

CLASIFICACIÓN DINÁMICA DE TERRENOS DE CIMENTACIÓN CON FINES DE DISEÑO SÍSMICO EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RIO (ZCV)

Francisco Williams Linera¹, Felicita Marlene Limaymanta Mendoza², Guadalupe Riquer Trujillo¹, Regino Leyva¹ y Javier Francisco Lermo Samaniego²

RESUMEN

En este trabajo se presenta la microzonificación de los depósitos geológicos de la ZCV por efecto de sitio, con el objeto de clasificar los terrenos de cimentación usando el parámetro VS30. El efecto de sitio se evaluó con las formas espectrales de las funciones de transferencia empírica promedio (FTEP) de vibración ambiental (HVNR). Con este análisis la ZCV se dividió en 4 sitios, en cada uno de los sitios se determinó un modelo estratigráfico para calcular la función de transferencia teórica (FTT) y así validar las FTEP. Con los resultados de esta investigación y las recomendaciones del NERHP se concluye que los suelos de la ZCV pueden ser agrupados en tres clases: Clase C (VS30=377.78 m/s), Clase D (VS30= 218.72 m/s – 268.65 m/s) y Clase E (VS30=197.41m/s), categorización más detallada y con mejores argumentos que los obtenidos bajo las normas de CFE.

ABSTRACT

In this work the microzonation of the geologic deposits of the ZCV by site effect appears, with the intention of classifying laying of foundations lands using parameter VS30. The site effect evaluated with the spectral forms of the functions of empirical transference average (FTEP) of environmental vibration (Method HVSR). With this analysis the ZCV was divided in 4 sites, for each one of them was determined a stratigraphical model to calculate the function of theoretical transference (FTT) and thus to validate the FTEP. The zones with greater effect of site were validated finding the FTT with seismic registries (Method SSR). Based on this investigations results and the NERHP recommendations it is concluded that the ZCV soils deposits can be labeled in three classes: Class C (VS30=377.78 m/s), Class D (218,72 VS30= m/s - 268,65 m/s) and Class E (VS30=197.41m/s),a more detailed and supported characterization than the obtained using the CFE code.

INTRODUCCIÓN

La clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico nace con la necesidad de tomar en cuenta los efectos de sitio en el diseño de estructuras y ser parte de los reglamentos de construcción. Uno de los primeros en establecer una clasificación fue Seed en 1976, quien propuso tres clases de terrenos, basado en la composición y espesor de los estratos, Roca o suelo duro, suelo firme y suelo blando. Con el avance del conocimiento geológico, geofísico y geotécnico esta clasificación ha sido mejorada, es así que los reglamentos de construcción nacionales atienden los efectos de sitio adoptando una clasificación de terrenos en función del periodo dominante y de la velocidad de onda de corte del suelo. Los código internacionales como, The National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP), usan el parámetro VS30 para clasificar los terrenos de cimentación. Además, las investigaciones realizadas sobre este parámetro reportan que la disminución del VS30 en depósitos cuaternarios no consolidados se relaciona con una mayor amplificación del movimiento sísmico. (J.C. Montalvo-Arrieta, et al. 2005).

¹ Instituto de Ingeniería y Facultad de Ingeniería Civil de la 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, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F., Tel. (01-55) 56223461, jles@pumas.iingen.unam.mx

La Zona Conurbada de Veracruz-Boca del Río no cuenta con Normas Técnicas Complementarias para el Diseño Sísmico; sin embargo existe una propuesta en revisión hecha en el 2005. Según la carta de zonificación sísmica de la República Mexicana la ZCV se encuentra en un área de riesgo sísmico moderado, pero se deben considerar los efectos devastadores ocurridos en sismos pasados y el crecimiento económico y poblacional, los cuales se verían afectados si no se toma en cuenta los efectos locales de sitio.

Por ello el objetivo de este trabajo es conocer los efectos de sitio en la ZCV mediante las formas espectrales de las funciones de transferencia empíricas promedio (FTEP), obtenidas de microtemores usando la técnica de Nakamura (HVNR) y clasificarlos con el VS30 para adoptar las clases de sitio que propone el código NEHRP. Esta clasificación se comparará con la clasificación obtenida usando las normas de CFE.

Como antecedentes de clasificación de los terrenos en la ZCV se conoce los trabajos realizados por Esquivel en el año 1976, quien zonificó los suelos de la ciudad de Veracruz en función de la compacidad; Lermo et. al. (1998), propusieron una microzonificación sísmica; y Leyva Soberanis (2004), quien elaboró un mapa de isoperiodos con el cual dividió la ZCV en dos zonas, es importante mencionar que este último trabajo tomó en cuenta las zonas de expansión urbana.

Este estudio contó con el conocimiento de la geología, datos geotécnicos (24 estudios geotécnicos), medición de vibración ambiental (176 registros), datos geofísicos (3 refracciones sísmicas) y registros sísmicos.

GEOLOGÍA

La ZCV abarca, aproximadamente, 180 km² (el límite de esta área se muestra en la figura 1) y se ubica en la subprovincia Llanura Costera Veracruzana, específicamente en la región de la llanura Aluvial, esta subprovincia pertenece a la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Sur.

La ZCV está conformada por cinco depósitos geológicos (Esquivel, 1976; Páez Andrade, 2001) como se muestra en la figura 1 y se describen a continuación.

Deposito de Arenisca-Conglomerado T(ar-cg)

Estos depósitos se ubican en la parte central-oeste de la ZCV y forman parte de la secuencia continental de conglomerados constituidos de diferentes materiales dentro de una matriz. Los materiales que conformar el esqueleto son: clastos redondeados a subredondeados de basalto, andesita, caliza y travertinos; el material de la matriz es arena escasamente cementada por carbonatos. Las areniscas de este depósito son de grano medio a grueso de color gris y pardo claro con clastos de feldespato, plagioclasas y fragmentos de roca redondeados a subredondeados.

Depósito de Coral (Qc)

Se ubica frente a la costa de la ZCV, se extiende desde la ciudad de Veracruz hasta Punta Antón Lizardo. Estos depósitos se formaron, aproximadamente, a finales del Terciario y a principios del Cuaternario sobre los suelos marinos de mayor antigüedad. Debido a la regresión de la línea de costa algunos corales han sido sepultados por sedimentos de arena. Estos arrecifes compuestos por una roca muy porosa de caliza de color blanco amarillento, conocida como madrepora, y por abundantes fragmentos de conchas de moluscos se clasifican como arrecifes diseminados los cuales están desplantados sobre una superficie llana denominada suelo marino o plataforma continental

Depósito de Playa (Qp)

Estos depósitos se localizan en la franja costera y en el centro de la ciudad de Veracruz. Los materiales que se encuentran son arenas y arenas limosas con presencia de conchas y fósiles marinos. Los minerales que constituyen la arena son feldespatos, micas y cuarzos.

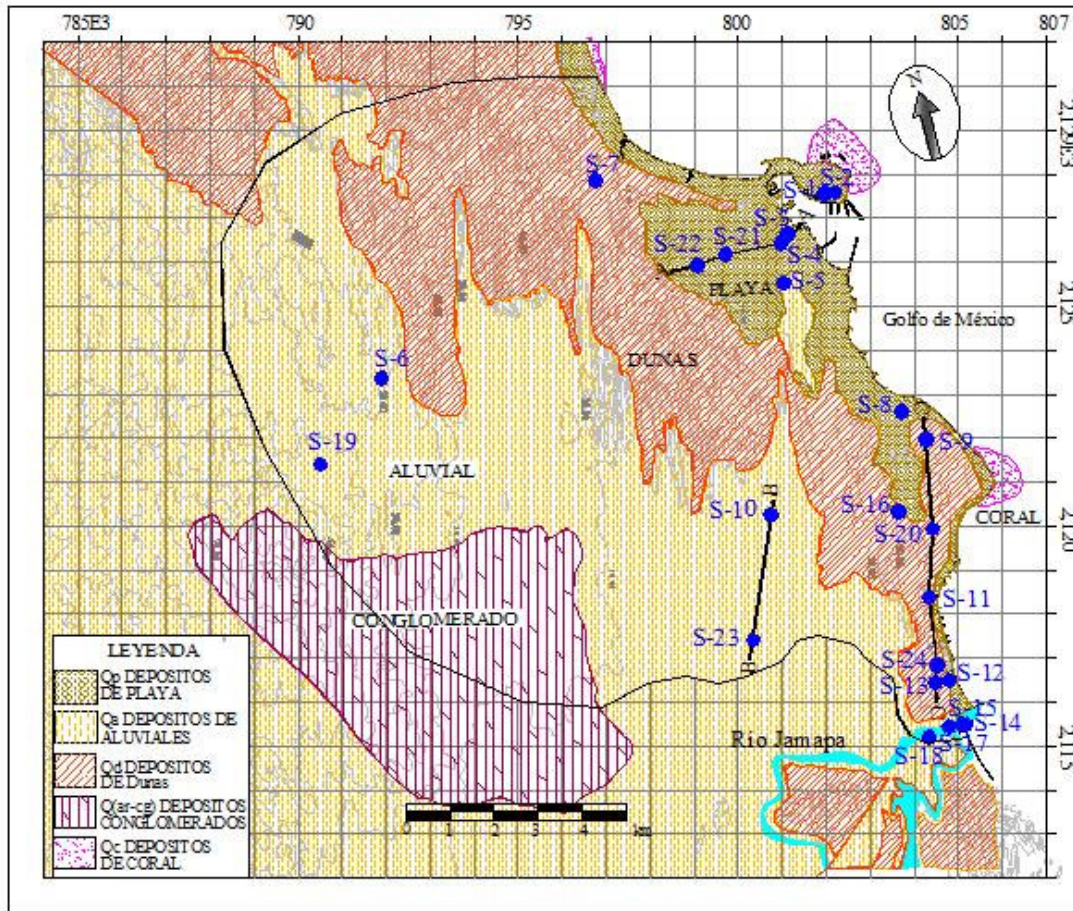


Figura 1. Geología y límite de estudio de la ZCV. Los puntos representan los sondeos geotécnicos (SPT) y las líneas, los ejes de los perfiles estratigráficos (A-A, B-B y C-C).

Depósito de Dunas (Qd)

Este depósito tiene origen eólico y está compuesto por arenas y arenas limosas de grano medio a fino con minerales de feldespato, mica, cuarzo y fragmentos de fósiles. La acción predominante de los vientos del norte hace que este depósito se extienda en la dirección Norte- Sur formando lomeríos que alcanzan 15 m. de altura.

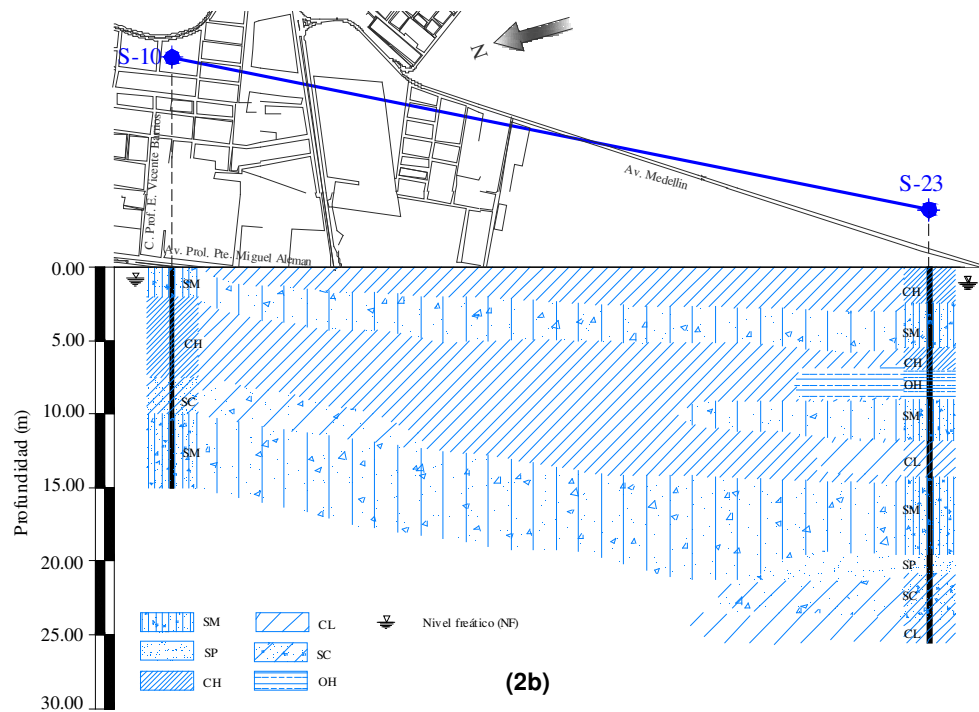
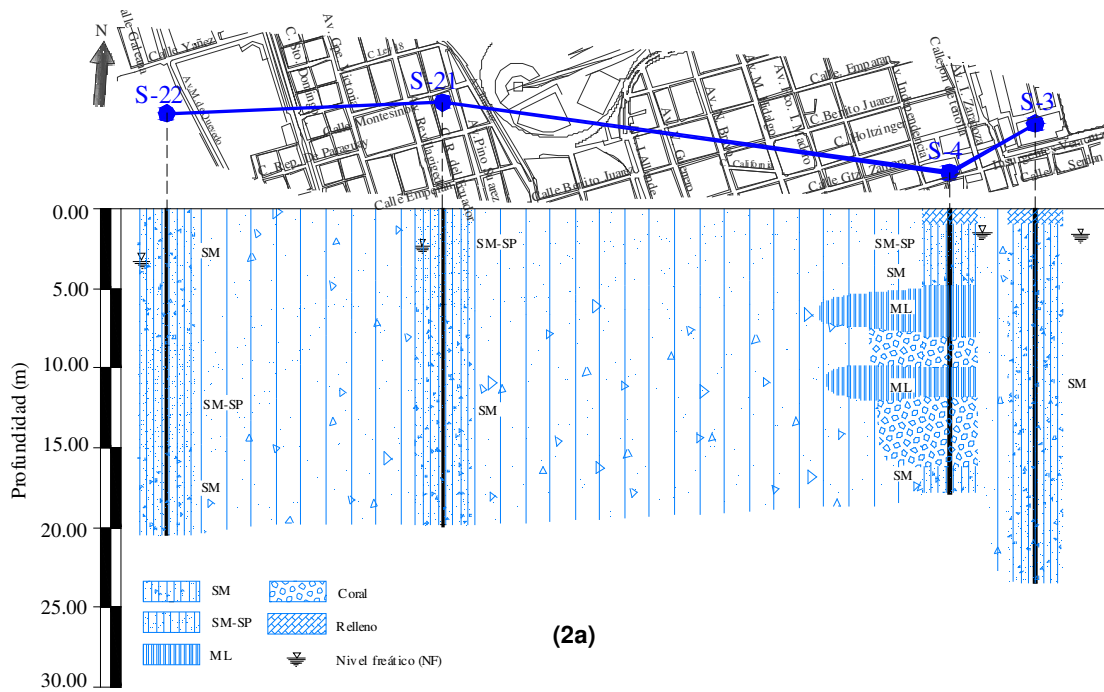
Depósito Aluvial (Qa)

Estos depósitos se encuentran entre los cordones de dunas y el río Jamapa, por su origen fluvial está compuesto por materiales alternados de arena, limo arcilloso y suelos orgánicos. Cabe mencionar que esta es conocida como un área de inundación.

GEOTÉCNIA

La resistencia de los suelos se midió con el número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT), estas pruebas fueron obtenidas de 24 estudios recopilados del subsuelo de la ZCV y se tuvo un promedio de 40 sondeos con SPT. La mayor parte de estos estudios se localizan en los depósitos de dunas y playa (ver figura 1), para obtener el perfil estratigráfico representativo de un estudio se tomó las características medias

de los sondeos realizados en el terreno de estudio. Con estos perfiles estratigráficos se obtuvo los cortes estratigráficos A-A', B-B' y C-C' (Véase figura 2).



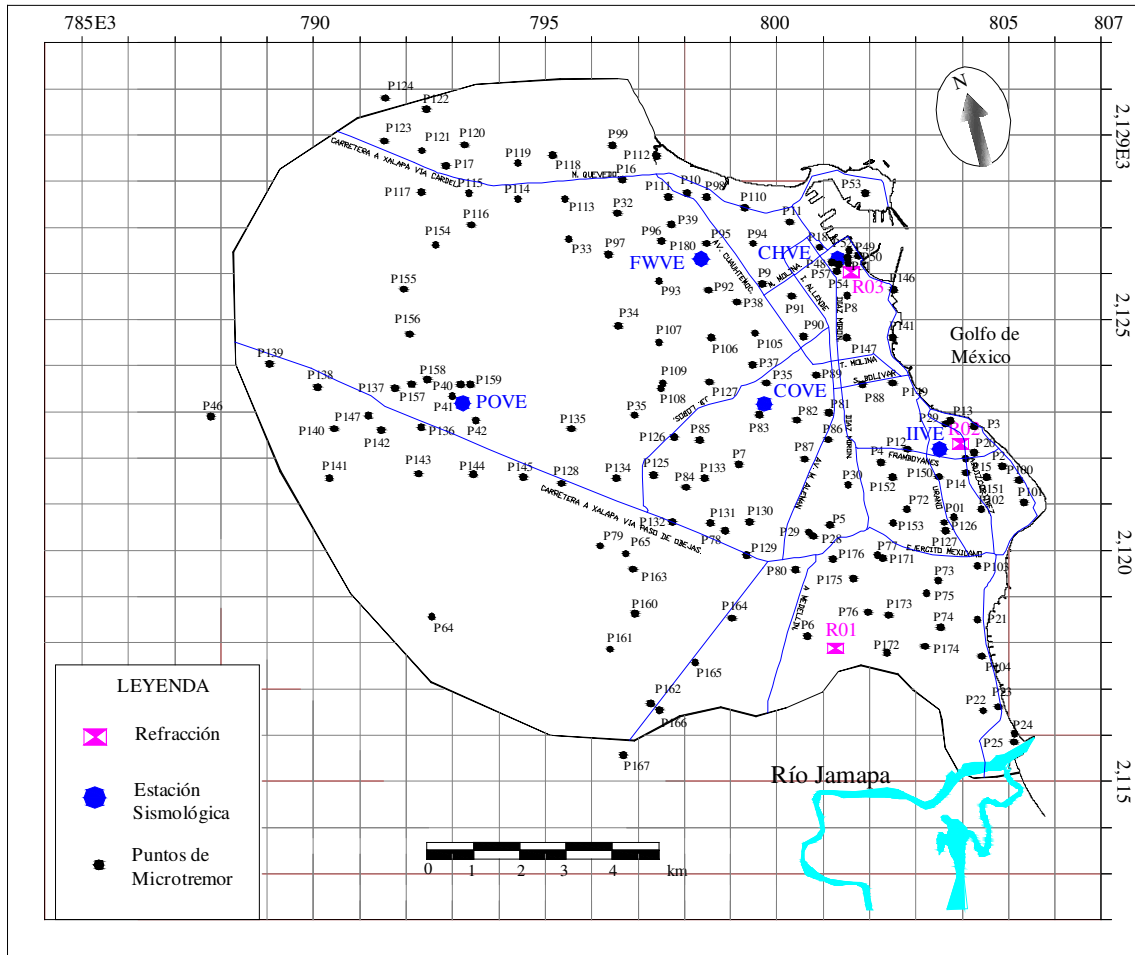


Figura 3. Mapa que muestra la ubicación de los puntos de microtremores, refracciones sísmicas y estaciones acelerográficas

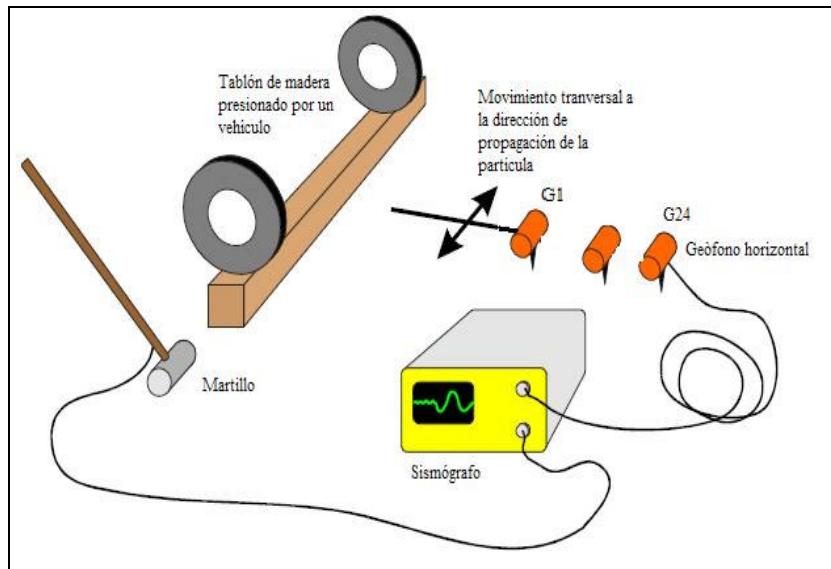
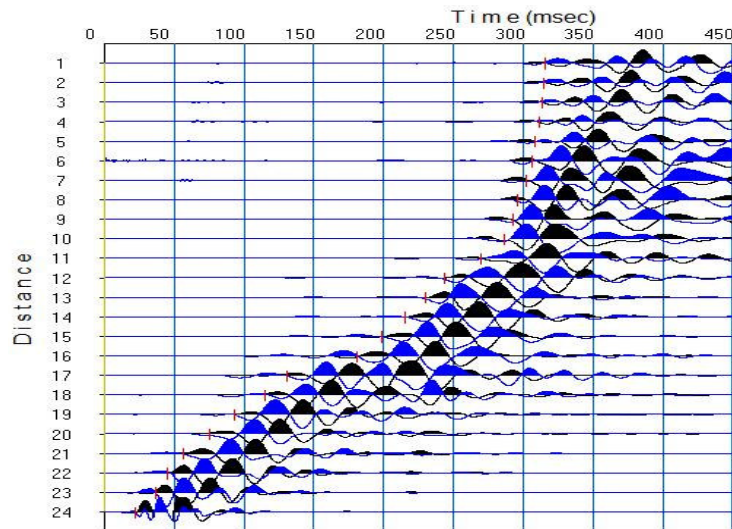
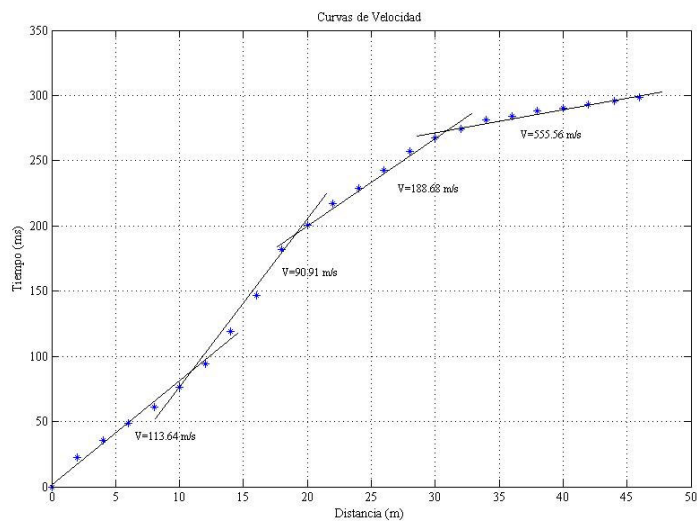


Figura 4. Refracción sísmica para obtener velocidades de onda SH



(a)



(b)

Figura 5. Procesamiento de datos de las refracciones sísmicas. (a) Identificación de primeros arribos, (b) dromocrónica.

Vibración ambiental

La respuesta dinámica de los terrenos debido a la amplificación de las ondas sísmicas por efectos locales esta relacionada, entre otros parámetros, con el periodo predominante de los suelos, por tal motivo se registró 176 mediciones de microtemores distribuidos uniformemente en toda la ZCV (aproximadamente un registro por kilómetro cuadrado). Para procesar los datos se uso la técnica de Nakamura (HVNR).

Registro de Temblores

Williams et al. (2003) obtuvieron coeficientes espectrales, con registros de sismos locales y regionales de una red acelerográfica temporal, de algunas áreas de la ZCV, esta red temporal pertenece a la red acelerográfica de la ciudad de Veracruz (www.uv.mx/acelerografica). Los métodos que ellos usaron para obtener estos

coeficientes fueron: el método estándar (SSR) y el HVSR para algunos casos. En este trabajo se tomaron los resultados obtenidos por estos investigadores con la finalidad de conocer la amplificación real de los terrenos. La ubicación de las estaciones temporales se muestra en la figura 3.

ANÁLISIS DE DATOS Y METODOLOGÍA

Con la información geológica, geotécnica, geofísica y registros de temblores se analizó la respuesta dinámica de los suelos con la siguiente metodología.

1.- Con las mediciones de microtemblores se halló la función de transferencia empírica del suelo (FTE) por cada punto de registro, pero como teníamos más de un registro por punto se obtuvo el promedio espectral (FTEP), este proceso se realizó en la componente NS y EW; como ejemplo se puede presentar la figura 6, la cual muestra el registro en el punto 37. En esta figura las líneas delgadas representan las relaciones espectrales de cada registro y la línea negra gruesa, el promedio espectral.

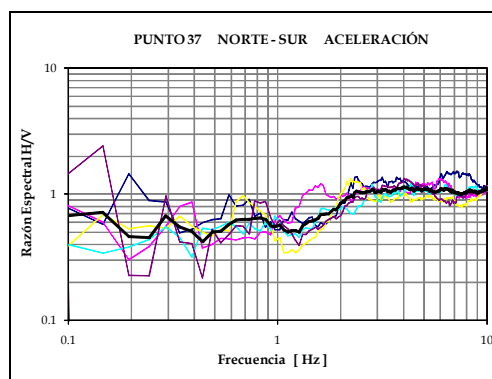


Figura 6. Funciones de transferencia empírica promedio en un punto, FTEP

2. Se agrupó las FTEP de los puntos que pertenecen a un mismo depósito geológico y se observó que no todos los puntos tenían la misma forma espectral de la FTEP, por lo cual se reagrupó los puntos de acuerdo a la forma espectral de la FTEP. Con esta selección se encontró cuatro familias de formas espectrales, es decir la ZCV quedó dividida en cuatro zonas.

3. Para validar las zonas encontradas se determinó las funciones de transferencia teórica (FTT), ya que esta función depende de las propiedades del suelo. Se usó el método de Haskell (1962) el cual permite calcular la función de transferencia en la superficie de un medio estratificado teniendo las características de los estratos como: espesor, velocidad de propagación de ondas, densidad, amortiguamiento, el tipo de ondas incidentes (P o S), el ángulo de incidencia (γ) y el ángulo de polarización (θ) de las mismas. En el presente estudio, se consideró el caso de incidencia vertical ($\gamma=0$) de ondas S polarizadas horizontalmente ($\theta=0$, ondas SH).

Los valores de velocidad de ondas SH para cada estrato fueron tomados de los resultados de refracción sísmica, el espesor de estas capas se calcularon con el cambio de resistencia de los suelos observados en los perfiles estratigráficos de la zona.

En cuanto al amortiguamiento; existen varias relaciones empíricas propuestas para determinar este valor, por ejemplo; Seed e Idriss (1970) sugieren el uso de curvas para determinar el amortiguamiento en arenas, estas curvas relacionan el amortiguamiento con la deformación angular del material, y Aviles y Trueba (1991) proponen valores de amortiguamiento según la naturaleza del suelo. En este estudio se consideró que la deformación angular (γ) inducida por sismo intensos se encuentran en el rango de $2 \cdot 10^{-2} \%$ a $8 \cdot 10^{-2} \%$ (Díaz Rodríguez, 2000) lo cual implica un amortiguamiento en arenas de 2% a 8% del crítico (curvas de amortiguamiento de Seed e Idris, 1970 y Abraham Díaz, 2000).

Por otro lado, los valores de densidad fueron calculados mediante el peso volumétrico ($\gamma=\rho \cdot g$) el cual se encuentra en el rango de 1.590 kg/m^3 a 1.950 kg/m^3 (Esquivel, 1976).

4. Para ajustar y validar la amplificación dinámica y el periodo de vibración de cada zona se determinó la amplificación y el periodo con los coeficientes espectrales de registros sísmicos.

5. Finalmente las condiciones del terreno de cada zona fueron clasificadas según el código de construcción NEHRP (The National Earthquake Hazard Reduction Program USA). De acuerdo a este código los suelos se clasifican en seis grupos como se muestra en la tabla 1. Para estimar la velocidad de ondas de corte VS30 (velocidad promedio en los 30 primeros metros) se uso la fórmula (1) (Boore, 2004).

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

Tabla 1. Clasificación de suelos usando VS30 como indicador de la respuesta se suelo según NEHRP.

TIPO DE SUELO	DESCRIPCION DEL SUELO	V _{s30} (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760 – 1500
C	Suelo muy denso	360 – 760
D	Suelos arenosos	180 – 360
E	Suelos blandos	<180
F	Suelos especiales	-

RESULTADOS

La figura 7 muestra las cuatro zonas obtenidas con este análisis. A continuación se describirá cada zona en forma decreciente del efecto de sitio.

Zona IV

La forma espectral de esta zona se muestra en la figura 8. Con el corte estratigráfico B-B y con otros perfiles estratigráficos ubicados en esta zona se determinó las características y resistencia media del subsuelo. Esta zona está conformada básicamente por suelos finos (arena limosa, limos de alta y baja compresibilidad y presencia de estratos de arcilla de baja y alta plasticidad). La bibliografía reporta que en esta zona se puede encontrar material orgánico (OH u OL, Páez Andrade, 2001). La resistencia de estos materiales según la profundidad es la siguiente: de 0.0 m a 4.00 m, de profundidad aproximada, la resistencia es media (10<N<30); de 4.00 m a 9.00 m, se tiene un cambio de material con resistencia baja (5<N<10); de 9.00 m. a 14.00 m, la resistencia del material es media; de 14.00 m a 18.00 m, se tiene una resistencia alta (30<N<50) y finalmente, de 18.00 m a 30.00 m (profundidad asumida), la resistencia es baja. Las velocidades de onda SH asignadas para esta zona son un promedio de los valores obtenidos en la refracción R01 y R02, los amortiguamientos se obtuvieron suponiendo el rango de deformaciones inducidas por un sismo intenso, se tomó 0.04 de amortiguamiento crítico para las capas de resistencia baja y media, y 0.01 para la capa de base, valor promedio encontrado en la bibliografía (Bollinger, 1980). La densidad para cada capa se calculó con la información de Esquivel (1976). Con estos datos se tiene el modelo estratigráfico presentado en la tabla 2.

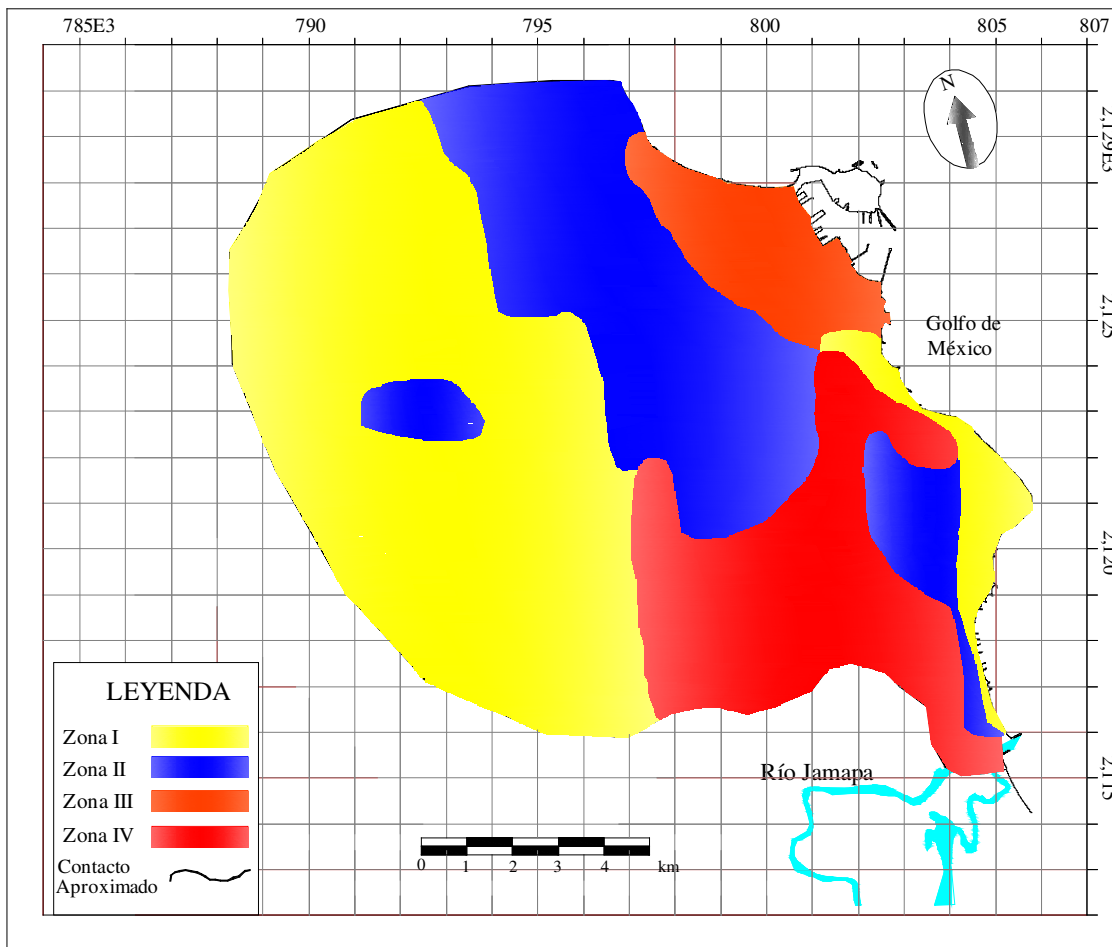


Figura 7. Zonificación dinámica de la ZCV

Tabla 2. Modelo estratigráfico para la zona IV.

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	(l)
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

La FTT para las componentes horizontales se muestra en la figura 8, la frecuencia dominante para esta zona se encuentra en el rango de 2.0 Hz a 3.0 Hz con amplificación promedio de 6 veces.

Una estación acelerográfica temporal (IIVE) se ubica dentro de esta zona, por lo tanto se validó la FTT con la función de transferencia obtenida de los registros de temblores (Riquer et al. 2003).

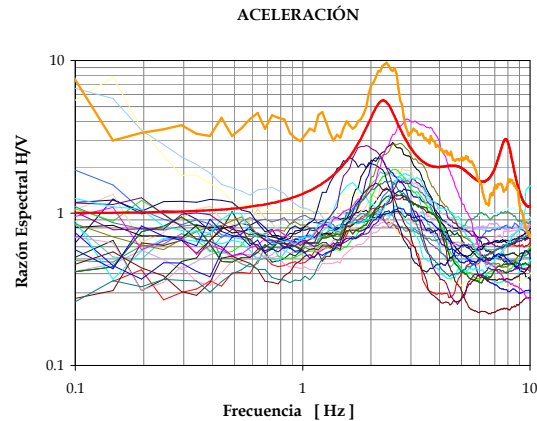


Figura 8. Líneas delgadas, FTEP; línea gruesa roja, FTT; línea gruesa naranja, FTT con el método SSR.

Zona III

Esta zona abarca parte de las zonas de playa y dunas. Con el corte estratigráfico A-A se determinó las características y resistencia media del subsuelo, el cual está formado por arenas finas limosas con resistencias según se indica a continuación. De 0.0 m a 2.50 m, de profundidad aproximada, la resistencia es media ($10 < N < 30$); de 2.50 m a 9.50 m, resistencia baja ($5 < N < 10$) y de 9.50 m. a 11.50 m, alta resistencia ($30 < N < 50$). Se debe mencionar la presencia de corales de 8.00 m a 12:00 m, aproximadamente, en el perfil estratigráfico S-4, esta estructura es resistente y muy porosa de esqueletos orgánicos y calcáreos; según Esquivel (1976), *el coral se encuentra empacado en una matriz de arena con graduación fina a media con presencia de conchas*. Las velocidades de onda SH se obtuvieron del perfil sísmico de refracción R01, 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 3.

Tabla 3. Modelo estratigráfico de la zona III.

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	(1)
1	3.0	1.5	190.0	0.04
2	2.5	1.4	92.0	0.04
3	2.5	1.6	294.0	0.04
Base	-	1.9	450.0	0.01

La FTT para cada componente se muestra en la figura 9. En esta misma figura se presenta la FTT usando la técnica SSR y HVSR con los sismos de la estación CHVE.

Finalmente, la frecuencia dominante de esta zona se encuentra en el rango de 2.0 Hz. a 3.0 Hz. con una amplificación aproximada de 5 veces.

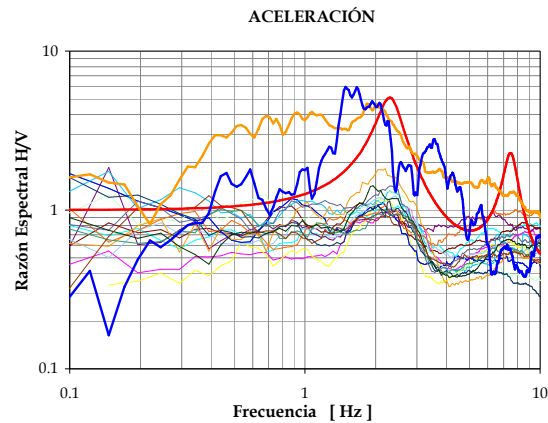


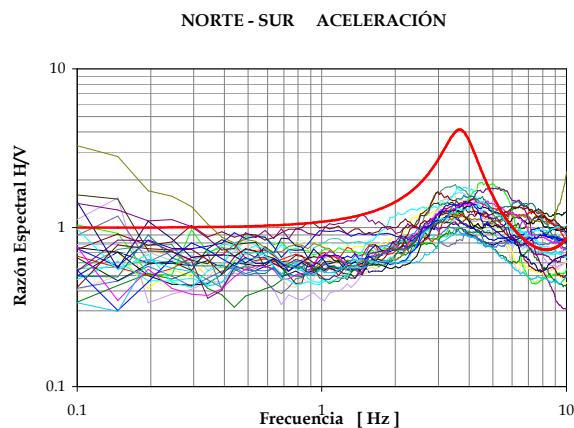
Figura 9. Líneas delgadas, FTEP; línea gruesa roja, FTT; línea gruesa azul, función de transferencia teórica con HVSR; línea gruesa naranja, función de transferencia teórica con SSR.

Zona II

Esta zona abarca la mayor parte de la zona geológica de dunas. El subsuelo está formado básicamente por depósitos de arena fina limosa el cual tiene resistencia baja de 0.0 m a 3.0 m de profundidad ($5 < N < 10$), resistencia media de 3.0 m a 5.5 m ($10 < N < 30$) y resistencia alta de 5.5 a 8.0 ($30 < N < 50$). Es de importancia resaltar la presencia de una capa de arcilla orgánica (OH y OL) de consistencia baja, a 5.0 m de profundidad y 2.0 m de espesor, en el perfil estratigráfico 7. Para cada una de las capas se asumieron velocidades de corte, con base a los valores de velocidad encontrados en el análisis de refracción sísmica R02. Los valores de amortiguamiento y densidad fueron tomados bajo las mismas consideraciones de las zonas anteriores. El modelo estratigráfico se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Modelo estratigráfico para la zona II

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	(%)
1	3.0	1.5	150.0	0.04
2	2.5	1.4	100.0	0.04
3	2.5	1.6	250.0	0.04
Base	-	1.9	450.0	0.01



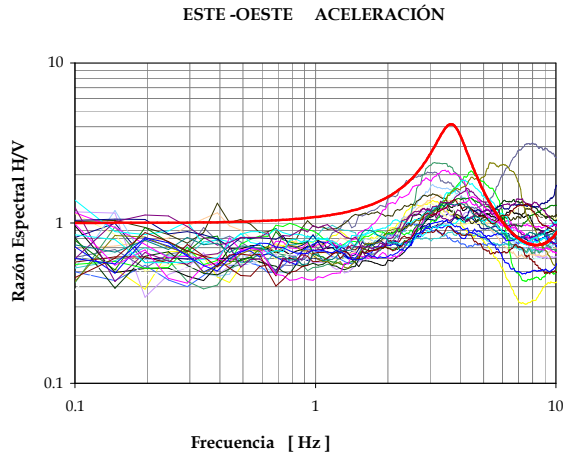


Figura 10. Líneas delgadas FTEP, línea roja, FTT.

La FTT es una envolvente de las FTEP y la frecuencia dominante se encuentra en el rango de 3.0 Hz a 4.0 Hz con una amplificación relativa aproximada de 4 veces. La componente N-S tiene menos amplificación que la componente E-O, esto se debería a que las dunas se encuentran orientadas en dirección NS.

Zona I

Esta zona abarca la mayor parte de los depósitos de Aluviales y de Playa. Para definir mejor las características y resistencia de los suelos se puede dividir esta zona en dos subzonas como; Zona Ia y Zona Ib, la primera zona sería la que se encuentra en el depósito de Playa cuyo subsuelo, de acuerdo al corte estratigráfico C-C, está formado por depósitos de arena fina limosa desde la superficie de terreno natural hasta, aproximadamente 6.0 metros de profundidad, este material tiene resistencia media ($10 < N < 40$). En algunas partes se localizan suelos finos (CL, MI) y material orgánico (OL y TB). Debajo de los depósitos de resistencia media se encuentra otro depósito de arena fina limosa con alta resistencia ($40 < N < 60$). Es importante mencionar la existencia de capas de corales a 16 m de profundidad aproximadamente.

El subsuelo de la Zona Ib está formado por una capa superficial de 7.00 m, aproximadamente, de arena fina limosa con resistencia media ($10 < N < 30$). Debajo de los depósitos de resistencia media se encuentra un material arenoso (SP-SM) con alta resistencia (N, mayores a 40 golpes). Es de importancia mencionar que por ser esta zona un depósito de aluvial puede existir capas de arcilla (CH o CL).

El valor de velocidad de onda de corte SH fue asumido tomando como referencia los datos del perfil sísmico R01. Los valores de amortiguamiento y densidad fueron tomados bajo las mismas consideraciones anteriores. El modelo estratigráfico se presenta en la tabla 5.

En cuanto a las funciones de transferencia empírica promedio, muestran un pico predominante a 9 HZ en las curvas espectrales como se observa en la figura 11. Esta respuesta se debería a la resistencia media de los depósitos de suelo superficiales de 6.00 m de espesor.

Tabla 5. Modelo estratigráfico para la zona I

Nº	H	ρ	β	ξ
	(m)	(t/m ³)	(m/s)	(1)
1	6.50	1.4	160.0	0.03
Base	-	1.9	350.0	0.01

La FTT resultó ser una curva envolvente de la FTEP, lo cual indica que el modelo supuesto es el aproximado.

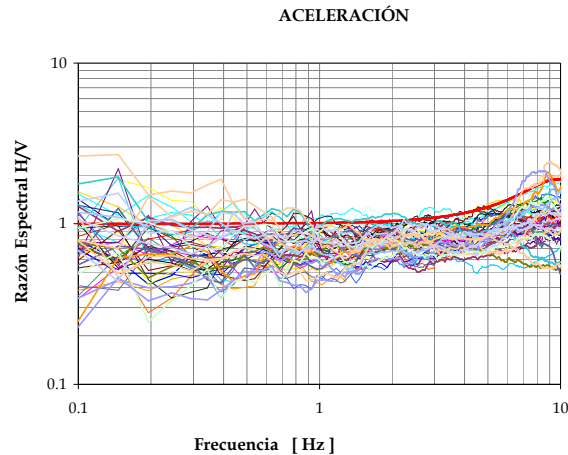


Figura 11. Funciones de transferencia en la zona I, Líneas delgadas: FTEP y Líneas gruesas rojas: FTT.

Con los valores de ondas SH en cada zona se determinó la velocidad promedio VS30, como los modelos estratigráficos no llegaron a 30 m se asumió que la velocidad de la base continúa hasta los 30 m. Con el valor encontrado se clasificó cada zona con las condiciones del código NERHP, esta clasificación se presenta en la tabla 6 y en la figura 12.

Tabla 6. Valores de VS30 y clasificación con el Código NERHP 2000.

ZONA	VS30 (m/s)	TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
I	377.78	C	Roca o suelo duro
II	268.65	D	Suelos arenosos
III	218.72	D	Suelos arenosos
IV	197.41	E	Suelos blandos

Asimismo se clasificó cada zona con la Norma Complementaria de CFE de 1993, con la intención de comparar los resultados obtenidos con el código NERHP. Según la norma de CFE la ZCV pertenece a la zona sísmica B de la carta de zonificación sísmica de la República Mexicana, los valores de velocidad de ondas de corte y periodo dominante característicos de esta zona son 400 m/s y 5.3 s respectivamente. Los valores de velocidad promedio efectivo y periodo dominante específicos de cada zona se hallaron bajo las condiciones establecidas en la norma CFE. Con estos valores se halló la clasificación mostrada en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de la ZCV con la norma CFE de 1993.

ZONA	V _s (m/s)	T _s (s)	TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
I	224.00	0.100	III	Suelo blando
II	138.46	0.260	III	Suelo blando
III	119.73	0.384	III	Suelo blando
IV	197.41	0.453	III	Suelo blando

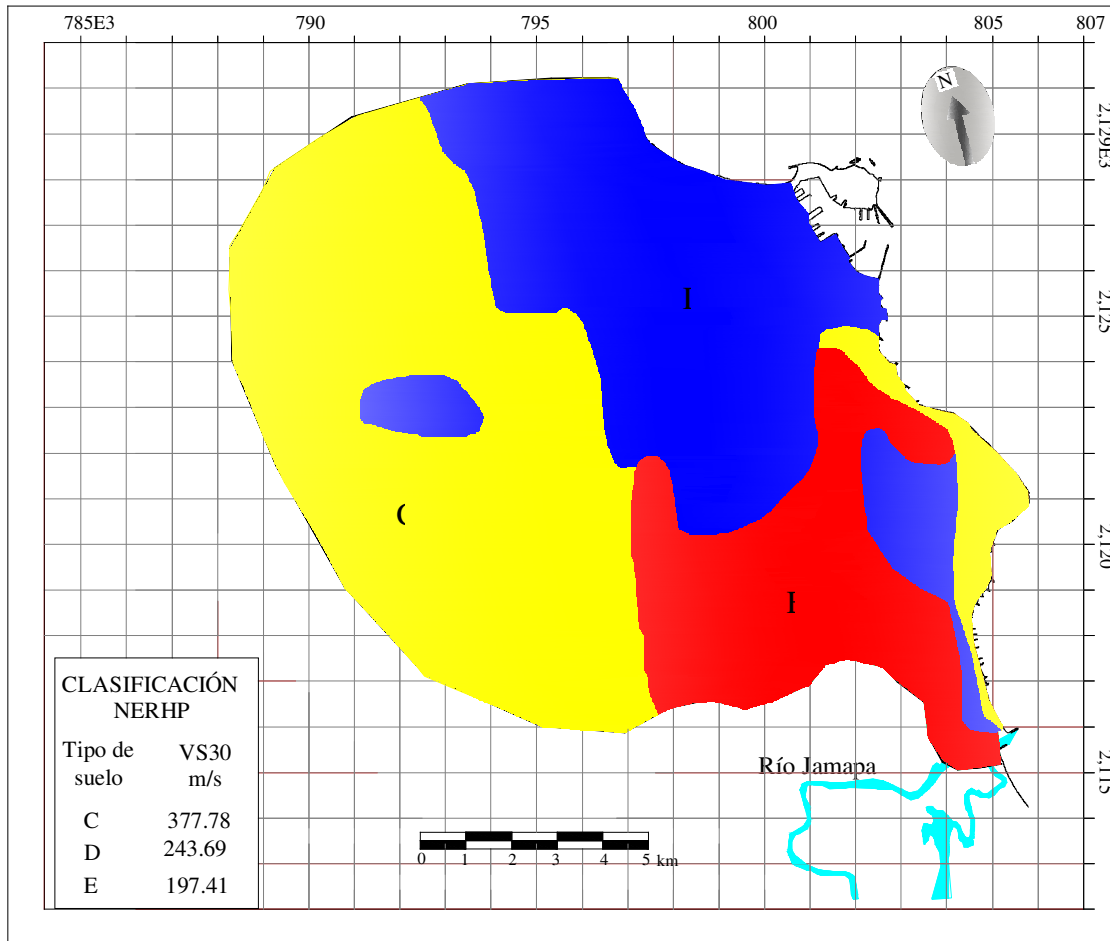


Figura 12. Clasificación de los terrenos de cimentación de la ZCV, con fines de diseño sísmico

CONCLUSIONES y COMENTARIOS

La respuesta dinámica de los suelos no es dependiente de la clasificación geológica, pues se pudo agrupar diferentes formas espectrales en una misma zona geológica.

El efecto de sitio es mayor en la zona IV esto se debería a la existencia de paquetes de material arcilloso y limos-arcillosos provenientes del depósito aluvial en la zona baja y de inundación de la ZCV. Asimismo el menor efecto de sitio se encuentra en la zona I, la cual se localiza en la otra parte de los depósitos Aluviales, en las inmediaciones de la zona industrial y del aeropuerto donde la resistencia del suelo es mayor, y en los depósitos de Playa. Dentro de esta zona se encuentra un área cuya respuesta dinámica corresponde a la zona II, esto se debería a la intercalación de materiales finos y granulares de origen aluvial los cuales tienen mayor efecto de sitio.

Se debe tener precaución en el diseño estructural dentro de la zona IV, ya que su amplificación es casi 6 veces, además las referencias bibliográficas (I.Paez, 2000) señalan que algunas edificaciones ubicadas dentro de esta área sufrieron asentamientos diferenciales después de su construcción.

El efecto de sitio de la zona III es menor al de la zona IV, pero es de importancia por encontrarse el periodo dominante en el rango de 2.0 Hz a 3.0 Hz, además dentro de esta zona se ha encontrado material de baja resistencia a los 4.0 m de profundidad, el cual sería el causante del efecto de sitio. Se debe tener presente que la amplificación de esta zona es moderado (4 veces)

La Zona II es la que ocupa mayor área después de la zona I, el efecto de sitio de esta zona es moderado, sin embargo se debe tener en cuenta el efecto bidimensional debido a la orientación de las dunas.

Por otro lado, las FTT de todas las zonas son una curva envolvente de las FTEP, esto comprueba que los modelos estratigráficos se aproximan a las condiciones de los suelos.

Según el código NEHRP existen tres tipos de material clasificados como tipo C, D y E, en contraste con la clasificación de CFE que agrupa a toda la ZCV como un solo tipo de suelo, lo cual haría que un diseño sísmico sea conservador. Los resultados encontrados con la clasificación del NEHRP son una alternativa interesantes para el análisis de riesgo sísmico y para el diseño sísmico de edificaciones.

RECONOCIMIENTOS

Al Ing. Juan Capallera Cabada, profesor de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz por su asesoría en la geotecnia e información de la ZCV.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz, Dr. Oscar Lenz Hernández e Ing. Mauricio Perez Hernández por habernos facilitado información geotécnica de la ZCV.

Al Ing. José Antonio Palacios Guevara por habernos facilitado información geotécnica de la ZCV.

Al Dr. Alejandro Vargas Colorado e Ing. Roberto Rivera Baizabal del Instituto de Ingeniería de la U.V. y los alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.V., Andrés Ramírez, Omar Badillo, Armando Hernández y Ulises J. Perez por su apoyo en la realización de las pruebas de campo.

A la M.C. Abigail Zamora Hernández del Instituto de Ingeniería de la U.V por su apoyo en las actividades relacionadas con la presente investigación.

Al M.C. Marcos Roberto Chavacán Avila de la UNAM por su apoyo en el manejo del equipo de refracción sísmica.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología (COVECyT) y Gobierno del estado de Veracruz por el apoyo recibido en el proyecto de investigación en desarrollo (2007-2008): Clasificación del Tipo de Terreno de Cimentación para Diseño Sísmico. Clave 37025 de Fondos Mixtos.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM por habernos facilitado equipo de refracción sísmica para la realización de las pruebas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

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

Boore D. M., 2004, **“Estimating Vs (30) (or NEHRP site classes) from shallow velocity models (depths < 0 m)”**. Bull. Seism. Soc. Amer., 94, pp.591-597.

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), **“, Veracruz, Ver.”**, 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.

Lermo J. and 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., 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.

Montalvo J.C., Quintanilla Y., Tamez M., Meneses L., Ramos M. and Masuch D.(2005), **“Microzonation of the Linares, Northeast Mexico area, based on geology and shear-wave velocity measurements”**, Geofísica Internacional, Vol. 44, Num. 4, pp. 331-340

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, F Williams, J Lermo, Torres G, R Leyva (2003),**“Microzonificación Sísmica de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río”**, Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

Seed Bolton H. (1986), **“Influencia de las condiciones locales de suelo en movimientos del terreno y en daños a edificios durante sismos”**, Octava conferencia Nabor Carrillo, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 187 pp.

Williams R. A., Wood S., Stephenson W. J., Odum J. K., Meremonte M.E., Street R. and Worley D. M., (2003). **“Surface seismic refraction/reflection measurement determinations of potential site resonances and the areal uniformity of NEHRP site class D in Memphis, Tennessee”**. Earth. Spectra, 19, 159-189.