Nakamura con microtremores, para las mismas componentes horizontales.

Aún cuando se aplicó la técnica estándar con un solo sismo, este resultado confirma tanto la frecuencia dominante como la amplificación relativa estimada con la técnica de Nakamura con sismos. Aclarando que este último si fue estimada con registros de seis sismos obtenidos en la estación CHVE. Este resultado presenta una mejor solución para la componente horizontal NS, ya que la frecuencia dominante asociada al máximo espectral obtenido con la técnica estándar coincide con las frecuencias dominantes obtenidos con la técnica de Nakamura con sismos y microtremores, sin embargo para la componente EW la frecuencia asociada al máximo espectral obtenida con la técnica estándar presenta una ligera desviación hacia bajas frecuencias. De este análisis se puede resumir lo siguiente:

1. Nuevamente se confirma que la estimación del efecto de sitio con la técnica de Nakamura y registros de microtremores solo sirve para estimar de forma preliminar la frecuencia dominante de un sitio, y que su valor de amplificación relativa siempre da un valor menor a lo estimado con otras técnicas.
2. Con respecto a la técnica de Nakamura con registros de sismos, se observo que requiere de un mínimo de tres sismos para obtener una buena estimación del sitio. Así como presenta una mayor dispersión hacia bajas frecuencias la cual confunde el pico o banda de frecuencias dominantes.

Por último, se analizaron con la técnicas de Nakamura, otras dos estaciones acelerográficas (IIVE y FWVE) que registraron varios sismos, los cuales se compararon con el promedio obtenidos con registros de microtremores. Este resultado se puede observar en la figura 7, donde con línea continua delgada se han graficado las razones espectrales obtenidas con microtremores para las dos estaciones y para sus dos componentes horizontales, y con línea continua gruesa, las razones espectrales obtenidas con sismos, para las mismas estaciones y componentes. El análisis de estos resultados, nuevamente nos confirma que el valor de la frecuencia dominante es similar con los dos tipos de registros, sin embargo la amplificación relativa presenta en promedio una diferencia de un valor de 4 veces.

MAPA DE ISOPERÍODOS

A partir de las estimaciones del periodo dominante para los 176 puntos, obtenidos con registros de vibración ambiental y evaluados con registros de sismos; y tomando en cuenta la topografía, hidrología y las características geológica-geotécnicas, se hizo el trazo del mapa de las curvas de isoperíodos correspondientes a 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 y 0.60 segundos que se presenta en la figura 8.

Se observa que la distribución de los valores obtenidos de los períodos dominantes del terreno, coinciden con el tipo de geología superficial e hidrología. Estos van de 0.1 seg. para la zona más firme a 0.6 seg. para las zonas más desfavorables. Estas últimas, se encuentran en los bordes de los depósitos de dunas, donde por el escurrimiento natural de los antiguos ríos hacia el mar se formaron depósitos aluviales, cuyo espesor influye en la variación del período dominante, que es de 0.4, 0.5 y 0.6 seg., conforme es mayor el espesor de los estratos. Se advierte también que las curvas de isoperíodos entre estos valores, bordean las dunas y siguen el curso del escurrimiento natural del agua hacia el mar.

Las zonas de dunas a su vez, presentan períodos dominantes de 0.1 y 0.3 seg., contemplándose áreas más consolidadas hacia la parte oeste de la ZCV, donde se encuentra una parte de conglomerado.

Por último la zona de playa presenta períodos dominantes muy variables de entre 0.4 y 0.5 seg. y en algunas partes hasta valores muy buenos de 0.1 seg., esto debido a que las primeras son áreas ganadas al mar o se encuentra sobre cauce de antiguos ríos, y las últimas se encuentran cerca de depósitos de coral.

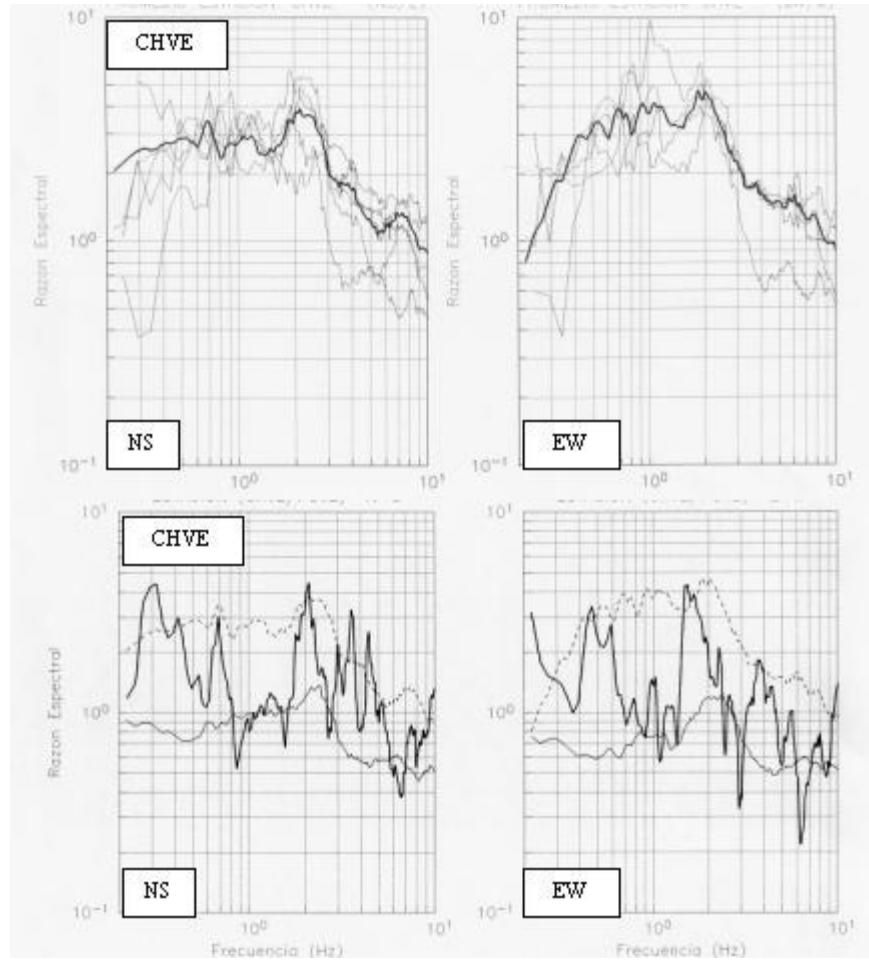


Figura 6. Parte superior, estación CHVE, técnica Nakamura para sismos. Parte inferior, estación CHVE, técnica Estándar y técnica Nakamura con sismos y microtremores.

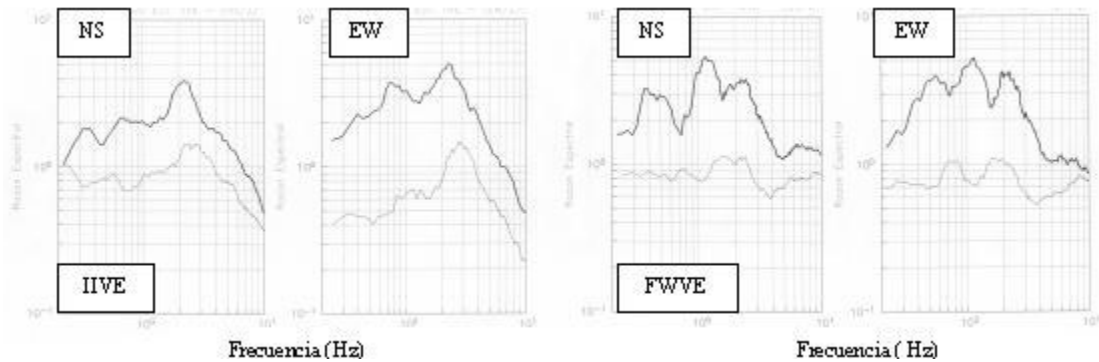


Figura 7. Comparaciones de efectos de sitio para las estaciones acelerográficas IIVE y FWVE, obtenidas con la técnica de Nakamura, utilizando registros de sismos y microtremores.

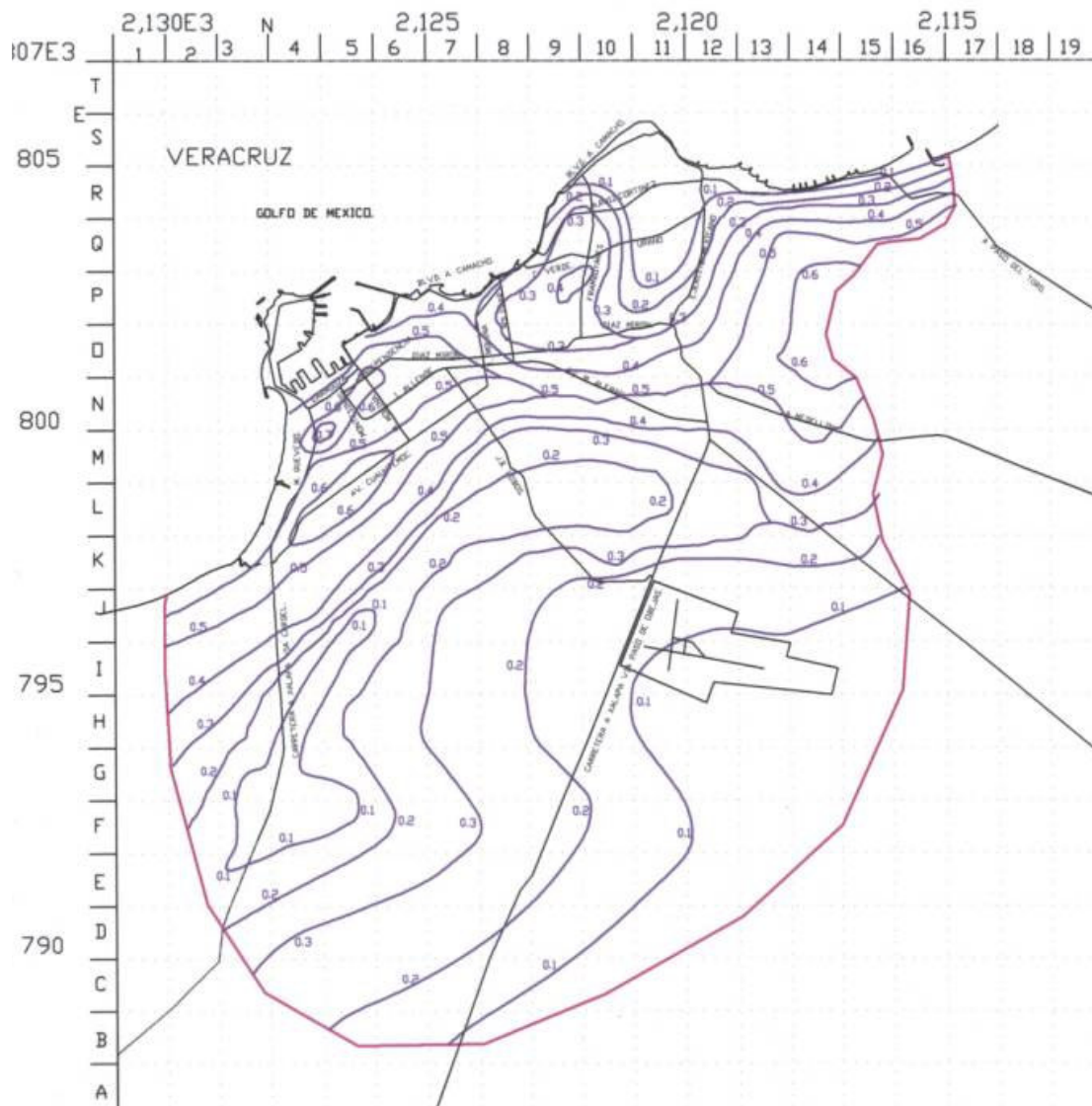


Figura 8. Curvas de Isoperíodos de la ZCV

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

A partir de las curvas de Isoperíodos obtenidos con registros de vibración ambiental y tomando en cuenta las estimaciones del efecto de sitio en las tres estaciones acelerográficas CHVE, IIVE y FWVE obtenidas con la técnica de Nakamura con sismos y verificada en CHVE con la técnica estándar; y de acuerdo con la topografía, hidrología y las características geológica-geotécnicas, se hizo el trazo del mapa de Microzonificación Sísmica de la figura 9, donde se delimitaron 2 zonas de peligro sísmico, clasificándose en orden descendente de acuerdo a su vulnerabilidad.

El análisis del efecto de sitio de las tres estaciones acelerográficas nos han permitido tener cautela con el valor de la amplificación relativa, aún cuando este análisis nos da un valor promedio de 4 veces, nos faltaría evaluar muchos otros sitios, en especial en diferentes tipos de depósitos, por lo tanto, solo

podemos suponer por el momento, que en promedio los valores de amplificación relativa estimados a partir de registros de vibración ambiental tienen que ser multiplicados por este factor.

Dado que desconocemos en la mayoría de los 176 sitios analizados el valor de su amplificación relativa, no se puede definir el grado de peligrosidad de estos diferentes tipos de suelos, sin embargo podemos asociar los periodos dominantes del suelo con el periodo fundamental (T^*) de las edificaciones. Así pues, si tomamos en cuenta la relación de:

$$T^* = N / \lambda$$

Donde N es el número de niveles en una edificación regular, y el parámetro λ que depende de la rigidez del tipo de sistema estructural, puede tomar valores entre 10 y 20 (Rodríguez y Aristizábal, 1998). Para nuestro caso tomaremos el valor de 10, ya que un estudio de Muria y González (1993) encontraron para la ciudad de México valores de este orden para la zona firme, lo que nos permite dividir en dos zonas la ZCV:

- Zona I: curvas de isoperiodos de 0.1 a 0.3 s, para edificaciones de 1 a 3 niveles
- Zona II: curvas de isoperiodos de 0.3 a 0.6 s, para edificaciones de 3 a 6 niveles

Zona I

Esta zona presenta periodos dominantes de vibración de entre 0.1 a 0.3 segundos. Razón por la cual, se tiene que poner especial atención en la construcción de edificaciones de entre 1 y 3 niveles, pues pueden coincidir con el periodo fundamental de vibración del suelo, ocasionando efectos de resonancia entre la edificación y el suelo. Aún más, si consideramos que la mayoría de las viviendas populares son de uno o dos niveles y muchas de ellas autoconstruidas, es importante que se analicen la vulnerabilidad de estas edificaciones que se encuentren en esta zona.

En esta zona incluye terrenos próximos al mar, formados por depósitos de playa cerca de los depósitos de coral, así como dunas estables, además de estar formada por los depósitos aluviales más estables que se encuentran próximos a los depósitos de conglomerado.

Aún cuando el análisis de los tipos de suelos en esta zona parecen mas estables que el de la zona II, nos queda todavía la duda si los espesores menores de suelo, tengan capacidad de amplificación por acción de un sismo, por lo que se continuaran instrumentando estas zonas con acelerógrafos para registrar sismos moderados y así estimar su verdadera amplificación relativa.

Zona II

Esta zona presenta periodos dominantes de vibración de entre 0.3 a 0.6 segundos. Por lo que, se tiene que poner especial atención en la construcción de edificaciones de entre 3 y 6 niveles, pues pueden coincidir con el periodo fundamental de vibración del suelo, ocasionando efectos de resonancia entre la edificación y el suelo, además se debe tomar en cuenta, que en donde se tienen los depósitos aluviales mas profundos las amplificaciones pueden ser mayores a las 4 veces.

Esta zona incluye terrenos aluviales donde se ubican los depósitos más profundos y áreas de inundación, así como el cauce de antiguos ríos y antiguas zonas de inundación, además de dunas inestables y terrenos de relleno en zona pantanosa o ganadas al mar; ésta coincide con la parte más antigua de la ciudad de Veracruz, donde se encuentra ubicado el Centro Histórico así como el sector más densamente poblado.

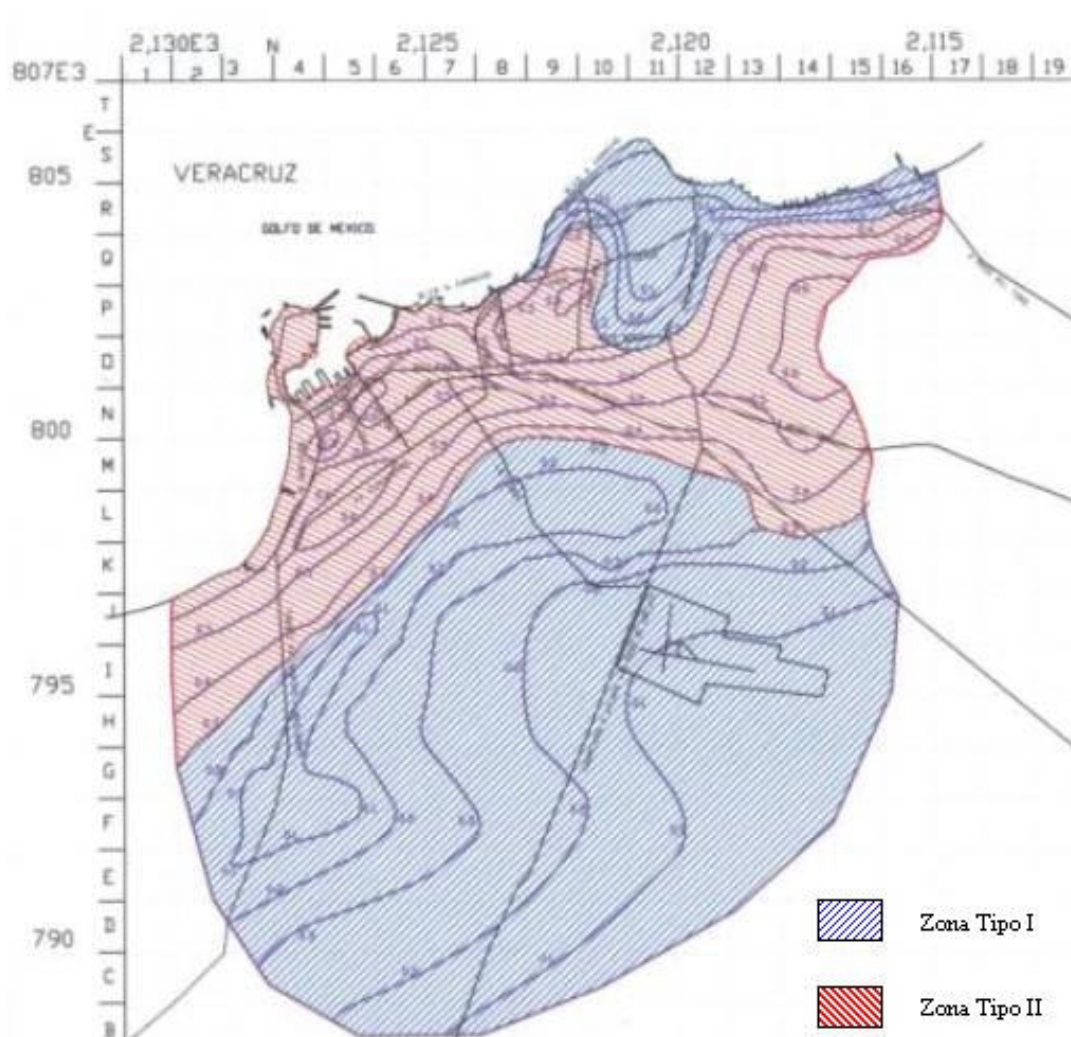


Figura 9. Microzonificación Sísmica de la ZCV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se estimaron en 176 sitios el periodo dominante del suelo, utilizando la técnica de Nakamura a partir de registros de vibración ambiental, los cuales fueron evaluados en tres sitios de estos, con registros de sismos regionales, observándose una buena correlación con la frecuencia dominante. El valor de la amplificación relativa presenta una disminución de este valor en un factor promedio de cuatro veces. Se configuro un mapa de Isoperíodos, que junto con las características geológica, geotécnicas y hidrológicas analizadas, se trazo el mapa de Microzonificación Sísmica, donde se delimitaron 2 zonas de peligro sísmico, clasificándose en orden descendente de acuerdo a su vulnerabilidad.

Con los resultados obtenidos en este trabajo se está en la posibilidad de establecer recomendaciones en alcances y limitaciones de proyectos y construcciones civiles para la zona, así como tomar medidas preventivas para la protección civil. Es deseable ampliar el área de estudio, así como complementar con sondeos geotécnicos las áreas de expansión de la ciudad.

Este proyecto posibilitó además, la instalación y puesta en marcha de las primeras tres estaciones acelerográficas de la zona (Williams et. al.,2003), que a la fecha trabajan en condiciones confiables. Se recomienda sin embargo que se mejore la densidad de monitoreo, tanto en la ZCV como en otras ciudades al centro y sur de Estado de Veracruz.

RECONOCIMIENTOS

Como instituciones participantes colaboraron: el Centro de Ciencias de la Tierra de la UV (CCTUV), el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Universidad Cristóbal Colón. Los usuarios comprometidos con el desarrollo del proyecto fueron: Protección Civil del Estado de Veracruz, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, Delegación Veracruz, Colegio de Ingenieros Civiles de Veracruz, A.C., Colegio de Arquitectos de Veracruz, A.C.

Los autores agradecen al Ing. Juan Capallera C., al Dr. Oscar Lenz H. y al Ing. Mauricio Pérez H. por sus aportaciones en geotecnia a este trabajo y al M.I. Ignacio Mora González por su valioso apoyo en la instrumentación.

REFERENCIAS

- Abe, K (1981), "Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980", *Phys. Earth. Planet. Inter.*, Vol. 27, pp.72-92.
- 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.
- Gutiérrez, C and S K Singh (1992), "A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: comparison of results", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 78, pp. 42-63.
- INEGI. Carta Topográfica de Veracruz E14B49, Esc. 1:50 000
- Jiménez, Z and L Ponce (1977-78), "Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca, México, for the period 1928-1973", *Geof. Int.* Vol. 17, pp. 379-386.
- Kanai, K and Tanaka (1954), "Measurement of the microtremor", *Bull Earthquake Res Inst. Tokyo Univ.*, Vol. 32, pp.199-209.
- Lachet, C and P Y Bard (1994), "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique", *J. Phys. Earth.*, Vol. 42, pp. 377-397.
- Lermo, J and F J Chávez-García (1993), "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 83, pp.1574-1594.
- Lermo, J and F J Chavez-Garcia (1994a), "Are microtremors useful in site response evaluation?", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, pp.1350-1364.
- Lermo, J y and F J Chávez-García (1994b), "Site effect evaluation at Mexico City: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records", *Soild Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.13, pp. 413-423.
- Lermo, J, G Torres, P Almanza, A Vargas, J Cruz y J A Hernández (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.

- Muria, D y A González (1993), “Propiedades dinámicas de edificios de la ciudad de México”, *6tas Jornadas Chilenas de sismología e ingeniería antisísmica, Santiago, Chile*, 1, pp. 585-594.
- 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.
- 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.
- Ponce, L and G Suárez (1985), “Evaluation of seismicity and of the maximum earthquake potential at the Laguna Verde Nuclear Power plant”, *Informe del Instituto de Geofísica, UNAM*.
- Riquer, G, J Lermo, F Williams, G Torres, I Mora, E Morales, R Leyva y E Sánchez (2003a), Informe Técnico Semestral (1/4, 2/4, 3/4) e Informe Técnico Final (4/4) del proyecto “Estudios Sísmicos e Instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación Sísmica en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río)”, entregado a SIGOLFO-CONACYT. Clave: 00-06-007-V.
- Riquer, G, F Williams, J Lermo, G Torres y R Leyva (2003b), “Estudios Sísmicos e Instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación Sísmica en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río)”, *Memorias del VII Simposium Internacional de Estructuras Metálicas del IMCA*, Veracruz, Ver. CD-ROM, Vol. 1.
- Rodríguez, M y J C Aristizábal (1988), “Evaluación de la capacidad destructiva de terremotos”, *Series del Instituto de Ingeniería, UNAM*, número 609, p. 123.
- Singh, S K and M Wyss (1976), “Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973”, *Geofis. Int.* Vol. 16, pp. 165-184.
- Singh, S K, G Suárez and T Domínguez (1985), “The great Oaxaca earthquake of 15 January 1931: Lithosphere normal faulting in the subducted Cocos plate”, *Nature*, Vol. 317, pp. 56-58.
- Singh, S K, J Lermo, T Domínguez, M Ordaz, J M Espinosa, E Mena, and R Quaas (1988), “A study of relative amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to a hill zone site”, *Earthquake Spectra*, Vol. 4, pp. 653-674.
- Suter, M, M Carrillo-Martínez and O Quintero-Legorreta (1996), “Macroseismic study of shallow earthquakes in the central and eastern parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, México”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 86, pp.1952-1963.
- Torres, G (2000), ” Importancia de la Microzonificación sísmica de las principales ciudades del estado de Veracruz”, *Memorias congreso nacional por la prevención de desastres, 1^{er} foro regional del sureste sobre desastres hacia una cultura de la prevención*, Xalapa, Ver.
- Torres, G, J Lermo, G Riquer, F Williams y R Leyva (2002), “Microzonificación Sísmica Preliminar de la Ciudad y Puerto de Veracruz y zona conurbada, Veracruz, México”, *Memorias del Primer Seminario Interuniversitario de Ingeniería Sísmica, Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (GIIS)*, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chis. CD-ROM, Vol. 1.
- Williams, F, G Riquer, R Leyva y G Torres (2003), “Red Acelerográfica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río”, *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, México*.