



Reducción del riesgo sísmico en las construcciones del Estado de Veracruz, México.

M.I. Guadalupe Riquer Trujillo

*Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
guadaluperiquer@yahoo.com.mx*

M.I. Francisco Williams Linera

*Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
franciscowilliamslinera@yahoo.com.mx*

M.I. Regino Leyva Soberanis

*Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
reginol@yahoo.com*

Ing. Sara Pérez Torres

*Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
exactas_sara@hotmail.com*

Resumen

Los desastres sísmicos en el Estado de Veracruz aunque dispersos han sido sucesos infaustos que han conmocionado de manera general, pero que afectan especialmente a las zonas más vulnerables, donde predomina la autoconstrucción, con la ausencia de criterios de diseño sísmico o la aplicación de normas de construcción. Un gran número de pérdidas de vidas humanas y económicas han sido relacionadas con el colapso de las construcciones, por lo que un recurso valioso para la prevención lo constituye la elaboración y aplicación de una norma de construcción moderna, que considere la respuesta dinámica de los terrenos de cimentación para el diseño de estructuras sismorresistentes. Reconociendo las insuficiencias de estos recursos formales en el Estado, en este trabajo se presentan las acciones de investigación que se han llevado a efecto para disponer de la información necesaria para identificar el peligro y reducir el riesgo sísmico. Se propone un Mapa de Regionalización Sismotectónica para el Estado de Veracruz y se presentan Mapas de Microzonificación Sísmica, donde se representan los períodos dominantes de puntos de interés en ciudades como Poza Rica, Orizaba, la Zona Conurbada Veracruz - Boca del Río (ZCV), San Andrés Tuxtla, Catemaco, y Coatzacoalcos, usando el registros de microtemores (vibración ambiental) y el registro de sismos. Se hace una propuesta metodológica para la clasificación del tipo de terreno de cimentación en función de Familias de Formas Espectrales (FFE) aplicada y presentada en un Mapa de la ZCV como área de referencia. Estos productos constituyen una información valiosa del problema sísmico, que permite que una población informada proponga alternativas para solucionarlo en lugar de menoscabar el problema.

Palabras clave: Microzonificación sísmica, microtemores, formas espectrales.

Introducción

El desconocimiento del peligro sísmico de una región, frecuentemente ocasiona que las autoridades responsables desatiendan o posterguen las acciones necesarias para mitigar sus efectos, confiados en una larga periodicidad del evento. Es por ello que los sismos siguen sorprendiéndonos con poca o ninguna medida de prevención.

Para comprender mejor el fenómeno sísmico, es necesario entre otras acciones, la instalación del mayor número de estaciones de registro sísmico, que sirvan de apoyo para delimitar las diferentes zonas de riesgo sísmico para las construcciones. Para esto último, es preciso tomar en cuenta las características del suelo para identificar el *efecto de sitio*, como son: la geología, la geotecnia y sus características las geofísicas entre otras.



En la República Mexicana se ha avanzado de manera importante en la instrumentación sísmica, pero este avance no ha sido uniforme en todos los Estados y Veracruz no es la excepción, aunque su historia sísmica revela epicentros cercanos a ciudades con altas concentraciones humanas. Solo por mencionar la época instrumental, destacan por sus efectos los sismos: del 4 de enero de 1920 ($M_s=6.5$) conocido como el temblor de Xalapa, el del 26 de agosto de 1959 ($M_s=7.5$) o temblor de Jáltipan, el del 11 de marzo de 1967 ($M_s=5.6$) o temblor de Veracruz o el del 28 de agosto de 1973 ($M_s=7.3$) o temblor de Orizaba, que colocan a Veracruz junto con Oaxaca y Puebla, en los primeros lugares en pérdidas de vidas humanas en México. No obstante, Veracruz no cuenta con un instrumento regulador que considere las condiciones dinámicas locales de los diferentes tipos de terrenos para el análisis y diseño de las construcciones. Ante esta ausencia y en el mejor de los casos, se acude el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en sus diferentes versiones, que sin embargo aun dejan muchas interrogantes sobre los criterios de aplicación del mismo en la región. También es práctica común “adaptar” al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal según el presupuesto disponible, o arbitrariamente omitir las acciones sísmicas. Como se puede apreciar el problema tiene muchas vertientes que superar, pues no solo son los escasos estudios locales, sino la ausencia de una cultura de la prevención, tanto del orden gubernamental como técnico y social. Este trabajo presenta algunos de los avances de los estudios del peligro y riesgo sísmico en el Estado de Veracruz, los cuales han involucrado diversas fases como: elaborar y analizar un catálogo de sismos históricos pre-instrumentales (1523-1512) y otro catálogo de sismos instrumentales (1910-2008); con estudios adicionales se hizo una propuesta de zonificación sismotectónica para el Estado de Veracruz. Estos estudios a su vez permitieron hacer un plan de instrumentación para el Estado y seleccionar ciudades para los estudios de riesgo sísmico. Se hace un planteamiento metodológico para hacer estudios de microzonificación sísmica de ciudades, agrupando zonas de familias de formas espectrales.

Materiales Y Métodos

CATÁLOGO DE SISMOS HISTÓRICOS PRE-INSTRUMENTALES (1523-1910)

La actividad sísmica puede ser de larga periodicidad, y si nos limitamos solo a los registros instrumentales, corremos el riesgo de omitir la presencia de sismos importantes. El primer sismo en el Estado al que hacen mención los españoles después de la conquista, es el ocurrido en la sierra, posiblemente cerca del Valle de Tehuacán entre los estados de Veracruz y Puebla el 1° de abril de 1523, y es hasta 1910 cuando en el gobierno de Porfirio Díaz se instala la primera estación de registro sísmico instrumental en la ciudad de Veracruz. Por ello se estableció este período para el catálogo pre-instrumental, que contiene 950 sismos “sentidos” en el estado. Se recurrió entre otras a fuentes bibliográficas como “Los sismos en la historia de México”, 1996 de García y Suárez. Esta base de datos contiene fechas de ocurrencia, características del movimiento, lugares de afectación del sismo y la respuesta de la gente entre otros datos de interés (Hernández, A., 2008). Con este catálogo, se propuso un mapa con probables zonas de epicentros de sismos históricos sentidos en el Estado o cerca de él (Fig. 1).

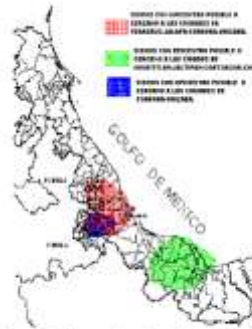


Figura 1.- Zonas de epicentros de sismos históricos “sentidos” en el Estado de Veracruz

CATÁLOGO DE SISMOS INSTRUMENTALES (1910-2008)

Este catálogo considera factores como; la diversidad de los equipos de registro, la permanencia de los mismos y las imprecisiones atribuibles a la distancia de los aparatos de registro, así como las técnicas usadas para la obtención de parámetros sísmicos, entre otros. Se recurrió a catálogos de sismos instrumentales de la República Mexicana elaborados por investigadores y organismos nacionales e internacionales como: el Catálogo de Sismicidad de México, sin publicar, 2008 de F. R. Zúñiga, el del Servicio Sismológico Nacional (SSN) con datos hasta mayo 2008, la red sísmica local de Laguna Verde-CFE, la Red Veracruzana de Instrumentación Sísmica (REVIS) del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) entre otras fuentes. Se estableció una zona de estudio cuyas coordenadas son: Latitud Norte: 17° a 23° y Longitud Oeste: 93° a 99° (Fig. 2).



Fig. 2. - Zona de estudio.

Para el análisis de la sismicidad se empleó el programa ZMAP Versión 6.0, de uso cotidiano en varios observatorios sismológicos mundiales. El mapeo de la información se manejó con un Sistema de Información Geográfico (ArcGIS), y se obtuvieron algunos parámetros asociados a la tasa de sismicidad. Con el ZMAP se hizo el análisis de la homogeneidad y completitud del catálogo instrumental, que realiza mediante un conjunto de subrutinas y despliega gráficos MATLAB. El ZMAP requiere que los parámetros estén en una misma escala y con un formato preestablecido, por lo que se consideraron las magnitudes en M_S y la hora GMT.

Solo se consideraron sismos con epicentros dentro del Estado de Veracruz y una franja exterior a partir de sus límites políticos de aproximadamente 20 Km de ancho, para incluir sismos de importancia con epicentros cercanos, y se incluyen también sismos en parte del Golfo de México. Se consultaron estudios más detallados de eventos importantes, priorizando en ellos las localizaciones y magnitudes. Finalmente el catálogo consta con 3244 eventos (Fig.3).

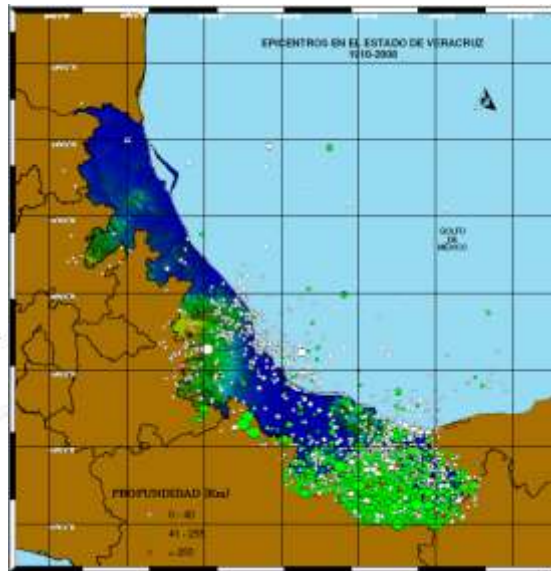


Fig. 3.-Epicentros en el Estado de Veracruz (1910-2008).

Períodos de Reporte Homogéneo

Del análisis del catálogo se observa que la capacidad de detección de la sismicidad regional aumenta a partir de 1959, por lo que el análisis de la sismicidad de la región se realizó para el periodo 1959-2008, donde se tiene un reporte más homogéneo y continuo (Fig.4); se consideran los eventos con magnitudes $M_S \geq 0.1$.

Magnitud de completitud

El catálogo instrumental posee datos confiables a partir de la magnitud de completitud $M_c=2.7$ (Fig. 5). Se observa una desviación en la curva para sismos de magnitud $M_S \geq 6$, sin embargo esto puede ser a falta de un mayor número de registros en un período más largo. La Figura 5 representa la relación de recurrencia, donde M_c es la magnitud de completitud o magnitud mínima de reporte homogéneo durante un período, a partir de la cual los datos pueden representarse por una línea recta cuya pendiente es b . El valor de a es la tasa de sismicidad cuya magnitud describe la ocurrencia promedio de eventos (Reiter, 1990).

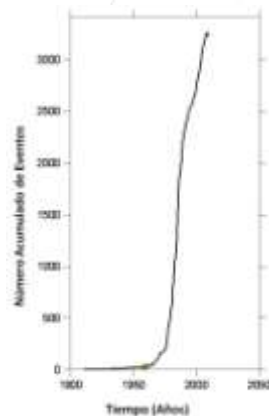


Fig. 4.-Tiempo (Años).

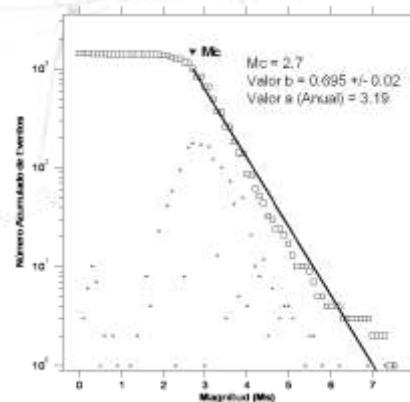


Fig. 5.- Relación de recurrencia

ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Las Figuras 6 a la 9 muestran la distribución de los sismos con diferentes rangos de magnitudes y profundidades, apreciándose una sismicidad de mayor densidad al centro y sur del Estado. Hacia el norte la sismicidad es más dispersa, pero por la escasa o nula densidad de instrumentación en esta región, posiblemente no sea representativa de su real potencial sísmico.

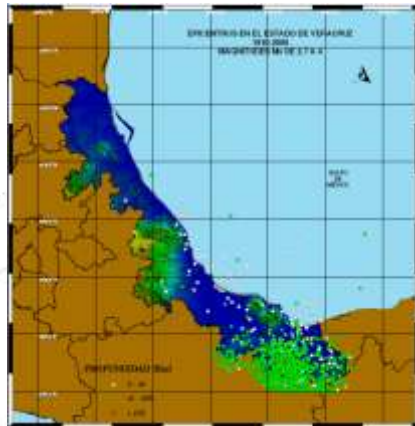


Fig. 6.- Magnitudes de 2.7 a 4

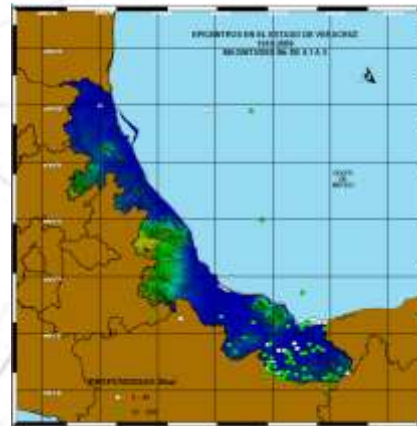


Fig. 7.- Magnitudes de 4.1 a 5

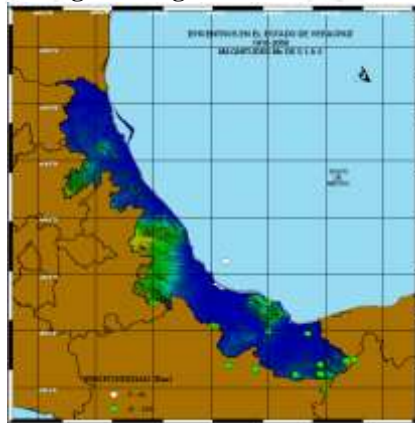


Fig. 8.- Magnitudes de 5.1 a 6

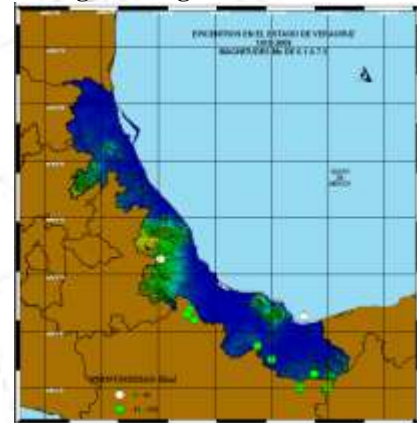


Fig. 9.- Magnitudes de 6.1 a 7.5

FISIOGRAFÍA DEL ESTADO DE VERACRUZ

Para el Estado de Veracruz (Figura 10), las características de su relieve provocadas por tectonismo, lo definen las Provincias Fisiográficas, y se identifican las siguientes:

Llanura Costera del Golfo Norte: Es en general, una superficie plana con suave inclinación, donde la altitud va del nivel del mar a 200m, se originó por levantamientos tectónicos del Cenozoico caracterizados por formas de planicie costera.

Eje Neovolcánico: Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de diversos tipos, acumulada en numerosos y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario y continuaron hasta el presente. Uno de sus rasgos característicos es la franja de volcanes que se extiende de oeste a este. En esta región se encuentran sierras volcánicas, coladas lávicas, conos cineríticos y depósitos de ceniza.



Llanura Costera del Golfo Sur: En ella se presentan grandes depósitos aluviales por parte de los ríos más caudalosos del país que desembocan en el Golfo de México. La mayor parte de su superficie, con excepción de la Discontinuidad Fisiográfica de Los Tuxtlas y algunos lomeríos bajos, está muy próxima a nivel del mar y cubierta por material aluvial, donde predominan materiales arcillo arenosos, asimismo, es común encontrar extensas superficies bajas sujetas a inundación.

Sierra Madre del Sur: Tiene una litología en la que sobresalen rocas intrusivas y metamórficas. En la sierra Zongolica predominan las rocas calcáreas del Cretácico, sin embargo, afloran esquistos asociados con aluviones antiguos. Sus cumbres exceden los 2000 msnm

Sierra Madre Oriental: Se encuentra en forma más o menos paralela a la costa del Golfo de México. Se inicia en el sur de Texas y termina en el Cofre de Perote, punto de contacto con la Cordillera Neovolcánica. Es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados, de rocas sedimentarias del Cretácico y Jurásico Superior, donde predominan las calizas, areniscas y lutitas.

Sierra de Chiapas y Guatemala: Esta formada por sierras constituidas de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, principalmente calizas. Son sierras plegadas con los ejes estructurales orientados este-oeste y afectadas por fallas.



Figura 10.- Fisiografía del estado de Veracruz

PROPUESTA DE REGIONES SISMOTECTÓNICAS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Basados en el análisis de los catálogos histórico e instrumental y la fisiografía del Estado, se hizo una división de las regiones sismotectónicas del Estado de Veracruz, tomando consideraciones como: el análisis de localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento (Leyva et. al, 2009), las características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región y se identificaron aquellos eventos cuyas afectaciones a la población resultaron los más nocivos en cada región para analizarlos especialmente. Una referencia relevante como punto de partida lo constituyó el trabajo realizado por R. Zúñiga, et. al. "Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe", 1997, de donde se tomó la nomenclatura para la elaboración de esta propuesta, con la cual se divide al Estado de Veracruz como se muestra en la Figura 11, y sus características son:



Figura 11.- Regiones Sismotectónicas

Región MVB

Se caracteriza por los volcanes que en su área se extienden. La mayoría de los eventos que ocurren en esta zona son de poca profundidad ($h < 40$ km) y baja magnitud ($M_s < 4$). Estos sismos someros son eventos intraplaca, y se relacionan con la placa Norteamericana (NOAM) y esfuerzos tensionales relacionados con el Cinturón Volcánico Mexicano. Posiblemente active el mecanismo de fallamiento inverso el balance entre los esfuerzos, producidos por la alta topografía del cinturón volcánico y los inducidos por la interacción de placas. El sismo característico en esta zona es de poca profundidad ($h = 24$ Km), pero con un gran potencial destructivo como el del 4 de enero de 1920 ($M_s = 6.4$).

Región MVB1

Al igual que la anterior se caracteriza por su alta topografía y actividad volcánica, aunque rodeado de una fisiografía diferente. La mayor actividad sísmica es de poca profundidad ($h < 40$ km) y magnitud ($M_s < 4$), probablemente asociados a la actividad sísmica reciente del volcán San Martín Tuxtla.

Región NAM

Es una zona con una mayoría de eventos intraplaca (NOAM) someros ($h < 40$ km) y magnitud $M_s < 4$. Para esta región destaca el sismo del 26 de agosto de 1959, con una profundidad superficial (20 km) y magnitud de $M_w = 6.4$, conocida como el temblor de Jáltipan, así como por dos sismos de fallamiento inverso reportados en un análisis de los mecanismos focales.

Región IN2

Esta región comprende la sección profunda de la zona de subducción y corresponde a la extensión de la zona SUB2 (Zúñiga et al., "Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe", 1997). Los sismos que ocurren en esta zona muestran fundamentalmente mecanismos focales de falla normal, con sus ejes de máxima tensión en la dirección paralela al echado de la placa subducida. La mayoría de los eventos son de mediana profundidad (40 y 200 km) y en este siglo han ocurrido eventos con magnitud $M_s > 7$. Como un evento importante destaca el del 28 de agosto de 1973, con una $M_s = 7.3$ y profundidad $h = 82$ km, conocido como el temblor de Orizaba por los daños en esa ciudad.



Región IN3

Esta región corresponde a la extensión a profundidad de la zona SUB4 (Zúñiga et al., “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe”, 1997). Comprende sismos, principalmente del tipo de fallamiento normal, de profundidad intermedia a profunda dentro de la placa de subducción. La densidad de sismicidad umbral es mucho mayor que en la vecina zona IN2. Zona cercana a la de transición de la subducción de Cocos por debajo de NOAM, a subducción bajo la placa del Caribe. En el Estado destaca el sismo del 11 de agosto de 1948, con una profundidad $h=100$ km, y $M_s=6.7$.

Región GMX

Es una región con eventos intraplaca someros, aunque con una sismicidad registrada escasa no deja de ser importante por su cercanía a ciudades densamente pobladas, así como de gran peligro para plataformas marinas. Por su magnitud ($M_s=7.5$) y ubicación, vale la pena mencionar los sismo del 26 de agosto de 1959 con una profundidad $h=20$ km cerca de Coatzacoalcos y el del 11 de marzo de 1967 con una profundidad $h=24$ km y magnitud $M_s=5.6$, frente a la ciudad y puerto de Veracruz. Del análisis de los mecanismos focales, destaca el sismo del 23 de mayo del 2007 (prof = 24 km, $M_s = 5.4$) ubicado en el Golfo de México, que presenta un fallamiento de transcurrencia pura.

Región NAL

Es una zona de baja actividad sísmica detectada por la red nacional, con eventos solamente localizables por redes de cobertura local. El sismo máximo registrado es de $M_s=4.6$ el 25 de Noviembre de 1966, con profundidad indefinida.

PLAN DE INSTRUMENTACIÓN

Se articularon los instrumentos disponibles antes descritos, así como aspectos de seguridad acceso y servicios y se ubicaron geográficamente las redes y estaciones de registro sísmico existentes en Veracruz y los Estados colindantes, con ello, se procedió a seleccionar los sitios para la ubicación de estaciones de registro sísmico que le proporcionen una cobertura más eficiente al Estado. En la figura 12, se presenta la propuesta de instrumentación, complementada con las Tablas 1 a 4.



Figura 12.- Propuesta de Instrumentación

Tabla 1.- Propuesta de Instrumentación

No.	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		LONG	LAT
1	CHINANTLA	-94.46	17.26
2	JESUS CARRANZA	-95.02	17.43
3	PLAYA VICENTE	-95.81	17.82
4	TEZONAPA	-96.68	18.60
5	HUAYACOCOTLA	-98.48	20.53
6	PANUCO	-98.18	22.04
7	ALTO UXPANAPA	-94.10	17.56
8	NARANJOS	-97.69	21.35
9	COSAMALOAPAN	-95.80	18.36
10	POZA RICA	-97.46	20.53
11	ISLA DE ENMEDIO	-95.93	19.10

Tabla 2.- Estaciones existentes

No.	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
			LONG	LAT
1	RSM - UNAM	ORIZABA	-97.09	18.86
2	RSM - UNAM	XALAPA	-96.90	19.53
3	RSM - UNAM	SOLEDAD DE DOBLADO	-96.41	19.04
4	RSM - UNAM	MINATITLAN	-94.54	17.99
5	SSN	COATZACOALCOS	-94.22	18.03

Tabla 3.- Redes dentro del Estado

No.	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
			LONG	LAT
1	REVIS - UV	VERACRUZ	-96.20	19.17
2	CFE	HUMEROS	-97.45	19.72
3	CCTUV	SAN MARTIN	-95.20	18.55
4	CENAPRED	PICO DE ORIZABA	-97.26	19.00
5	CCTUV	XALAPA	-96.98	19.47

Tabla 4.- Estaciones Sismológicas en Estados vecinos

No.	INSTITUCIÓN	COORDENADAS	
		LONG	LAT
1	RSM-UNAM	-97.44	18.98
2	RSM-UNAM	-97.38	18.47
3	RSM-UNAM	-92.93	17.98
4	RSM-UNAM	-93.08	16.77
5	CFE	-97.06	18.14
6	ITO	-96.37	18.22
7	ITO	-97.07	18.12
8	II-UNAM	-95.36	17.33
9	II-UNAM	-94.86	17.08
10	SASO	-96.26	18.00
11	SASO	-96.40	18.21



En la ZCV se instaló y conserva en operación una Red de Registro Sísmico, compuesta por 2 acelerógrafos GSR-18 mca. Refraction Technology, Inc., 2 acelerógrafos Etna mca. Kinemetric y 1 sismómetro mca. Guralp. Se ubicó una estación como de referencia en un lugar sin efecto de sitio, y las otras estaciones se tienen como temporales, reubicándolas periódicamente a sitios donde la respuesta dinámica del suelo es de interés. En la ciudad de Coatzacoalcos se colocó otro sismómetro Guralp en una estación temporal.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Se hace una propuesta metodológica para obtener las propiedades dinámicas de los suelos en ciudades importantes para elaborar el modelo estratigráfico que permita clasificar los terrenos para el diseño sísmico de construcciones sismorresistentes. Se presenta su aplicación en la ZCV y los avances en Poza Rica, Orizaba, San Andrés Tuxtla, Catemaco y Coatzacoalcos (Figura 13).



- 1.- Poza Rica
- 2.- Orizaba
- 3.- Veracruz-Boca del Río
- 4.- San Andrés Tuxtla
- 5.- Catemaco
- 6.- Coatzacoalcos

Figura 13. Ubicación de ciudades.

Metodología:

Delimitación del área.- Analizar la historia sísmica de la zona, su crecimiento urbano y su proyección a futuro para delimitar el área.

Información geológica, geotécnica, geofísica e hidrológica.- Examinar la información geológica, geotécnica y geofísica para zonificar la región y hacer perfiles estratigráficos, que se puedan relacionar con estudios complementarios de prospección sísmica. Localizar ríos, lagos, lagunas y espejos de aguas existentes, así como aquellos que con el tiempo quedaron dentro de la mancha urbana, ya que en otras ciudades han presentado importantes *efectos de sitio*.

Funciones de transferencia teóricas (FTT).- Con los registros de sismos locales y regionales, obtener las FTT, usando los métodos estándar (SSR) cuando se dispone de una estación de referencia (sin *efecto de sitio*) y comparar con la técnica de Nakamura (HSVR). Con ellas, obtener el período dominante y la amplificación relativa en el sitio.

Funciones de transferencia empíricas (FTE).- Obtener con vibración ambiental el mayor número de registros, distribuidos en una cuadrícula más o menos uniforme en la zona. Usar la

técnica de Nakamura (HVNR), para obtener las FTE, de donde se estima la frecuencia y período dominante de cada sitio (Figuras 14).

Microzonificación por familias de formas espectrales de las FTE.- Se agrupan las FTE de acuerdo a sus formas espectrales, delimitando zonas de familias de formas espectrales (Figura 15).

Resultados Y Discusión

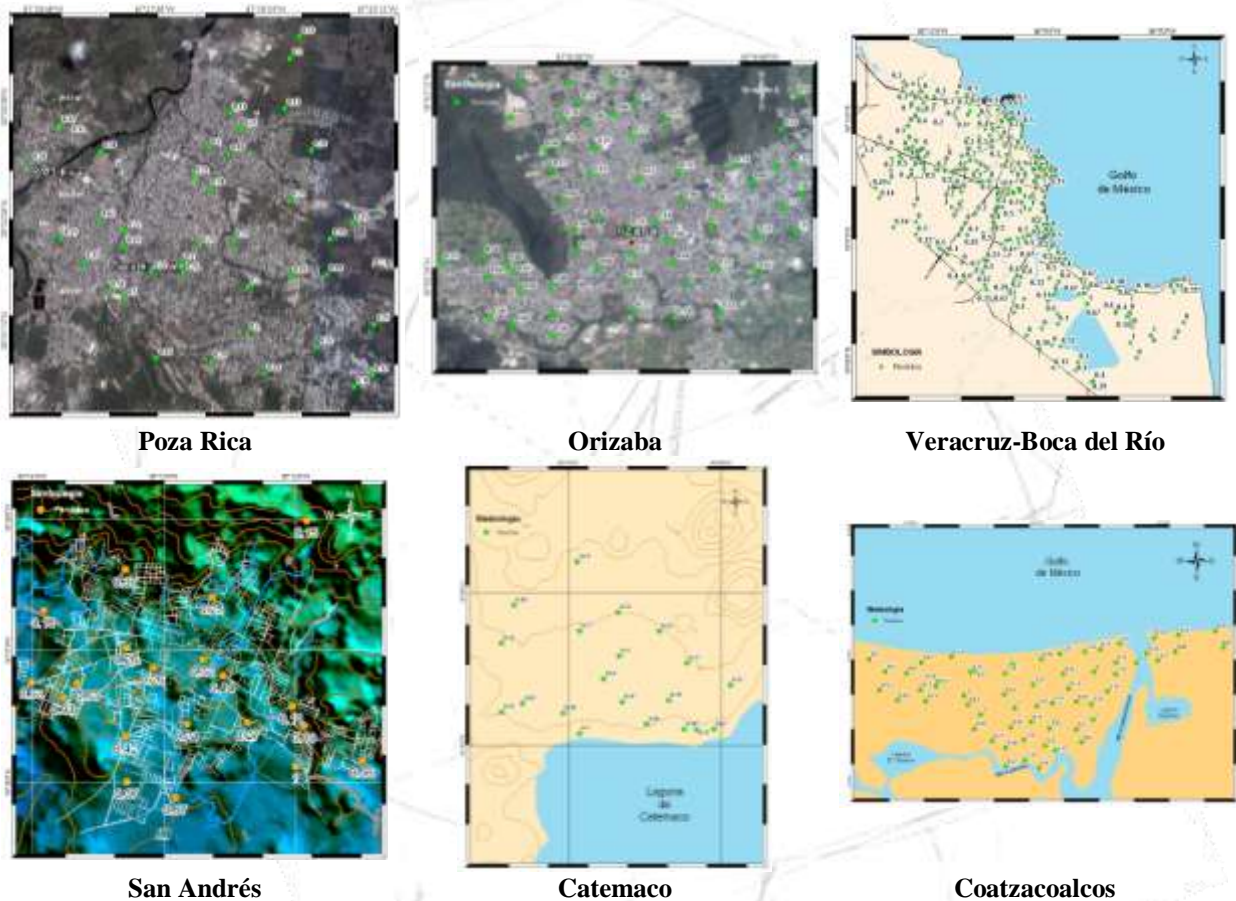


Figura 14. Mapas de periodos dominantes

Los períodos dominantes y la microzonificación de la ZCV, son correspondientes con las características geotécnicas observadas y en algunos sitios han podido ser corroboradas con sismos registrados.

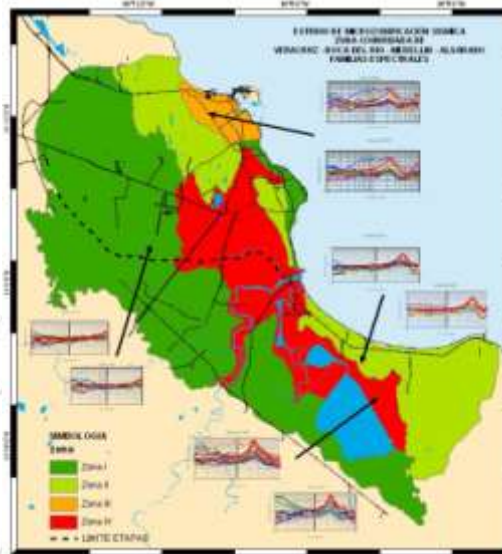


Figura 15. Delimitación del área y microzonificación dinámica de la ZCV.

Conclusiones

Es necesario mejorar la instrumentación sísmica en el Estado, para ser más precisos en los estudios de peligro sísmico. Microzonificar ciudades con la metodología propuesta y con estudios complementarios, facilitará elaborar modelos estratigráficos unidimensionales (MEU) para cada zona identificada. Esta información es necesaria para crear los espectros de diseño sísmico de estructuras sismorresistentes, principalmente de construcciones donde la inversión necesaria para hacer estos estudios impacte de manera importante en su costo.

Trabajos Futuros

Se trabaja en la ampliación de la Red de Registro Sísmico y se mejora la densidad de puntos de registro de vibración ambiental en las ciudades señaladas. En la ZCV se harán mayor número de estudios de prospección sísmica en cada zona identificada por familias espectrales para complementar los estudios existentes, y contar con los elementos necesarios para elaborar los MEU representativos.

Referencias

- 1 Barrier, E., Velasquillo, L., Chavez, M., Gaulon, R. (1998), "Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern México)", *Tectonophysics* 287, págs. 77-96.
- 2 Bravo, H., Rebollar, C., Uribe, A., Pérez, M.E., López, P., Jiménez, O. (2003), "Estructura de la corteza y geometría de la zona de Wadati-Benioff en la zona del Istmo de Tehuantepec", XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León Guanajuato, México.
- 3 Castro, R., Nava, E. (1986), "Análisis de la actividad sísmica local en la zona de Laguna Verde, Ver., durante 1985". Instituto de Ingeniería, UNAM.



4 De la Orta S., Aguilar F. (1989), “Estudio de riesgo sísmico para la determinación de espectros de diseño sísmico para las zonas petroleras de Coatzacoalcos, Ver. y Salinas Cruz, Oax”, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., México, Volumen I, Págs A-14 a A-32.

5 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.

6 García, V., Suárez, G. (1996), “Los sismos en la historia de México, tomo I”. Ediciones Científicas Universitarias de la UNAM y el Fondo de Cultura Económica. ISBN 968-16-4874-9. México, D.F.

7 Hernández, A. (2008), “Catálogo de sismos históricos para el estado de Veracruz (1523-1912” . Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz-Boca del Río, Universidad Veracruzana.

8 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.

9 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.

10 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.

11 Lermo,J.,Limaymanta,F. (2007), “Uso de las funciones de transferencia empiricas (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.

12 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.

13 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.

14 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.



15 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.

16 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.

17 Pérez, S., Riquer, G., Williams,F., Leyva,R. (2009), “Catálogo sísmico instrumental del Estado de Veracruz (1910-2008)”, Tercer congreso internacional de ciencias, tecnología, artes y humanidades, Coatzacoalcos, Ver., México.

18 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.

19 Ponce, L., Gaulon, R., Suarez, G., Lomas, E. (1992), “Geometry and state of stress of the downgoing Cocos Plate in the Isthmus of Tehuantepec, México” ,Geophysical Research Letter, Vol. No. 8, Págs. 773-776, April 24 1992.

20 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.

21 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

22 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 Sismica. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

23 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.

24 Zúñiga,R., Suárez, G.,Ordaz, M.,García-Acosta,V. (1997), “Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe” , Reporte final, Capitulo 2, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, Canadá.

25 Zúñiga, F. (2008), “Catálogo de la sismicidad de México” , sin publicar.



Agradecimientos

Estos estudios han sido financiados en sus diferentes etapas por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, el Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología (CONACYT), el Gobierno del Estado de Veracruz Llave y los valiosos apoyos informativos de la iniciativa privada a través de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción y los Colegios de Ingenieros Civiles y Arquitectos, así como la colaboración de Protección Civil del Gobierno del Estado de Veracruz. Se agradece de manera especial al M.C. Javier Lermo Samaniego del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por su asesoría en los trabajos, y a la M.C. Iris Neri Flores por sus comentarios.

Acerca De los Autores

Los M.I. Riquer, Williams y Leyva estudiaron la licenciatura en Ingeniería Civil y la Maestría en Ingeniería de Estructuras en la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (IIUV), México respectivamente. Actualmente son Investigadores del IIUV, donde han participado y/o dirigido varios proyectos de investigación financiados por CONACYT y el Gobierno del Estado de Veracruz Llave, enfocados al fenómeno sísmico y sus efectos en las construcciones. Se desempeñan también en su práctica privada como Ingenieros Consultores. La Ing. Pérez estudió la licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad Veracruzana y actualmente se desempeña como asistente de investigación en el IIUV.

Autorización Y Renuncia

Los autores del presente artículo autorizan a la Universidad Veracruzana (UV) para publicar el escrito en el libro electrónico del X Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras y V Congreso de La Asociación Mexicana de Arquitectas y Urbanistas. La UV o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.