



ESTUDIOS PARA LA REDUCCION DE DAÑOS POR SISMOS EN LAS CONSTRUCCIONES DEL ESTADO DE VERACRUZ

Francisco Williams Linera¹, Guadalupe Riquer Trujillo¹, Regino Leyva Soberanis¹, Alejandro Vargas Colorado¹, Abigail Zamora Hernández¹, Javier Lermo Samaniego², Felicita Marlene Limaymanta Mendoza²

RESUMEN

Se describen los proyectos de investigación financiados que se vienen desarrollando actualmente en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río–Medellín–Alvarado, (ZCV), en donde a la fecha se han registrado 332 puntos de vibración ambiental aplicando la técnica de Nakamura y se ha determinado el periodo de vibrar del suelo por zonas. Estos estudios también se han iniciado en otras dos ciudades del estado de Veracruz; la finalidad es establecer una propuesta metodológica para la identificación de los tipos de terreno de cimentación para el diseño sísmico en el estado.

ABSTRACT

It describes research projects financed currently being developed in the metropolitan area Veracruz-Boca del Río Medellín-Alvarado, (ZCV), where to date there have been 332 points of environmental vibration by applying the technique of Nakamura and has determined the period of vibrating soil by areas. These studies have also been launched in two other cities in the state of Veracruz; the purpose is to establish a methodology for identifying the types of ground foundation for seismic design in the state.

ANTECEDENTES

Estos estudios han sido financiados por el Sistema Nacional del Golfo de México (SIGOLFO-CONACyT) durante el periodo 2001-2002 a través del proyecto: “Estudios sísmicos e instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz- Boca del Río), dándole continuidad con los proyectos en proceso (2007-2009): “Clasificación del tipo de terreno de cimentación para diseño sísmico” y “Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz” financiados por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz (FOMIX).

INTRODUCCION

La clasificación de los terrenos con fines de diseño sísmico, nace de la necesidad de tomar en cuenta los efectos de sitio en el diseño sísmico de estructuras. En el Estado de Veracruz ante la ausencia de un reglamento de construcciones que considere la respuesta dinámica local de los diferentes tipos de terrenos ante un sismo se recurre frecuentemente al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE 1993 (MDOC-93). En éste, se propone una clasificación del tipo de terreno de cimentación en función del período dominante y la velocidad efectiva de propagación del sitio. El objetivo que se persigue en estos estudios es elaborar mapas en

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, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (01-55) 56233500 ext.1264, jles@pumas.iingen.unam.mx

donde la autoridad responsable de emitir los permisos de construcción tenga un instrumento regulador que le sirva para determinar los parámetros de diseño sísmico que se deban aplicar a las construcciones tomando en cuenta su ubicación geográfica dentro de un determinado municipio para tomar en cuenta los efectos de sitio.

ESTUDIOS REALIZADOS

ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO-MEDELLIN-ALVARADO

Los estudios se dividen en dos etapas de acuerdo al área cubierta en cada una como se muestra en la figura No. 1:

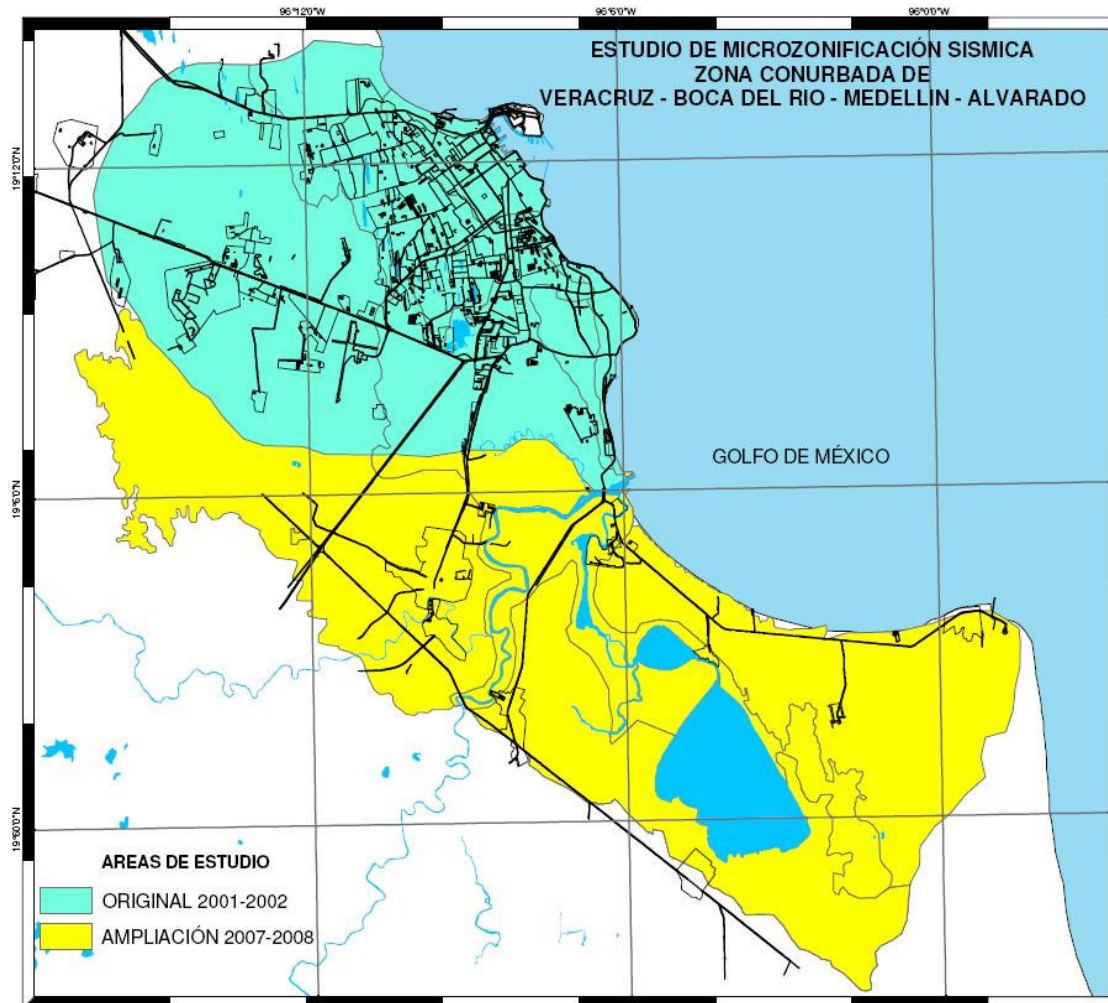
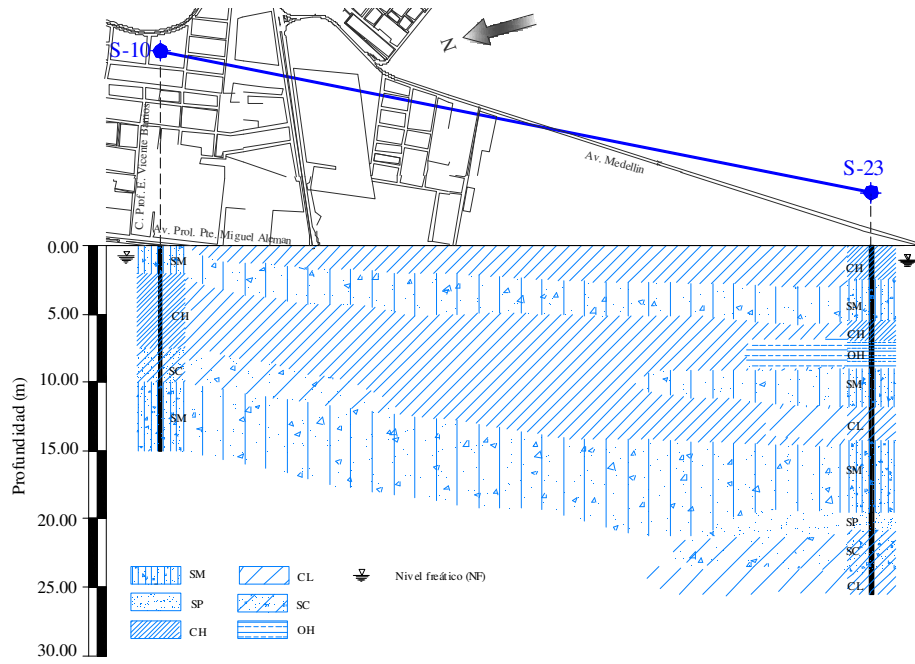


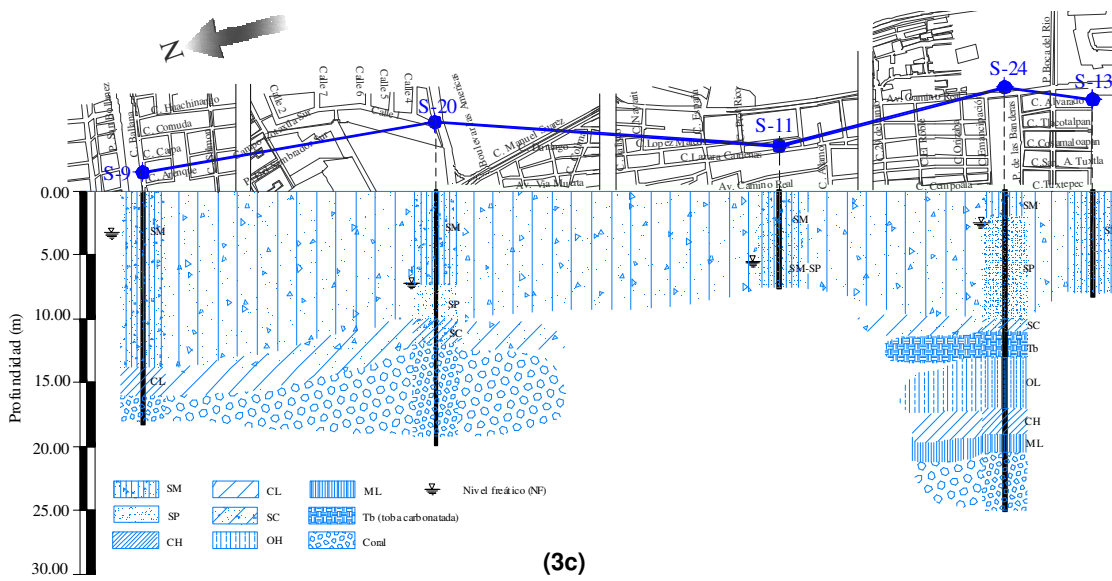
Figura No. 1.- Etapas de estudio en la ZCV

Primera Etapa

La primera etapa comprendió básicamente la ciudad de Veracruz y Boca del Río, los límites se determinaron en base al crecimiento urbano y su proyección futura, basándose 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 notoriamente marcada industrial hacia el suroeste y la habitacional y turística hacia el sureste. Esta etapa se desarrolló durante el periodo 2001-2002; se inició con la puesta en operación de una red acelerográfica, compuesta por dos acelerógrafos GSR-18 marca Refraction Technology, Inc y un Etna



(3b)



(3c)

Figura 3. Perfiles estratigráficos. 3a, eje A-A; 3b, eje B-B y 3c, eje C-C

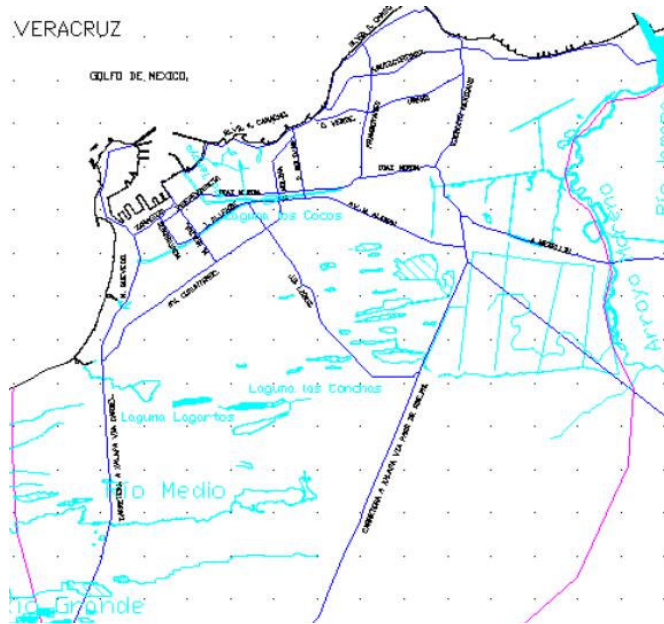


Figura 4. Hidrología de la ZCV

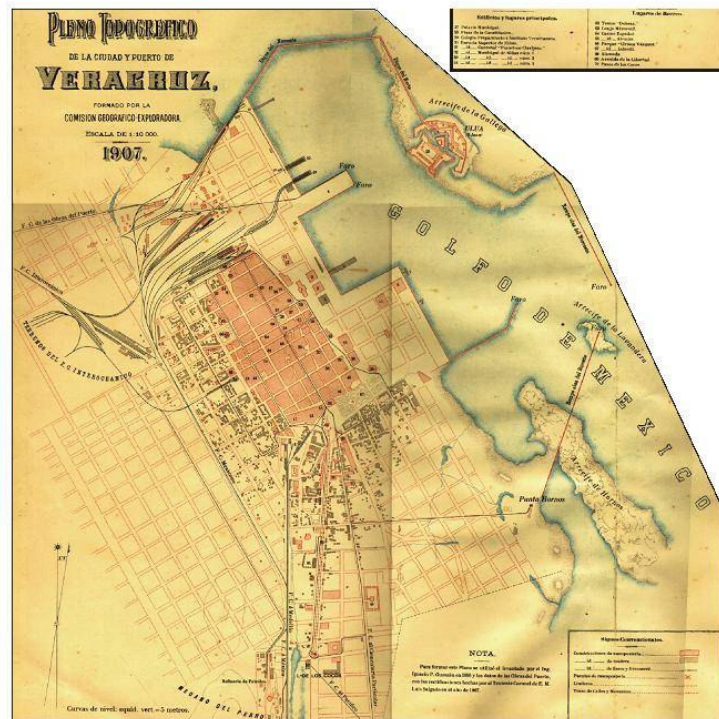


Figura 5. Plano antiguo de la cd. de Veracruz

Se registró vibración ambiental en 176 sitios como se indica en la figura 6. Se les aplicó la técnica de Nakamura y se estimó la frecuencia y periodo dominante del sitio. Posteriormente con registros sísmicos se validaron algunos puntos comparando la técnica estándar con la de Nakamura. A continuación con la información recabada se trazó el mapa de curvas de isoperíodos (figura 7), y se hizo el trazo del mapa de Microzonificación Sísmica (figura 8), donde se delimitaron 2 zonas de peligro sísmico.

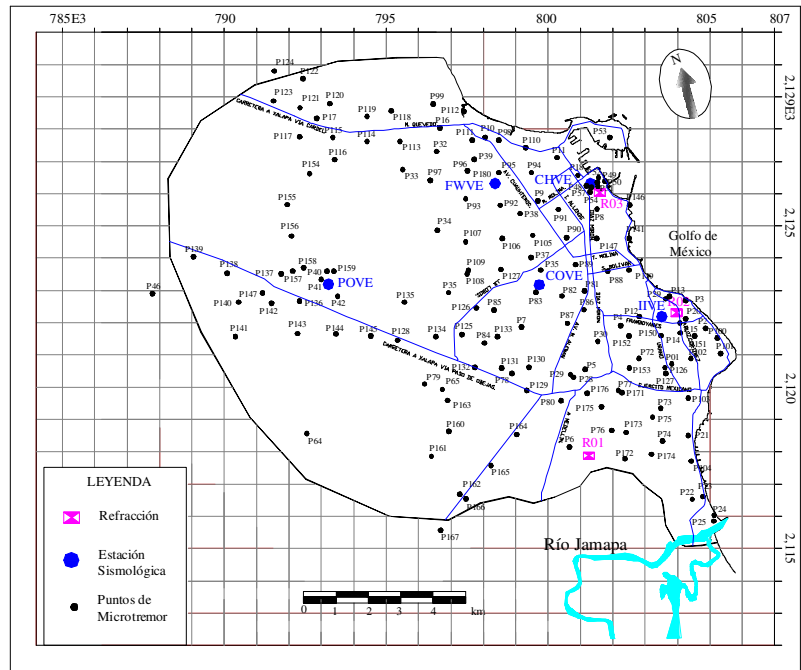


Figura 6. Mapa que muestra la ubicación de los puntos de microtremores, refracciones sísmicas y estaciones acelerográficas

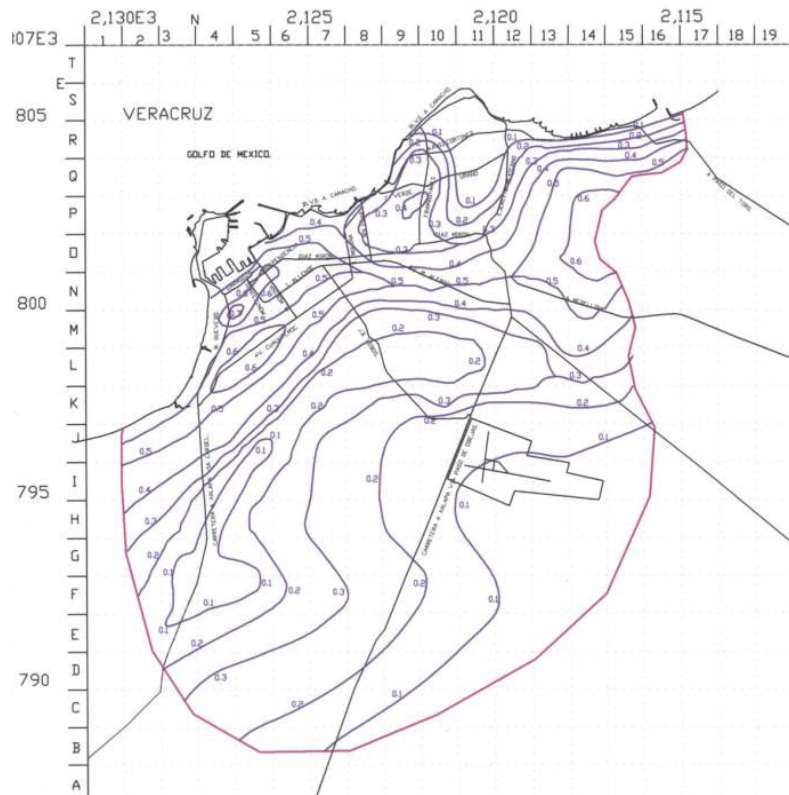


Figura .7 Mapa de Isoperiodos



Zona I

Esta zona presenta periodos dominantes de vibración de entre 0.1 a 0.3 segundos 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. Se debe poner en esta zona especial atención a las construcciones de entre 1 y 3 niveles.

Zona II

Esta zona presenta periodos dominantes de vibración de entre 0.3 a 0.6 segundos 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. Se debe poner especial cuidado en las construcciones de entre 3 y 6 niveles.

En el 2004 se estimaron las velocidades de ondas de corte (SH) de los depósitos a partir de refracción sísmica, realizando tres prospecciones sísmicas distribuidas como se muestra en la figura 6.

En esta etapa se discute la Clasificación del Tipo de Suelo para el Diseño Sísmico de acuerdo a las metodologías propuestas por algunos códigos Nacionales (CFE-93)

y Americanos como The National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP), siempre tomando en cuenta las condiciones locales.

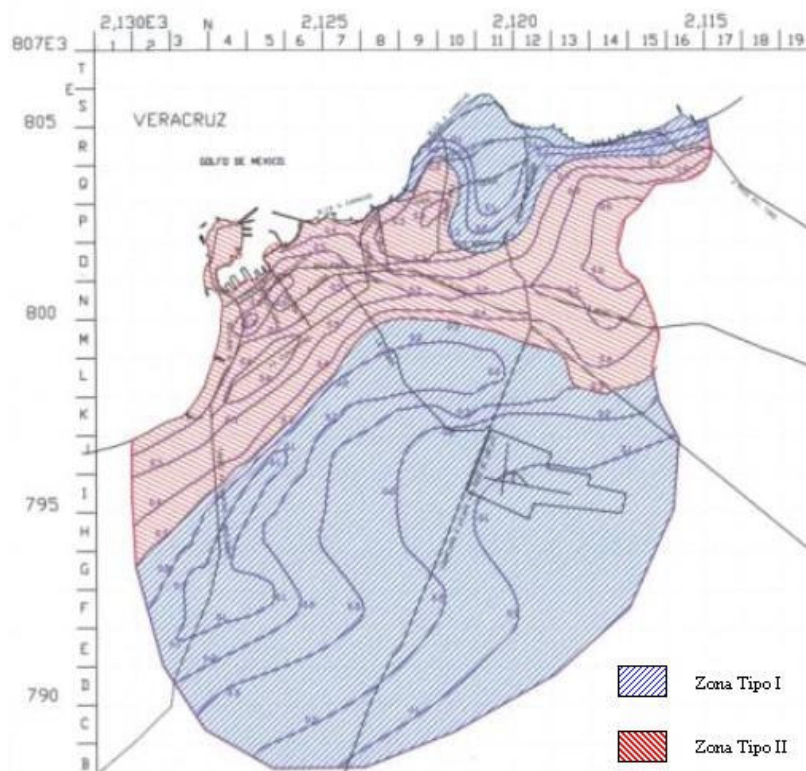


Figura 8. Microzonificación Sísmica de la ZCV.

Segunda Etapa

Esta etapa se inició en 2007 ampliando la zona del estudio original con 156 puntos adicionales (figura 9), tomando en cuenta el desarrollo acelerado que está teniendo la ZCV hacia la zona sureste, especialmente el corredor Boca del Río-El Conchal-Laguna de Mandinga-Antón Lizardo. Igual que en la primera etapa se estimaron frecuencias y periodos dominantes.

CLASIFICACION DE SUELOS

En esta segunda etapa, se analizan los criterios para la clasificación de los suelos para diseño sísmico en la ZCV de: CFE y NEHRP (Lermo et al. 2007). Se ha trabajado en el área estudiada en la primera etapa (Willams et al. 2007, Limaymanta 2008).

1.- Se partió de los mapas de microzonificación sísmica obtenidos en la primera etapa que presentan valores de amplificación relativa y períodos dominantes, y se cuenta con las funciones de transferencia empírica promedio de cada punto (FTEP), figura 10; también se usaron mapas con zonificación geotécnica (figura 2).

2.- Se agruparon las FTEP de acuerdo a su forma espectral (Familias de Formas Espectrales, figura 11) para delimitar zonas.

3.- Partiendo de las velocidades SH de los diferentes estratos obtenidos con refracción sísmica y el perfil estratigráfico (definido con refracción sísmica y perfiles geotécnicos), se aplica el método de Haskell (1962) para obtener un modelo estratigráfico para cada zona. De las cuatro zonas estudiadas, solo en una se alcanzó a definir el modelo hasta los 30 m de profundidad (Tabla 1).

DISCUSIÓN

De acuerdo al criterio de CFE, se requiere alcanzar un estrato con velocidades de propagación $\beta_0 \geq 700$ m/seg, o un módulo de rigidez $G_0 \geq 85000$ ton/m² que indique que se alcanzó el terreno firme para establecer a esas profundidades el modelo estratigráfico y obtener la velocidad efectiva de propagación. Con este criterio, no se establece previamente un límite en la profundidad de estudio. En el modelo estratigráfico de 30 m obtenido, esto no se dio, por lo que de acuerdo a este criterio se necesitaría mayor profundidad.

La norma NEHRP, aplica el parámetro VS_{30} para clasificar los suelos. Este criterio considera que 30 m de profundidad son suficientes para definir el modelo estratigráfico y obtener una clasificación del tipo de terreno.

Ambos criterios presentan algunas dificultades: con CFE es necesario que las pruebas de refracción sísmica alcancen mayor profundidad, ya sea con fuentes que generen mayor energía y otros arreglos, o con la aplicación de otras técnicas. Generalmente los estudios de penetración estándar en la zona solo llegan a 30 m, y la información a mayor profundidad es muy limitada. El criterio de NEHRP permite usar un modelo a 30 m, sin embargo la clasificación del tipo de terreno dada con esta propuesta no se relaciona con espectros de diseño de normas mexicanas.

La discusión está abierta, ya que en estados como el de Puebla se combina los criterios, usando VS_{30} para el tipo de terreno y sus propios espectros de diseño, similares a los de CFE.

Tabla 1. Modelo estratigráfico para la zona IV.

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	(1)
1	4.0	1.5	103.0	0.04
2	5.0	1.6	95.0	0.04
3	5.0	1.2	264.0	0.04
4	4.0	1.7	550.0	0.04
5	12.0	1.9	350.0	0.04
Base	-	2.3	800.0	0.01

Actualmente dentro de las zonas definidas se vienen realizando pruebas de refracción sísmica.

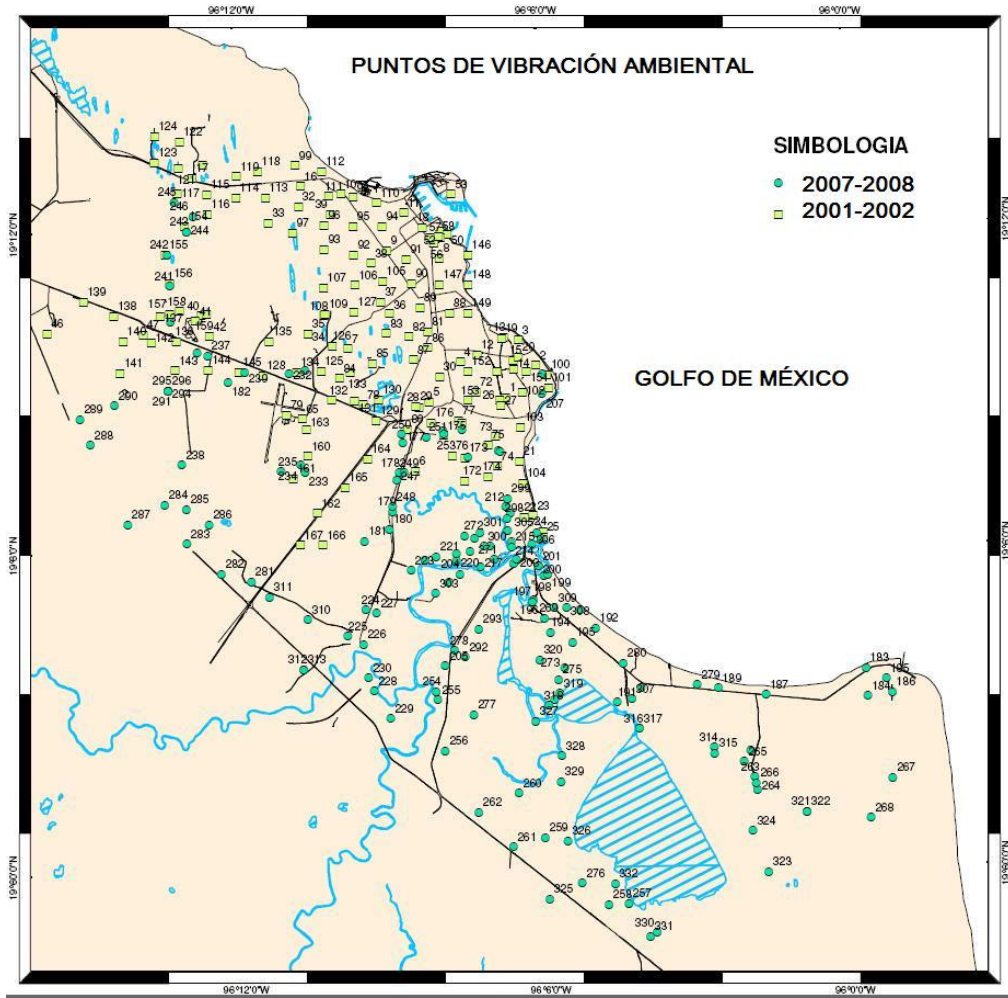


Figura 9.- Puntos de Vibración Ambiental en la 2ª Etapa

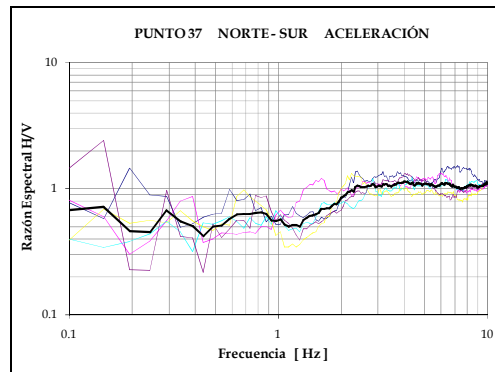


Figura 10. Funcion de transferencia empírica promedio un punto, FTEP
Lineas delgadas: Relaciones espectrales
Linea gruesa: Promedio Espectral (FTEP)

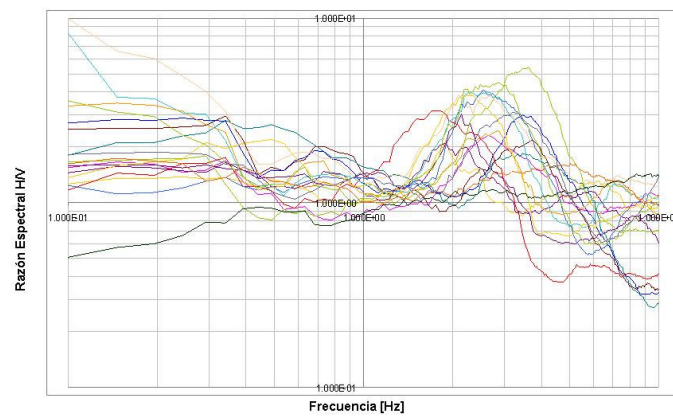


Figura 11. Familias de Formas Espectrales

Se han evaluado los 332 puntos y se han agrupado en cuatro zonas definidas por las formas espectrales (Familias de Formas Espectrales) que se muestran en la figura 12.

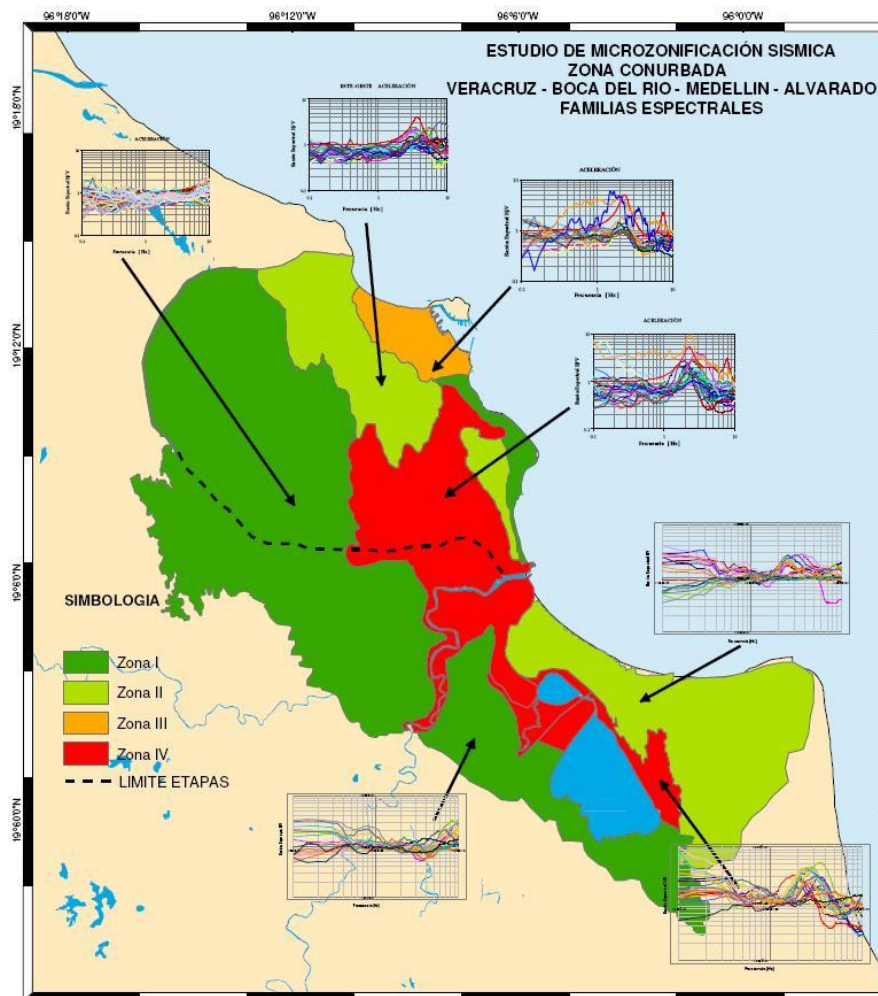


Figura 12. Zonificación de la ZCV



En esta segunda etapa también se han comenzado a estudiar las ciudades de Orizaba y Poza Rica.

ORIZABA

En esta ciudad se ha iniciado con los estudios de vibración ambiental, y se han obtenido en una primera fase los períodos dominantes del terreno, frecuencias y amplitudes (tabla 2) para 21 sitios (figura 13). Se persiguen los mismos fines que en la ZCV, es decir elaborar mapas de microzonificación para la clasificación del tipo de terreno para el diseño sísmico de las construcciones.

Descripción

La zona conurbada de Orizaba (ZCO) se encuentra ubicada en la zona central del Estado de Veracruz, a 1236 msnm. Abarca varias localidades cercanas, entre las cuales se pueden mencionar Ciudad Mendoza, Nogales, Huiloapan, Río Blanco, San Cristóbal, Jalapilla, Ixtaczoquitlán, Cruz Verde, Potrerillo y Palmira. Está localizada a lo largo de 18 Km. de un angosto valle de fisiografía única, ya que mientras en la base es relativamente plano, los cerros que lo circundan se elevan de manera abrupta con pendientes muy pronunciadas. Se tiene que los depósitos que forman el valle, son de origen aluvial del cuaternario, con calizas del Cretácico Superior en sus bordes. Se encuentra regado por tributarios del Río Blanco. Orizaba es una de las ciudades con más ríos en la República Mexicana dada su orografía y su alto índice de precipitación anual. En general, la ZCO se puede decir que está asentada sobre la falla de Zacamboxo, el tipo de roca es caliza y suelo, la caliza pertenece a la era mesozoica y el suelo a la era cenozoica, el período de formación de la caliza es el Cretácico Superior, mientras que los suelos son del Cuaternario Reciente. Se componen, en buena parte de arcilla y arena y casi todas las tierras del valle tienen en su superficie cierta cantidad de terreno detrítico formado de los restos de vegetales mezclados con las rocas que le sirvieron de base. Los cerros próximos a Orizaba, como el del Borrego, los de Rafael Delgado, Cuautlapan y Escamela, son de formación secundaria, encontrando mezcla de piedra de cal, vetas y matas de pedernal.

En la historia sísmica de la ZCO, destacan años infaustos como 1696 donde los sismos asolaron la ciudad dejando la destrucción de varios edificios, entre ellos iglesias y hospitales. En su memoria reciente destaca el sismo del 28 de Agosto de 1973, con $M_s=7.2$ considerado el peor macro sismo que haya afectado a la región, ocasionando el desplome de varios edificios como escuelas, comercios, iglesias, monumentos y numerosas casas, dejando un saldo de 470 muertos y 964 heridos entre Ciudad Serdán, Puebla y la región de Orizaba.

POZA RICA

También en esta ciudad se han iniciado los estudios de vibración ambiental (tabla 3) en una primera fase (figura 14), y aunque la historia sísmica de la región no ha dejado evidencia de una actividad sísmica sombría como en algunas ciudades ubicadas al centro y sur del estado, la región es de interés por los pocos estudios para conocer los efectos sísmicos que de la región se tienen. A esto se suma la casi nula instrumentación para el registro sísmico y un creciente desarrollo urbano relativamente reciente.

Descripción

La ciudad y municipio de Poza Rica de Hidalgo (ZPR) es una de las ciudades más jóvenes del país, se encuentra ubicada al norte del Estado de Veracruz, en la región del Totonacapan, al oriente de la República Mexicana. Es la cuarta ciudad en importancia económica del estado de Veracruz, y el principal núcleo urbano de la zona norte del estado y parte de la sierra del estado de Puebla.

El centro de la ciudad se asienta en un pequeño valle sobre la cuenca del río Cazones, en la llanura costera del Golfo de México, con una altitud promedio de 60 msnm. En este valle se encuentran muchas construcciones a base de mampostería, la gran mayoría son de uno o dos niveles y están destinados al comercio o a casa habitación, también se localizan algunas construcciones de más de tres niveles, llegando incluso a 6. La mayor parte del territorio se asienta sobre suelos irregulares, en su mayor parte lomeríos al noreste de la ciudad, entre los que sobresale el Cerro del Mesón, con una altura máxima de 242 msnm. Sobre estos lomeríos también es muy común encontrar casas de uno o dos niveles construidas a base de mampostería, las pendientes en estas zonas son muy variables, yendo desde suaves (tal vez 15 grados), hasta pendientes de 30 grados o mayores. Cerca de la zona centro se encuentra un cerro conocido como “El cerro del Abuelo”

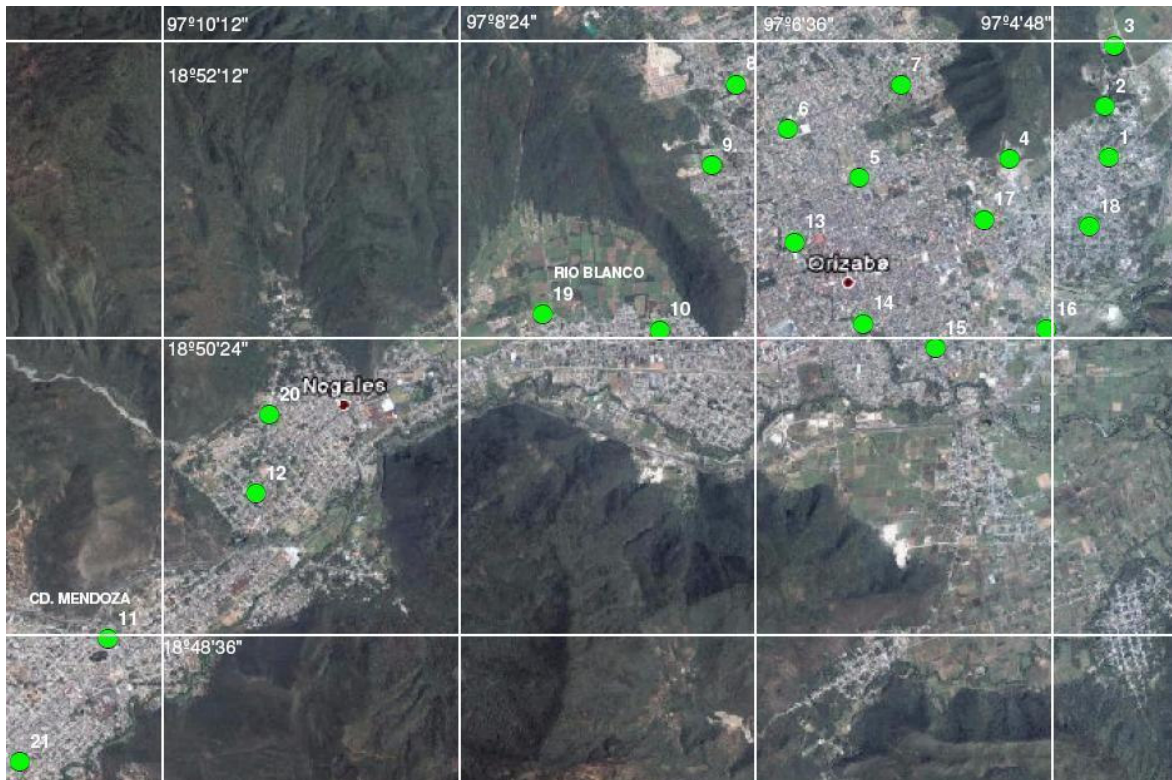


Figura 13. Ubicación de puntos de vibración ambiental en zona conurbada de Orizaba, Ver.

Tabla 2.-Resultados de Vibración Ambiental en Zona conurbada de Orizaba, Ver.

Punto No.	Coordenadas UTM		Amplitud	Frecuencia Hz	Periodo seg
	Long.	Lat.			
1	702879.0	2086254.0	4.0	9.0	0.11
2	702830.0	2086817.0	3.5	3.0	0.33
3	702925.0	2087497.0	4.0	2.5	0.40
4	701824.0	2086219.0			
5	700220.0	2085991.0	2.0	6.0	0.17
6	699457.0	2086528.0	2.0	6.5	0.15
7	700656.0	2087034.0	3.0	3.5	0.29
8	698902.0	2087025.0	2.5	7.5	0.13
9	698649.0	2086119.0	1.5	7.5	0.13
10	698114.0	2084267.0	3.0	1.5	0.67
11	692262.0	2080760.0	0.0	0.0	0.00
12	693826.0	2082400.0	3.0	5.0	0.20
13	699544.0	2085266.0	0.0	0.0	0.00
14	700282.0	2084359.0	1.5	1.5	0.67
15	701057.0	2084095.0	0.0	0.0	0.00
16	702234.0	2084320.0	2.0	1.5	0.67
17	701562.0	2085534.0	1.5	5.5	0.18
18	702678.0	2085476.0			
19	696859.0	2084429.0			
20	693955.0	2083285.0			
21	691335.0	2079370.0	2.5	7.5	0.13



(o parque de las Américas), desde el cual se puede contemplar una buena parte de la conurbación, ya que es el punto más alto de la ciudad, el cual está completamente rodeado de construcciones, que en general son casas habitación y con pendientes mayores a 40 grados. Los suelos preponderantes son del tipo vertisol, con un alto contenido de arcillas expansivas que forman grietas en temporadas de sequía.

Desde sus inicios, el acelerado crecimiento urbano rebasó en extensión la capacidad de los suelos llanos disponibles en la ciudad, expandiéndose la mancha urbana hacia el nororiente del municipio, haciendo uso cada vez más de suelos irregulares y lomeríos que limitan con el municipio de Papantla, habitando las faldas de los cerros que circundan el centro de la ciudad.

HIDROGRAFÍA:

El municipio de Poza Rica está enclavado en la cuenca hidrográfica del río Cazones; este río de 100 km de longitud nace en la región montañosa del estado de Hidalgo y desemboca en el Golfo de México. La ciudad también se encuentra circundada por varios arroyos tributarios del río Cazones como son el Mollejón, Hueleque, Salsipuedes y Arroyo del Maíz, que regularmente se ven afectados por inundaciones en la temporada anual de lluvias.

Tabla 2.- Resultados de Vibración Ambiental en Poza Rica, Ver.

Punto No.	Coordenadas UTM		Amplitud	Frecuencia Hz	Periodo seg
	Long.	Lat.			
1	660505.0	2270959.0	2.5	4.0	0.25
2	663053.0	2275191.0	3.0	5.0	0.20
3	663228.0	2276110.0	2.0	8.0	0.13
4	662972.0	2274195.0			
5	664260.0	2271938.0	3.0	4.0	0.25
6	661562.0	2273413.0	1.5	5.0	0.20
7	658763.0	2273826.0	2.0	5.5	0.18
8	658232.0	2273079.0	0.0	0.0	0.00
9	660012.0	2271753.0	0.0	0.0	0.00
10	660877.0	2270410.0	3.0	3.0	0.33
11	661091.0	2271134.0	2.0	5.5	0.18
12	661112.0	2270923.0	2.0	4.0	0.25
13	662310.0	2269762.0	2.0	4.5	0.22
14	664697.0	2269946.0	2.5	4.0	0.25
15	664316.0	2268712.0	2.0	5.0	0.20
16	662643.0	2268955.0	3.0	3.5	0.29

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 de cumplir para el diseño y construcción de estructuras resistentes a los sismos. Lo anterior disminuiría las posibles pérdidas humanas y materiales que se pueden producir a causa de un sismo.

Para obtener los parámetros para diseño, se deben de 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 necesario la intervención de las autoridades para generar dichos planos para el resto de las construcciones.

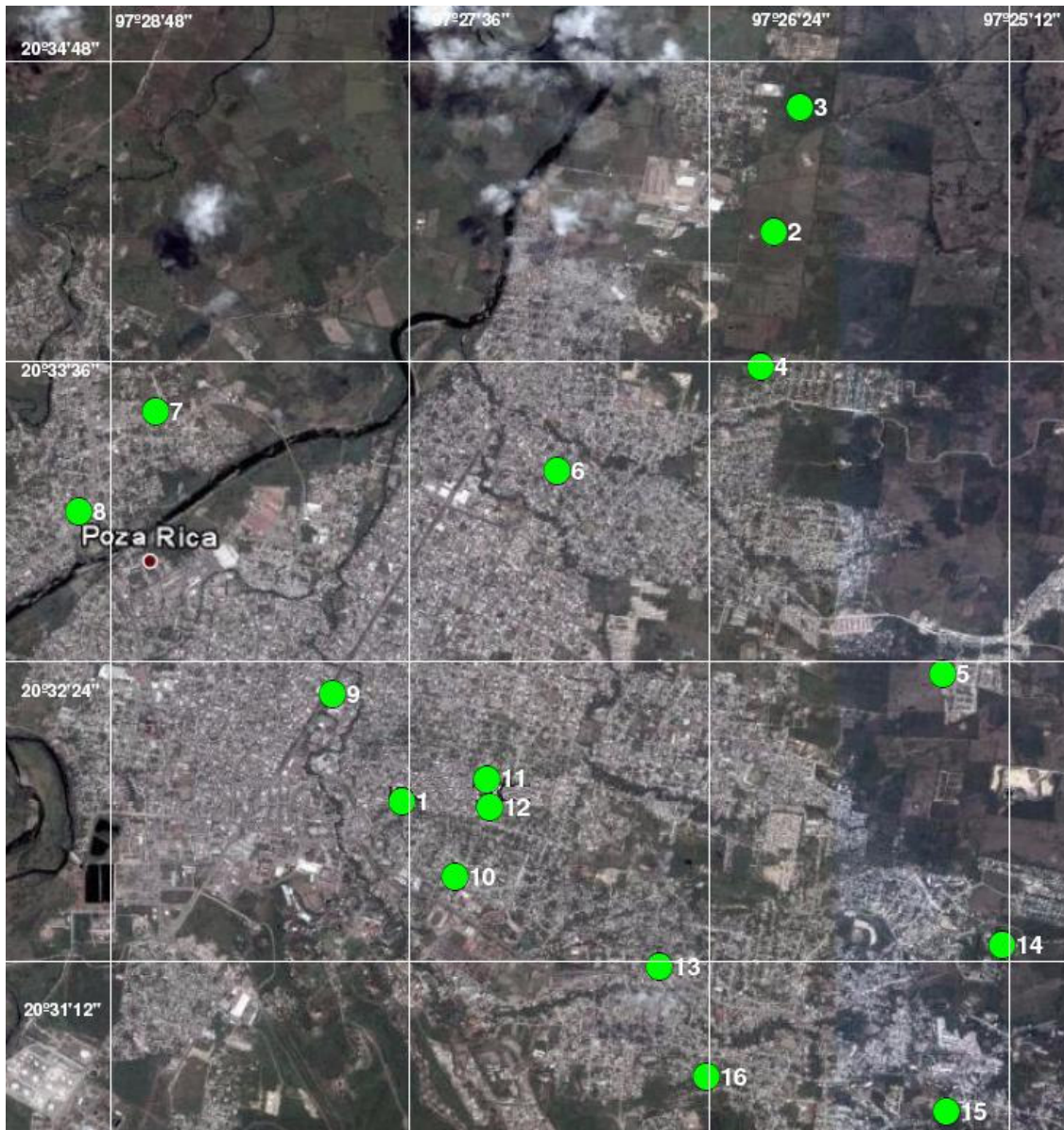


Figura 14. Ubicación de puntos de vibración ambiental en Poza Rica, Ver

RECONOCIMIENTOS

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz, Dr. Oscar Lenz Hernández, Ing. Juan Capallera Cabada e Ing. Mauricio Pérez Hernández y al Ing. Antonio Palacios Guevara por habernos facilitado información geotécnica de la ZCV.

A los alumnos Sara Pérez Torres, Armando Rigoberto Hernández Cuevas, Omar Badillo Ceferino, Andres Ramírez Villalobos, Germain Beltrán Chagala, Jessica Fabián Cruz, José Antonio Palacios Contreras, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana por su apoyo en las diversas actividades relacionadas con estos trabajos.



REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- Lermo J. y Chávez-García F.J. (1993), "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 83, pp.1574-1594.
- Lermo J. y Chávez-García F.J (1994a), "Are microtremors useful in site response evaluation?", Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 84, pp.1350-1364.
- Lermo J. y Chávez-García F.J (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. (1995a), "Efectos de sitio en el Puerto de Veracruz, México, Microzonificación Sísmica Preliminar", Memorias del XX congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., Veracruz, Ver.
- Lermo J. y Limaymanta M., (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", Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.
- Limaymanta M. (2008), "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 en proceso para obtener el grado de Maestría en Ingeniería, Instituto 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.
- 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., Lermo J., Williams F., Torres G., Mora I., Morales E., Leyva R. y Sánchez E. (2003), 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., 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.
- 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.
- Williams F., Limaymanta M., Riquer G., Leyva R. y Lermo J., (2007), "Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV)", Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.