



ESPECTROS DE DISEÑO SÍSMICO PARA LAS CONSTRUCCIONES DEL ESTADO DE VERACRUZ DE ACUERDO A CFE-2008

**Francisco Williams Linera¹, Guadalupe Riquer Trujillo¹, Regino Leyva Soberanis¹,
Javier Lermo Samaniego², Sara Pérez Torres¹, Roberto Rivera Baizabal¹**

RESUMEN

Se describen los estudios realizados para la microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), México y los criterios utilizados para definir un perfil sísmico representativo para cada una de las zonas determinadas. A partir de estos perfiles y utilizando el programa PRODISIS V2.0 del Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo, de la Comisión Federal de Electricidad versión 2008, se determinan los espectros para diseño sísmico y se comparan con los espectros de diseño de la versión de 1993 del mismo manual.

ABSTRACT

We describe the studies undertaken by the seismic micro-zoning suburbs Veracruz-Boca del Río, Mexico and the criteria used to define a representative seismic profile for each of the areas identified. From these profiles and using the computer program included PRODISIS V2.0 Earthquake Design Manual for the Federal Electricity Commission 2008 version, we determine the spectra for seismic design and compared with the spectra of Design of the 1993 version of the manual before cited.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Veracruz, como en muchos otros estados de la República Mexicana, las construcciones de baja altura aventajan en número a los edificios altos. En las primeras, el costo de los estudios para la obtención de los parámetros empleados para la determinación del espectro de diseño sísmico representa un alto porcentaje con respecto al costo de las construcciones. Es por ello que los estudios que más comúnmente se realizan solo se enfocan a la determinación de la capacidad de carga del terreno ante cargas estáticas y se asume por “intuición”, un espectro de diseño de acuerdo a las características geotécnicas del sitio, relacionándolas al tipo de terreno descrito en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad de 1993 (CFE-93).

Por lo antes expuesto y con la finalidad de que las autoridades responsables de emitir los permisos de construcción dispongan de la información técnica necesaria para establecer los requisitos mínimos a cumplir para el diseño sísmico, se realizaron estudios de microzonificación sísmica. En este trabajo se presenta la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV) como área de referencia; estos estudios están encausados principalmente a construcciones de baja altura. Se ha podido identificar la respuesta dinámica de los suelos en diferentes lugares de la ZCV, delimitando cuatro zonas. Para cada una de estas zonas se obtuvieron los parámetros necesarios para definir el espectro de diseño sísmico de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad versión 2008 (CFE-08). Estas zonas se presentan en mapas

¹ Instituto de Ingeniería y Facultad de Ingeniería, Región Veracruz, Universidad de 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. 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. (55) 56233500 ext.1264, jles@pumas.iingen.unam.mx

digitales indicando para cada una de ellas su espectro de diseño sísmico. Se pretende que a futuro, esta información forme parte de un reglamento de construcción para el estado de Veracruz, donde se recomienden a su vez estudios específicos en el lugar de desplante para construcciones que así lo ameriten.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

DELIMITACIÓN DEL ÁREA

Los límites para el área en estudio de la ZCV fueron definidos después de un análisis del crecimiento urbano y su proyección futura, basados en las cartas de la Dirección General de Ordenamiento Urbano y Regional de la Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Veracruz, donde se observa una expansión industrial notoriamente marcada hacia el suroeste, y hacia el sur un gran crecimiento habitacional y turístico (Figura 5). No se descuidaron los antecedentes sísmicos de la zona, recurriendo a planos antiguos de la ciudad y se identificaron sitios donde se reportaron daños en las construcciones por el efecto de sismos históricos.

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA CON REGISTROS DE SISMOS (SSR, HVSR)

Se instaló y conserva en operación (2000–2010) una Red Acelerográfica, compuesta por 2 acelerógrafos GSR-18 marca Refraction Technology, Inc., 2 acelerógrafos Etna marca Kinematics y 2 sismómetros de banda ancha marca Guralp. Se considera la estación POVE (Figura 1) con un equipo Guralp como estación de referencia, y las otras como temporales, reubicándolas periódicamente a sitios donde la respuesta dinámica del suelo es de interés. Con los sismos locales y regionales registrados se obtuvieron las FTT usando los métodos estándar (SSR) y de Nakamura (HVSR), con lo que se conoce la amplificación real del movimiento de los diferentes terrenos.

INFORMACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA

Para la información geológica y geotécnica de la ZCV (Figura 2) se consultaron los trabajos de Esquivel et al. (1976) y Paéz Andrade (2001), que dividen a la ciudad en cinco formaciones geológicas-geotécnicas. También se recopilaron 24 estudios geotécnicos, con un total de 40 sondeos de exploración con muestreo alterado combinado con pruebas de penetración estándar (SPT), con los que se conoce la resistencia al cortante mediante el número de golpes del SPT, así como la clasificación del tipo de suelo encontrado. Con ellos se elaboraron perfiles estratigráficos (Figura 3).

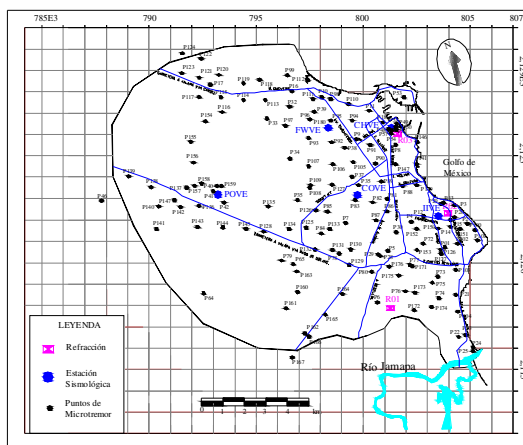


Figura 1. Ubicación de algunos puntos de microtremores, refracciones sísmicas y estaciones acelerográficas

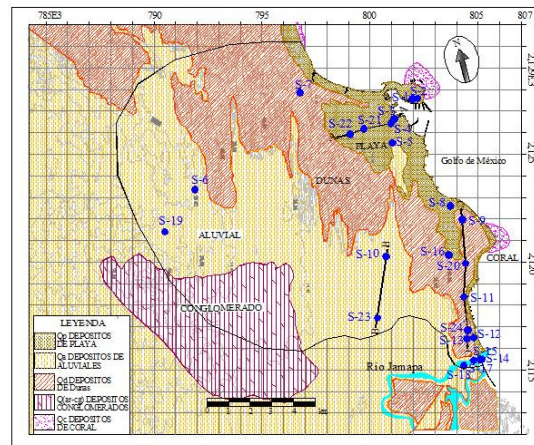


Figura 2. Geología-Geotécnica de la ZCV. S, localización de sondeos geotécnicos (SPT) y ejes de los perfiles estratigráficos (A-A, B-B y C-C)

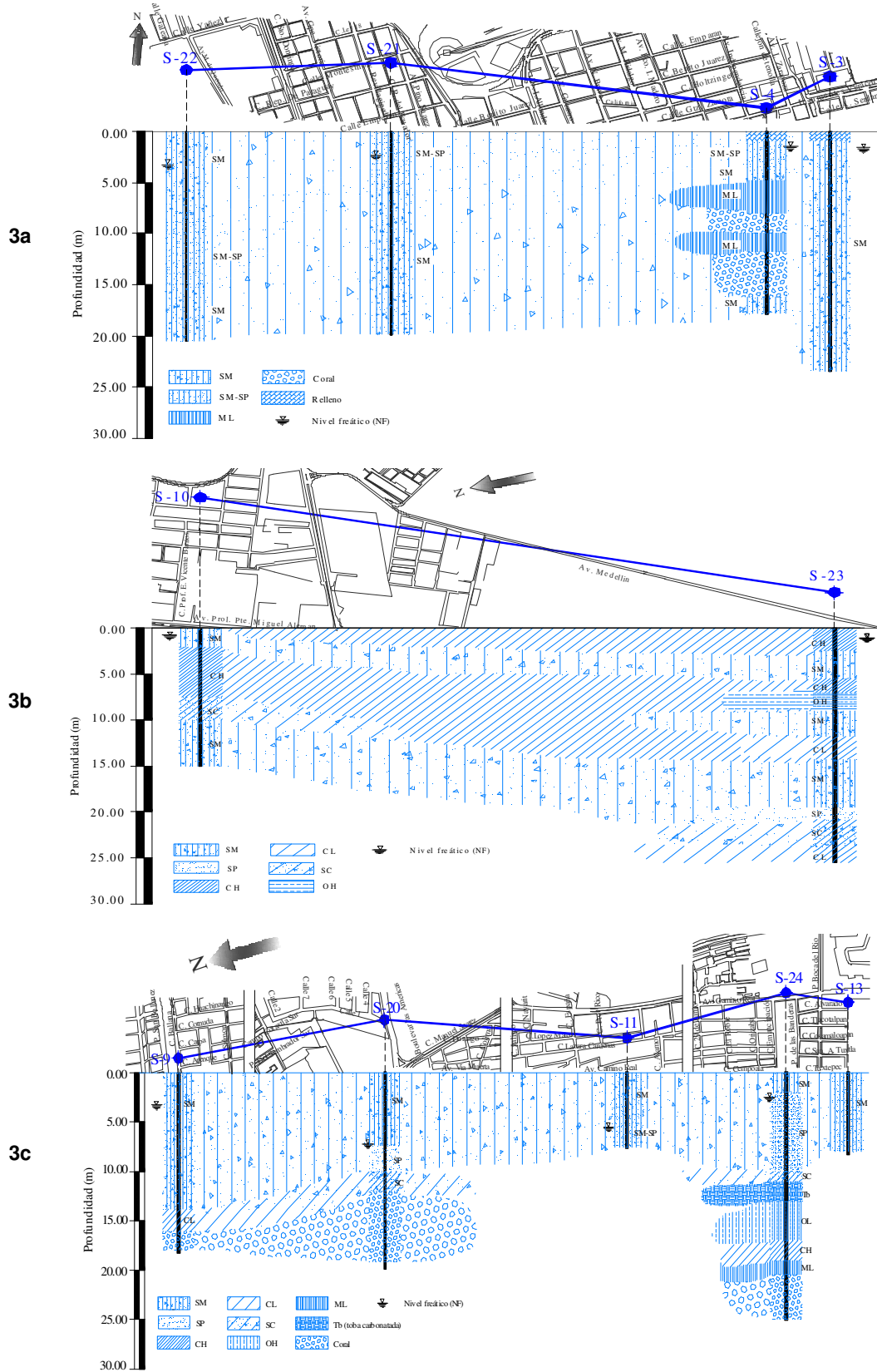


Figura 3. Perfiles estratigráficos. 3a, eje A-A; 3b, eje B-B y 3c, eje C-C

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA CON REGISTROS DE MICROTREMORES (FTE)

Se registró vibración ambiental en 332 sitios distribuidos en una cuadrícula aproximada de un kilómetro cuadrado. Los registros de microtremores fueron analizados con la técnica de Nakamura (HVNR) para obtener las FTE y se estimaron frecuencias y períodos dominantes (Figura 4).

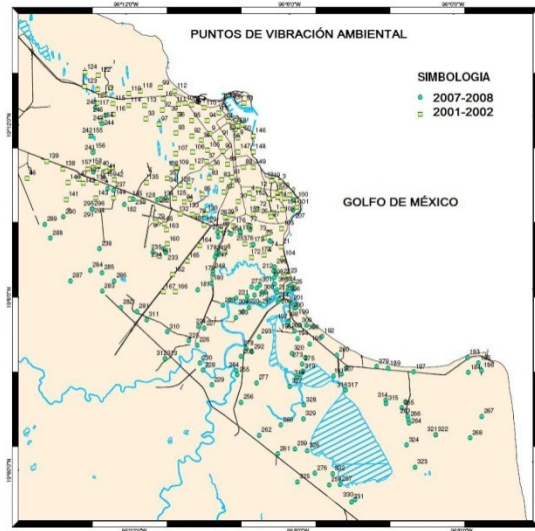


Figura 4. Puntos de Vibración Ambiental

MICROZONIFICACIÓN POR FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES DE LAS FTE

Las FTE se agruparon de acuerdo al depósito geológico al que pertenecían, pero se encontró que no todos los puntos de medición tenían la misma forma espectral o comportamiento dinámico, por lo que se reagruparon teniendo en cuenta la clasificación geológica y se encontraron diferentes familias de formas espectrales. Como resultado de esta agrupación se obtuvieron cuatro zonas, las cuales se presentan en la Figura 5.

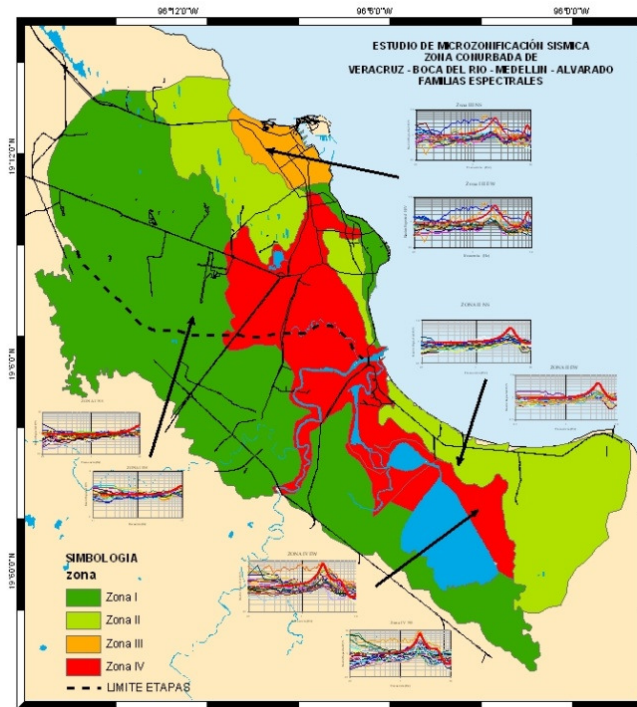


Figura 5. Delimitación del área y microzonificación dinámica de la ZCV



MODELOS ESTRATIGRÁFICOS UNIDIMENSIONALES (MEU)

PROSPECCIÓN SÍSMICA

Se hicieron siete pruebas de prospección sísmica (Figura 1) en las diferentes zonas de familias espectrales identificadas, con las que se obtuvieron las velocidades de ondas de corte (SH) de los depósitos, calculadas de la pendiente de la línea que conecta los primeros arribos de las ondas, asumiendo que éstas fueron refractadas de alguna interfase. Para calcular las velocidades aparentes se partió de la hipótesis de que el terreno se encuentra conformado por estratos inclinados (Limaymanta, 2009).

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA TEÓRICA (FTT) CON HASKELL Y MODELOS ESTRATIGRÁFICOS

Tomando como referencia las FTE de las zonas agrupadas en familias de formas espectrales, los perfiles estratigráficos (SPT) y los perfiles sísmicos obtenidos por refracción sísmica, se aplicó el método de Haskell (1962) para obtener las FTT, el cual utiliza un modelo de propagación unidimensional de ondas para un medio estratificado. Para aplicar este método se consideró el caso de incidencia vertical ($\gamma=0$) de ondas S polarizadas horizontalmente ($\theta=0$, ondas SH). De esta forma se determinaron los modelos estratigráficos representativos para cada zona, los cuales se describen a continuación:

Zona IV

Esta zona se encuentra en el área más baja de los depósitos aluviales y está delimitada por la cota de 10 m.s.n.m. en dirección este, es importante señalar que ésta se encuentra dentro del área de inundación en épocas de lluvias y de pantanos formados, alguna vez, por la margen izquierda del Río Jamapa. Con el corte estratigráfico B-B y con otros perfiles estratigráficos ubicados dentro de la zona o en sus límites, se determinó la resistencia media del subsuelo (Tabla 1).

Tabla 1. Resistencia promedio de los estratos de la zona IV

Profundidad aproximada (m)	Resistencia promedio	Número de golpes (N)
0.0 - 3.0	baja	5<N<20
3.0 - 5.0	media	10<N<30
5.0 - 11.0	baja	5<N<20
11.0 - 16.0	alta	30<N<50

Para determinar el modelo estratigráfico se usaron los espesores definidos a partir de las resistencias (Tabla 1). Se asumió 4 % de amortiguamiento crítico para las capas de resistencia baja y media y 1% para la capa base (Limaymanta, 2009). La densidad se estimó a partir de los sondeos geotécnicos. Las velocidades de onda (SH) asignadas para esta zona, son un promedio de los valores obtenidos en las refracciones R01 y R02. Por lo tanto, tenemos el modelo estratigráfico representativo para la zona IV mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelo estratigráfico unidimensional de la zona IV

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	
1	3.0	1.4	145	0.04
2	2.0	1.6	357	0.04
3	6.0	1.4	147	0.04
4	5.0	1.6	380	0.04
5	6.0	1.5	200	0.04
Base	-	1.9	900	0.01

Donde: ρ = densidad del estrato, β = velocidad de onda de corte y ξ = amortiguamiento

En la Figura 6a se presenta la FTT como una curva envolvente de las funciones de transferencias empíricas promedio (FTEP) lo cual valida los valores del modelo estratigráfico. También en esta zona se presenta la FTE (línea color naranja) obtenida con el análisis de temblores (Riquer et al. 2003) registrados en una estación ubicada en esta zona. Esta función de transferencia, valida las FTT obtenida con el modelo estratigráfico.

Zona III

Esta zona abarca parte de los depósitos de playa y de dunas. Con el corte estratigráfico A-A se determinó las características y resistencia media del subsuelo mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3. Resistencia promedio de los estratos de la zona III

Profundidad aproximada (m)	Resistencia promedio	Número de golpes (N)
0.0 - 4.0	Baja a media	5<N<30
4.0 - 7.0	alta	30<N<40
7.0 - 15.5	baja	5<N<10
15.5 - 21.0	alta	30<N<40

Las velocidades de onda (SH) se obtuvieron del perfil sísmico de refracción R03 y R04, los valores de amortiguamientos y densidades fueron asumidos bajo las mismas condiciones descritas en la zona IV. Por lo tanto, tenemos el modelo estratigráfico de la Tabla 4.

Tabla 4. Modelo estratigráfico unidimensional de la zona III

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	
1	4.0	1.4	166	0.04
2	3.0	1.6	444	0.04
3	8.5	1.4	150	0.04
4	6.0	1.7	636	0.04
Base	-	1.9	900	0.01

En la Figura 6b se muestra la FTT para cada componente con una línea roja gruesa. En esa misma Figura se presenta la FTE usando la técnica SSR (línea naranja) y HVSR con los sismos de la estación CHVE (línea azul).

Zona II

Esta zona abarca la mayor parte del depósito de dunas. El subsuelo está formado básicamente por depósitos de arena fina limosa cuya resistencia promedio se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Resistencia promedio de los estratos de la zona II

Profundidad aproximada (m)	Resistencia promedio	Número de golpes (N)
0.0 - 3.0	baja	5<N<10
3.0 - 4.5	media	10<N<30
4.5 - 8.0	baja	5<N<10
8.0 - 11.0	alta	30<N<50

Para cada una de las capas se asumieron velocidades de corte en base a los valores de velocidad encontrados en el análisis de refracción sísmica R02 y R04. Los valores de amortiguamiento y densidad fueron tomados bajo las mismas consideraciones de las zonas anteriores. El modelo estratigráfico se presenta en la Tabla 6 y las FTT en las dos componentes horizontales en la Figura 6c.

Tabla 6. Modelo estratigráfico unidimensional de la zona II

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	
1	3.0	1.4	162	0.04
2	1.5	1.5	250	0.04
3	4.5	1.4	150	0.04
4	3.0	1.7	580	0.04
Base	-	1.9	900	0.01



Zona I

Esta zona abarca la mayor parte de los depósitos conglomerados, aluviales y de coral. En la Tabla 7 se muestra la resistencia promedio de los estratos.

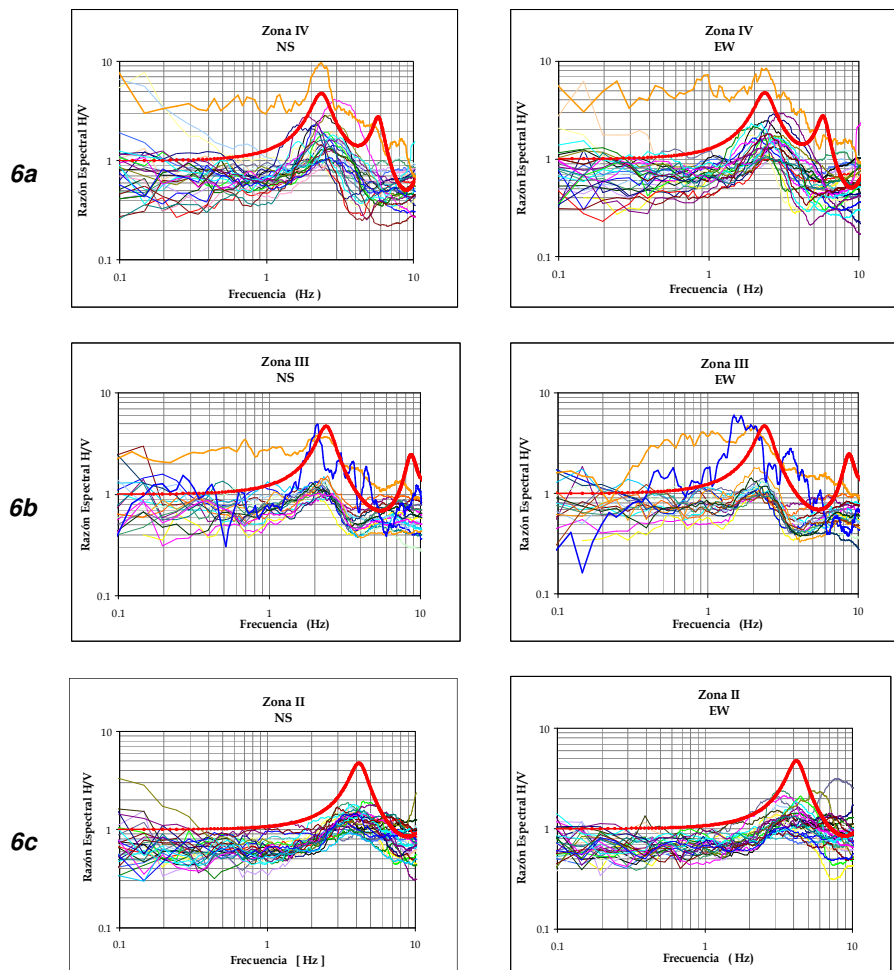
Tabla 7. Resistencia promedio de los estratos de la zona I

Profundidad aproximada (m)	Resistencia promedio	Número de golpes (N)
0.0 - 3.0	baja	$5 < N < 20$
3.0 - 5.0	media	$10 < N < 30$
5.0 - 9.5	alta	$40 < N < 60$

El valor de velocidad de onda de corte (SH) fue asumido con los datos de los perfiles sísmicos R07 y R02, R05 y R06. Los valores de amortiguamiento y densidad fueron tomados bajo las mismas consideraciones anteriores. El modelo estratigráfico se presenta en la Tabla 8 y las FTT en las dos componentes horizontales en la Figura 6d.

Tabla 8. Modelo estratigráfico unidimensional de la zona I

Nº	H (m)	ρ (t/m ³)	β (m/s)	ξ
	1	7.00	1.6	
Base	-	1.9	900	0.01



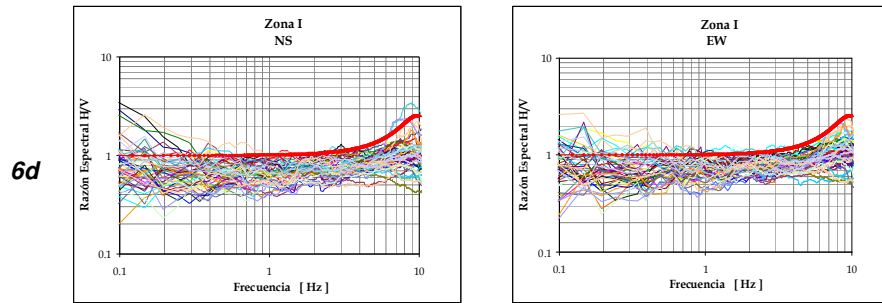


Figura 6. Formas espectrales encontradas en la ZCV. FTT, Líneas punteadas; FTEP, línea gruesa, FTT como una envolvente de las FTEP.

La Tabla 9 resume el periodo y la amplificación de las cuatro zonas.

Tabla 9.- Periodo predominante y amplificación de la ZCV

Zona	T (seg)	F (Hz)	Amplificación relativa
I	< 0.125	> 8	1
II	0.22-0.29	3.5-4.5	2-3
III	0.33-0.40	2.5-3.0	3-4
IV	0.40-0.67	1.5-2.5	4-8

ESPECTROS DE DISEÑO DE ACUERDO A CFE-08

ESPECTRO DE DISEÑO TRANSPARENTE

CFE-08 establece que la construcción del espectro de diseño se inicie a partir de la determinación de la aceleración máxima del terreno en roca en el sitio de interés, a la que se asocian las características dinámicas del terreno. A partir de esta información se calculan los factores de terreno rocoso, de comportamiento lineal y no lineal del suelo; posteriormente se aplican para encontrar la aceleración máxima del terreno a_0 y la ordenada espectral máxima o coeficiente de diseño c . Con los parámetros anteriores, para el estado límite de colapso, se establecen las ordenadas del espectro de aceleración “a” para diseño sísmico $Sa(T_e)/g$, las que se expresan como fracción de la gravedad y adquieren la siguiente forma paramétrica en función del período estructural (Ecuación 1):

$$a = \frac{Sa(T_e)}{g} = \begin{cases} a_0 + (\beta c - a_0) \frac{T_e}{T_a} & \text{si } T_e < T_a \\ \beta c & \text{si } T_a \leq T_e < T_b \\ \beta c \left(\frac{T_b}{T_e}\right)^r & \text{si } T_b \leq T_e < T_c \\ \beta c \left(\frac{T_b}{T_e}\right)^2 \left[k + (1-k) \left(\frac{T_c}{T_e}\right)^2 \right] \left(\frac{T_c}{T_e}\right)^2 & \text{si } T_e \geq T_c \end{cases} \quad (1)$$

- a es la aceleración espectral normalizada con la aceleración de la gravedad
- T_e es el periodo estructural
- T_a es el límite inferior de la meseta del espectro de diseño
- T_b es el límite superior de la meseta del espectro de diseño
- $T_c = \begin{cases} 2s & \text{si } T_b < 2s \\ T_b & \text{si } T_b \geq 2s \end{cases}$ es el periodo de inicio de la rama descendente en que los desplazamientos espectrales tienden correctamente al desplazamiento del terreno.
- r es el parámetro que controla la caída de las ordenada espectrales para $T_b \leq T_e < T_c$, y es igual a T_s , pero no será menor que 0.5 ni mayor que 1.0 ($0.5 \leq r \leq 1.0$). Para terreno firme $r=0.5$
- k es el parámetro que controla la caída de las ordenada espectrales para $T_e \geq T_c$
- β es el factor de amortiguamiento. Para nuestro caso se consideró un amortiguamiento del 5% ($\zeta=5\%$) y le corresponde $\beta=1$.



Una gran ventaja de la nueva versión del manual de CFE-08 es que cuenta con el programa PRODISIS V2.0 (Programa para diseño sísmico), en el cual introduciendo las coordenadas o el nombre del lugar en estudio, e indicando la importancia estructural (estructuras del grupo B, A y A+), calcula la aceleración máxima del terreno en roca. Otro dato necesario es conocer el perfil estratigráfico del suelo para determinar las condiciones locales del terreno (efecto de sitio). Estos datos consisten en los espesores de los estratos con sus correspondientes pesos volumétricos y velocidades de onda de cortante; con ellos se recurre a remplazar el perfil estratigráfico por un manto homogéneo equivalente de igual espesor caracterizado por su periodo dominante y su velocidad efectiva de propagación de ondas de cortante. Para estudios preliminares o con fines de comparación, CFE-08 establece que se podrán estimar los pesos volumétricos y las velocidades de propagación de ondas de corte del terreno a partir del número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT) de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10.- Velocidad de ondas de corte con el número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT)

Tipo de suelo	Número de golpes (SPT)	V_s (m/s)	γ_s (t/m ³)
Roca	-	> 720	2.0
Suelo firme y denso	> 50	360	1.8
Suelo medio	15-50	180	1.5
Suelo blando	< 15	90	1.3

Espectros de diseño transparentes para la ZCV.

Para cada una de las zonas identificadas en la ZCV, se determinaron los espectros de diseño aplicando el programa PRODISIS V2.0, usando los MEU definidos en los estudios de microzonificación sísmica. Paralelamente y con fines de comparación, se utilizaron los resultados de pruebas de penetración estándar también para determinar los espectros de diseño correspondientes, los cuales se promediaron por zona. De esta manera los espectros de diseño obtenidos para estructuras del grupo B son transparentes, ya que carecen de factores de reducción ajenos al peligro sísmico y se muestran en las Figuras 7 a la 10.

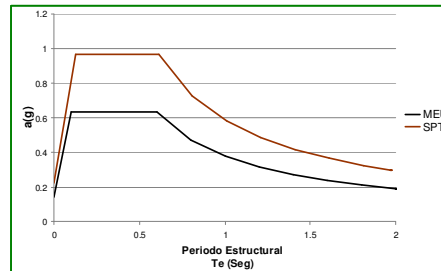


Figura 7. Espectro de Diseño Transparente para la zona I. Estructuras Grupo B

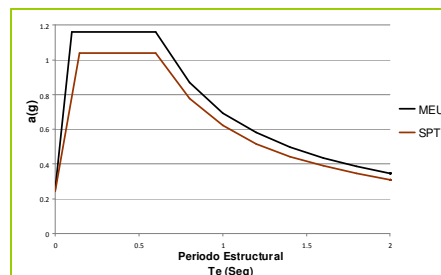


Figura 8. Espectro de Diseño Transparente para la zona II. Estructuras Grupo B.

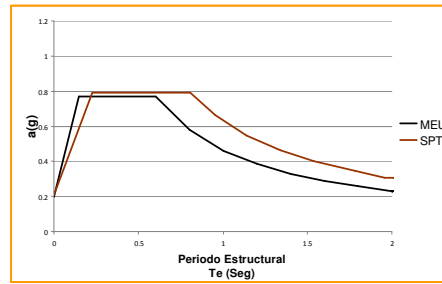


Figura 9. Espectro de Diseño Transparente para la zona III. Estructuras Grupo B.

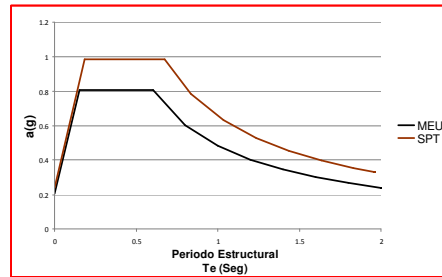


Figura 10. Espectro de Diseño Transparente para la zona IV. Estructuras Grupo B.

Se observa, que la ordenada espectral de los espectros de diseño obtenidos a partir de las SPT es mayor en las zonas I, III y IV con respecto a las obtenidas a partir de los MEU (Tabla 11).

Tabla 11.- Porcentaje de incremento de las ordenadas espectrales máximas

Espectros de Diseño a obtenidos a partir de:	Ordenadas máximas espectrales $a(g)$			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
MEU	0.63	1.17	0.77	0.80
SPT	0.97	1.04	0.79	0.98
%	54 %	13 %	3 %	23 %

También se compararon el periodo dominante del sitio T_s para cada zona, determinado con los MEU mediante el programa PRODISIS V2.0 y los límites considerados en la microzonificación sísmica para cada zona. Se observa que están dentro del rango de cada zona (Tabla 12).

Tabla 12.- Periodos de vibrar del sitio T_s (seg)

Microzonificación Sísmica		MEU
Zona	T_s	T_s
I	<0.125	0.10
II	0.22-0.29	0.23
III	0.33-0.40	0.40
IV	0.40-0.67	0.42

ESPECTROS DE DISEÑO REDUCIDO

Para el diseño sísmico de estructuras de edificios, se consideran dos estados límites: a) el nivel de servicio, donde se restringen las deformaciones para limitar los daños y, b) el nivel de prevención de colapso, en que se determinan las resistencias y se revisan las deformaciones para prevenir la falla estructural.

En este trabajo se analizó el estado límite de colapso, y las ordenadas del espectro de aceleraciones “a”, reflejan la totalidad del peligro sísmico esperado para las estructuras del grupo B en estudio. Se consideran las reducciones por ductilidad, sobrerresistencia y redundancia, de la siguiente manera (Ecuación 2):

$$a' = \frac{a(\beta)}{Q'R_p} \quad (2)$$



Factor reductor por ductilidad: Q'

De manera aproximada, se toma en consideración el comportamiento inelástico de la estructura reduciendo las ordenadas espectrales con un factor de ductilidad Q' para obtener fuerzas sísmicas reducidas. Para cualquier tipo de estructura se calcula (Ecuación 3):

$$Q' = \begin{cases} 1+(Q-1)\sqrt{\frac{\beta}{k}} \frac{T_e}{T_b}; & \text{si } T_e \leq T_b \\ 1+(Q-1)\sqrt{\frac{\beta p}{k}}; & \text{si } T_e > T_b \end{cases} \quad (3)$$

Q es el factor de comportamiento sísmico especificado en las recomendaciones para cada tipo de estructura

β es el factor de amortiguamiento

T_b es el límite superior de la meseta del espectro de diseño

T_e es el periodo estructural

k es un parámetro que controla la caída del espectro

p es un factor empleado para definir la variación del espectro en la rama descendente, calculado de la siguiente forma (Ecuación 4):

$$p = k + (1-k) \left(\frac{T_b}{T_e} \right)^2 \quad (4)$$

Factor de reducción por sobrerresistencia: R

La sobrerresistencia estructural es reconocida en diversos reglamentos de construcción en el mundo, debido a que los valores nominales de las resistencias de los materiales son generalmente menores que sus resistencias reales. Además de que los modelos que se emplean para evaluar resistencias tienen simplificaciones del lado de la seguridad, y la opción más práctica de tomar en cuenta este aspecto consiste en aplicar un factor reductor del lado de las acciones, el cual está dado por (Ecuación 5):

$$R = \begin{cases} R_0 + 0.5 \left(1 - \sqrt{T_e/T_a} \right) & \text{si } T_e \leq T_a \\ R_0 & \text{si } T_e > T_a \end{cases} \quad (5)$$

T_a es el límite inferior de la meseta del espectro de diseño.

T_e es el periodo fundamental de la estructural en la dirección del análisis.

R_0 es la sobrerresistencia índice, dependiendo del sistema estructural. (2.0, 2.5 o 3.0)

Factor por redundancia: ρ

La capacidad de deformación y la resistencia adicional de una estructura aumentan a medida de que ésta es más redundante, es decir, posee un mayor nivel de hiperestaticidad y por ello, habrá reducciones mayores en estructuras más redundantes con respecto a las menos redundantes y de comportamiento más incierto, propensas a concentrar las deformaciones inelásticas y con ello, a desarrollar menor ductilidad y/o resistencia adicional. Su valor puede ser igual a: 0.8, 1.0 o 1.25, dependiendo de su estructuración.

En las Figuras 11 a la 13, se presentan la variación del producto del factor de ductilidad, sobrerresistencia y redundancia en función del periodo estructural T_e para cada zona de la microzonificación:

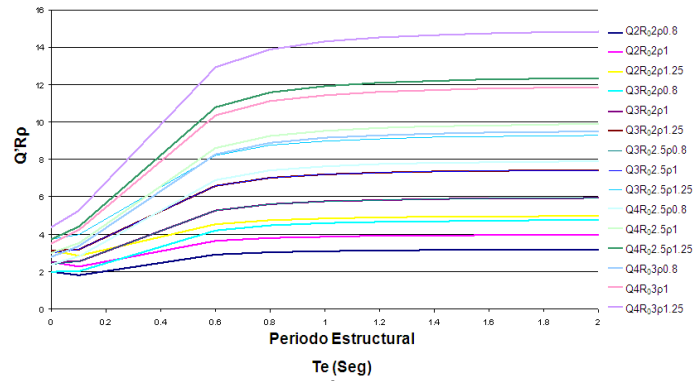


Figura 11. Producto Q, R y ρ para las Zonas I y II

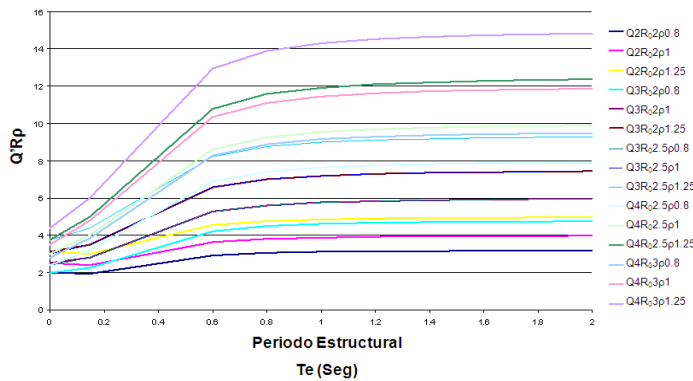


Figura 12. Producto Q, R y ρ para la Zona III

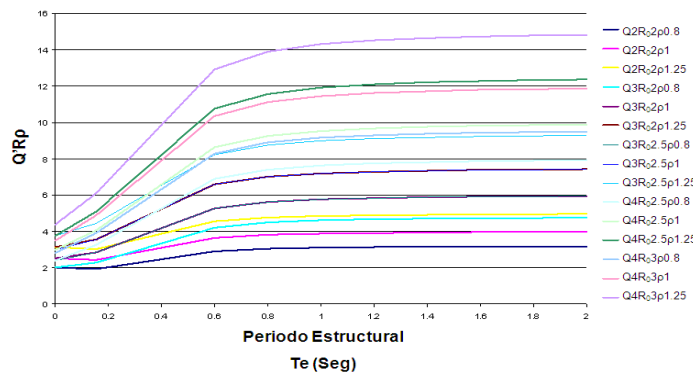


Figura 13. Producto Q, R y ρ para la Zona IV

Espectros de diseño reducidos para la ZCV

Los espectros de diseño reducidos para cada una de las zonas de microzonificación de la ZCV, se obtuvieron de dividir las ordenadas del espectro de diseño transparente, las aceleraciones “a” (Figuras 7 a la 10) obtenidas con PRODISIS V2.0, entre el producto de los factores de ductilidad, sobrerresistencia y redundancia de acuerdo a la Ecuación 2. Se usaron los valor máximos y mínimos de estos productos para los valores de $Q=2$ y $Q=4$ (Figuras 11 a la 13). En las Figuras 14 a la 17, se muestra la comparación de estos espectros de diseño reducidos con los espectros de diseño que se obtenían con los mismos valores de Q para terreno tipo II de acuerdo a CFE-93. Se usó el terreno tipo II por ser el criterio más usado en la práctica en la ZCV.

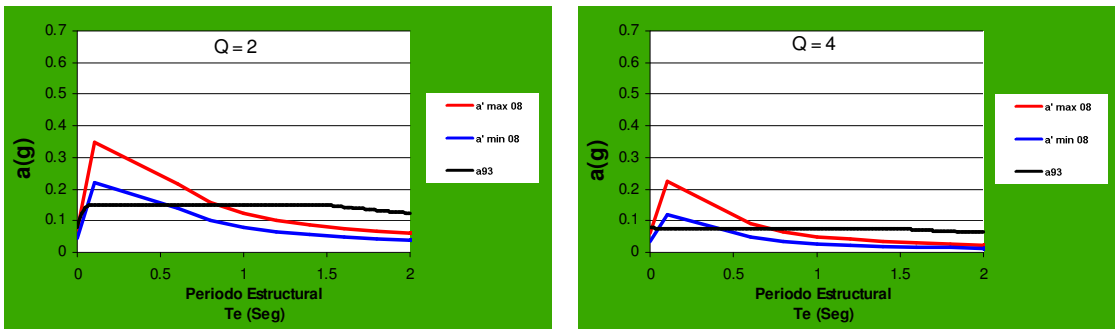


Figura 14. Espectro de Diseño reducido para la zona I.

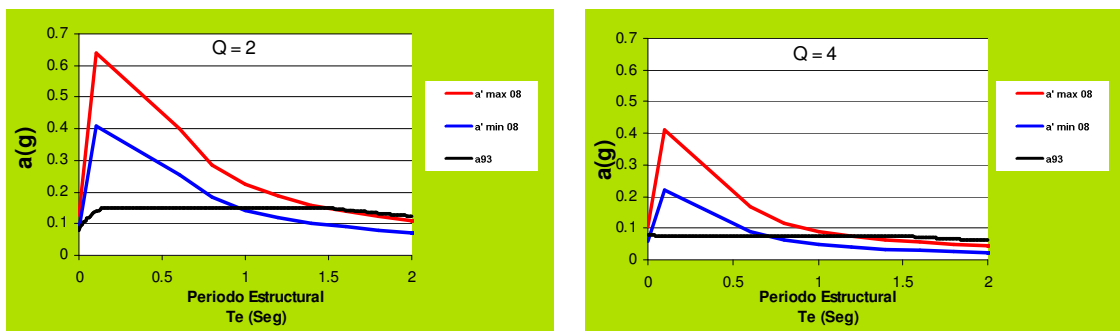


Figura 15. Espectro de Diseño reducido para la zona II.

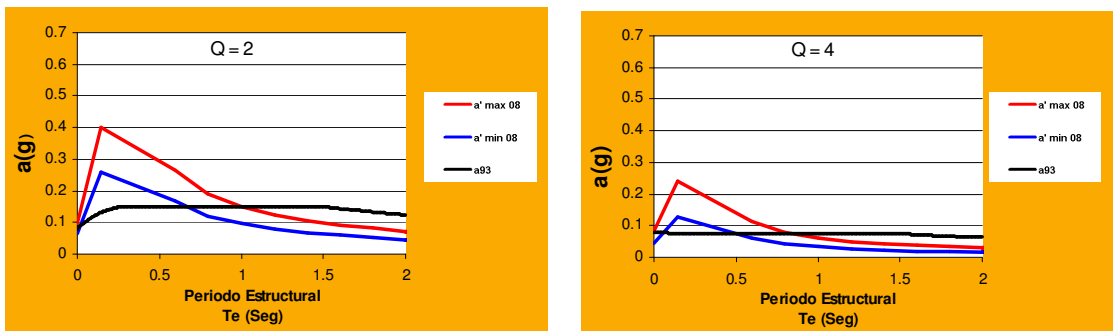


Figura 16. Espectro de Diseño reducido para la zona III

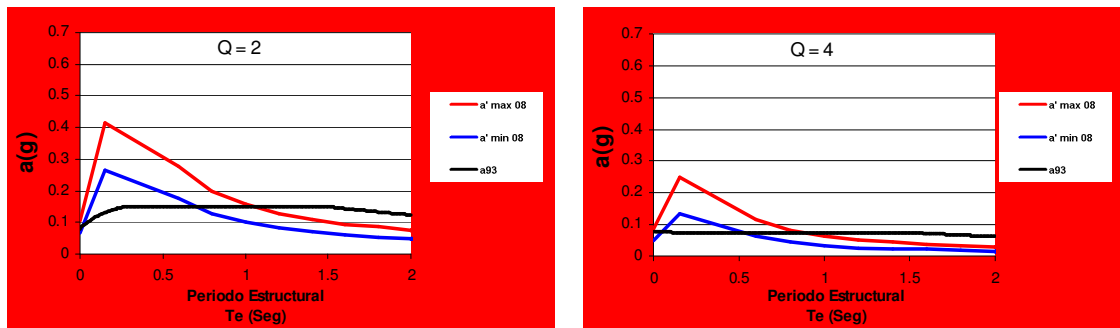


Figura 17. Espectro de Diseño reducido para la zona IV

En las Tablas 13 y 14 se presentan los porcentajes de incremento de las ordenadas espectrales máximas del espectro de aceleraciones de CFE-08 con respecto a CFE-93 para valores de $Q=2$ y 4.

Tabla 13.- Incremento de ordenadas espectrales entre CFE-93 y CFE-08 para $Q=2$

Ordenada espectral $a(g)$	Zona I		Zona II		Zona III		Zona IV	
	Periodo estructural $T_e = 0.10$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.10$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.15$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.16$ seg	
a_{93}	0.15		0.14		0.13		0.13	
a'_{max08}	0.35		0.64		0.40		0.42	
a'_{min08}		0.22		0.41		0.26		0.27
% max y % min	133 %	47 %	357 %	193 %	208 %	100 %	223 %	85 %

a'_{max08} para valores de $Q=2$, $R_0 = 2$ y $\rho = 0.8$.

a'_{min08} para valores de $Q=2$, $R_0 = 2$ y $\rho = 1.25$.

Tabla 14.- Incremento de ordenadas espectrales entre CFE-93 y CFE-08 para $Q=4$

Ordenada espectral $a(g)$	Zona I		Zona II		Zona III		Zona IV	
	Periodo estructural $T_e = 0.10$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.10$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.15$ seg		Periodo estructural $T_e = 0.15$ seg	
a_{93}	0.08		0.08		0.08		0.08	
a'_{max08}	0.22		0.41		0.24		0.25	
a'_{min08}		0.12		0.22		0.13		0.13
% max y % min	175 %	50 %	400 %	175 %	200 %	63 %	213 %	63 %

a'_{max08} para valores de $Q=4$, $R_0 = 2.5$ y $\rho = 0.8$.

a'_{min08} para valores de $Q=4$, $R_0 = 3$ y $\rho = 1.25$.

COEFICIENTES SÍSMICOS PARA EL MÉTODO SIMPLIFICADO

Con el programa PRODISIS V2.0 se pueden determinar los coeficientes sísmicos reducidos por ductilidad, redundancia y sobrerresistencia empleados en el análisis sísmico de estructuras que cumplan con los requerimientos para aplicar el método simplificado, para lo cual, es necesario conocer el número de golpes promedio de la prueba de penetración estándar \bar{N}_i a una profundidad explorada de 10 m. en el sitio de interés. En la ZCV se dispone de algunos estudios de penetración estándar por zona. Para cada SPT se determinó el número promedio de golpes, aplicando la Ecuación 6 y calculando posteriormente el promedio aritmético por zona del \bar{N}_i de cada estudio.

$$\bar{N}_i = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \bar{N}_i} \quad (6)$$

h_i es el espesor del estrato i

\bar{N}_i es el número de golpes de la prueba de penetración estándar en el estrato i .

El programa PRODISIS V2.0 presenta la Tabla 15, que relaciona el número de golpes de la SPT con el tipo de suelo de acuerdo al manual de CFE-93, con lo que se obtienen los coeficientes sísmicos reducidos. Estos se comparan con los de CFE-08, y se presentan en la Tabla 16.



Tabla 15.- Número de golpes SPT vs tipo de suelo CFE-93

No. de golpes SPT	Tipo de suelo	Clasificación CFE-93	Velocidad de propagación	Fr
$N \geq 50$	Firme y denso	I	> 360	2.80
$15 < N \leq 50$	Medio	II	$180 < V \leq 360$	3.25
$15 \leq N$	Blando	III	$180 \leq V$	4.00

Tabla 16.- Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado CFE-08

Zona	No. Promedio de golpes SPT	Tipo de suelo CFE-93	Muros de Piezas macizas			Muros de Piezas huecas		
			$H \leq 4$	$4 \leq H \leq 7$	$7 \leq H \leq 13$	$H \leq 4$	$4 \leq H \leq 7$	$7 \leq H \leq 13$
I	20	II	0.08 (0.13)	0.14 (0.15)	0.14 (0.18)	0.11 (0.15)	0.18 (0.18)	0.18 (0.22)
II	14	III	0.10 (0.13)	0.15 (0.16)	0.23 (0.19)	0.13 (0.15)	0.20 (0.19)	0.30 (0.23)
III	20	II	0.08 (0.13)	0.13 (0.15)	0.13 (0.18)	0.11 (0.15)	0.17 (0.18)	0.17 (0.22)
IV	8	III	0.10 (0.13)	0.15 (0.16)	0.23 (0.19)	0.13 (0.15)	0.20 (0.19)	0.30 (0.23)

() = Coeficiente sísmico reducido CFE-93 de acuerdo al tipo de suelo para la zona sísmica B

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se compararon los espectros de diseño transparentes obtenidos con SPT con los obtenidos mediante los MEU y se observa una variación mínima del 3 % para la zona III hasta una máxima del 54 % para la zona I, Tabla 11. Es importante resaltar esta variación de los espectros de diseño cuando se utilizan estimaciones con SPT y estimaciones con estudios geofísicos, porque el primero presenta un grado de incertidumbres mayor en su determinación de las velocidades de corte y espesores. Por otro lado, también habrá que evaluar al programa PRODISIS V2.0, porque se esperaba que la zona I y II presentaran valores de “a(g)” menores a las zonas con un mayor efecto de sitio (zonas III y IV), mas aun se esperaba que la zona I fuera muy cercano al propuesto para roca (a(g)=0.3).

Se compararon también los espectros de diseño reducidos obtenidos con la versión CFE-93 para la zona B con un tipo de suelo II y CFE-08. De esta comparación se aprecia que el menor incremento con respecto a CFE-93 de la ordenada espectral máxima es del 47 %, y corresponde a la zona I para un $Q=2$, lo que nos hace recordar que entre la versión CFE-81 y la CFE-93 para la zona B y tipo de suelo II, el incremento fue de un 50 %, pasando de $c=0.20$ a $c=0.30$ respectivamente. Nuevamente, habrá que revisar al programa PRODISIS V2.0, por sus resultados no congruentes con los efectos de sitio del terreno, así como también para estos espectros de diseño reducidos, su forma picuda y su nula incertidumbre el periodo estructuras de cada zona, ya que el pico no concuerda con nada.

Con respecto a los coeficientes para el método simplificado Tabla 16, estos se han incrementado para las zonas II y III en estructuras de alturas comprendidas entre 7 y 13 m. entre un 21% y 30 % respectivamente, y posiblemente se deba a que se han establecido mayores restricciones en esta nueva versión para poder aplicar el método simplificado.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los estudios de microzonificación sísmica realizados en la ZCV a la fecha y en base a ellos se han determinado los espectros de diseño para cada zona, encontrándose que hay una relación consistente en los resultados obtenidos con diferentes criterios, pero consideramos que los valores de

los coeficientes sísmicos obtenidos con la versión CFE-08 son altos con respecto a la versión CFE-93, así como un problema en el programa PRODISIS V2.0 que no toma en cuenta el efecto de sitio hacia frecuencias altas, y presenta problemas en su forma espectral, por lo que se espera que a futuro se establezcan foros de discusión sobre el tema para evitar que su aplicación sea demasiado lenta o termine por omitirse, y se pierda el nuevo enfoque.

Se considera que el criterio de transparentar las reducciones por sobrerresistencia estructural es muy adecuado y actual, ya que las propuestas de estructuración son cada vez más audaces. De esta manera se podrá evaluar el impacto en los costos, que motive a reflexionar sobre las recomendaciones básicas de estructuración para diseño sísmico como son: simetría en cargas y geometría, distribución de rigideces, resistencias, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Drs. Miguel A. Jaimes y Eduardo Ismael Hernández el haber revisado este documento y sus comentarios con la finalidad de mejorar este trabajo.

RECONOCIMIENTOS

Estos trabajos se han podido realizar gracias al apoyo de Fondos Mixtos Conacyt-Gobierno del estado de Veracruz-Llave. Al Ing. Edgar Castro Vallejo por su participación en el procesamiento de la información.

REFERENCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

Lermo,J.,Limaymanta,F. (2007), **“Uso de las funciones de transferencia empíricas (HVNR) obtenidas con microtremores para construir mapas con la clasificación de los terrenos de cimentación para diseño sísmico”**, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

Lermo,J., Limaymanta,F., Williams, F., Riquer, G., Leyva, R. (2009), **“Land characterizing for seismic design in the urban zone of Veracruz-Boca del Río, México (ZCV)”**, 8th International Workshop on Seismic Microzoning Risk Reduction, Almería, Spain.



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

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

Nakamura Y.(1989), “**A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtemors 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., 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.,Limaymanta,F.,Riquer, G., Leyva, R.,Lermo,J., (2007),“**Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV)**” XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

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

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