

El periodo natural de vibración del suelo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

The natural vibration period of ground beneath Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

CARLOS NARCÍA LÓPEZ

ROBERTONY CRUZ DÍAZ

JORGE AGUILAR CARBONEY

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS (UNACH)

MARIO RAMÍREZ CENTENO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (UAM)

RAÚL GONZÁLEZ HERRERA

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS (UNICACH)

RESUMEN

Se presenta una propuesta de la microzonación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en relación con el periodo natural de vibración del suelo, obtenido del análisis de 96 mediciones de vibración ambiental registradas en la ciudad en 1994 y 2004.

Para la obtención del periodo natural se calculó el efecto de sitio mediante la técnica de coeficientes espectrales de Nakamura. Esta información se muestra en un mapa en el que se observa la variación del periodo de vibración en toda la ciudad. Para los eventos que no presentan la componente vertical del movimiento, se usó una modificación a la técnica desarrollada por el primer autor de este artículo. Además, mediante el modelo usado por Newmark y Rosenbleuth, se estimó la variación de los espesores de sedimentos que aportan el efecto de sitio en la zona, en la que se considera una velocidad promedio de ondas de corte en el medio de 150 m/s.

Los resultados obtenidos indican que los periodos varían desde 0.10 s hasta 0.53 s, lo que re-

presenta espesores de sedimentos desde los 3.82 m hasta los 19.95 m. Se concluye que el terreno en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez debe clasificarse como terreno firme, para las zonas rígidas, e intermedio para la mayoría del valle.

PALABRAS CLAVE

Nakamura, efecto de sitio, periodo natural, microzonación, Tuxtla Gutiérrez.

ABSTRACT

In this paper we present the microzonation of ground beneath Tuxtla Gutiérrez city, according to its vibration period, obtained from the analysis of 96 environmental noise recordings made in 1994 and 2004.

To estimate the natural period of vibration, we calculated the site effect using the Nakamura's technique. A modification to this technique was created by the author to use those recordings without the vertical component of motion. We estimated the thickness of sedimentary media that created the site effect, using the model used by Newmark and Rosenbleuth and a shear wave velocity of 150 m/s.

The periods obtained vary from 0.10 s to 0.53 s, representing thicknesses from 3.82 m to 19.95 m. We conclude that the ground in the city must be classified as hard, for the rigid zones, and intermediate for the rest of the valley.

KEY WORDS

Nakamura, site effect, natural period, microzonation, Tuxtla Gutiérrez.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se localiza en una región muy cercana a la zona sismogénica de sub-

ducción que presenta la placa de Cocos bajo la placa de Norteamérica en el sureste mexicano (figura 1). Esta interacción tectónica es la que genera la mayor cantidad de sismos en la zona y junto con el sistema de fallas Polochic-Motagua-Jocotán-Chamelecón, conocido como el límite tectónico entre las placas de Norteamérica y del Caribe, representan el origen de casi toda la energía sísmica liberada en la región, causante del peligro sísmico al que la ciudad está sujeta y en donde se han originado sismos de 7.8 grados de magnitud y sentido intensidades de X grados en la escala de Mercalli (Figuroa, 1974).

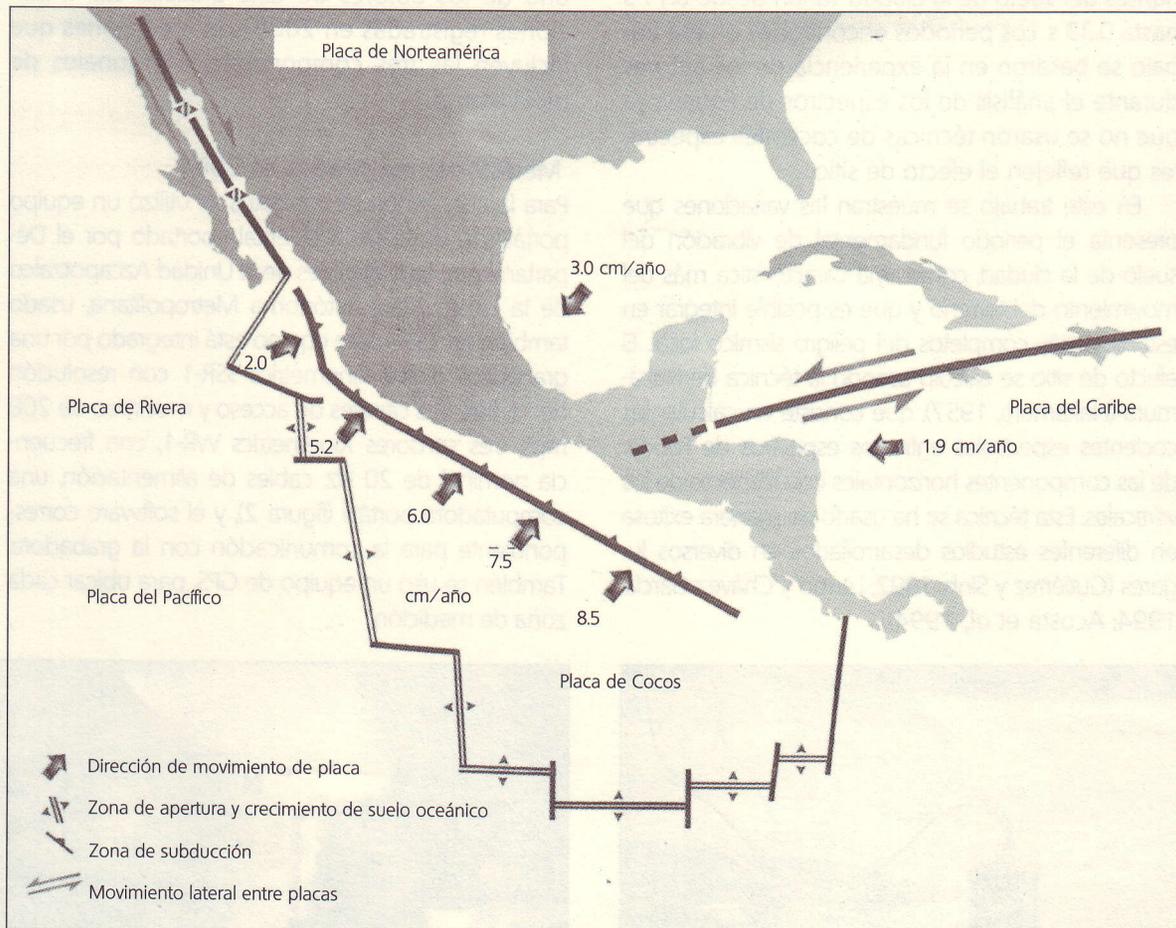


Figura 1. Mapa tectónico de la República Mexicana. Modificada del Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana (Cenapred, 2001).

El peligro sísmico en la región no está bien definido a causa de la carencia de estudios sismológicos que contribuyan al entendimiento del mismo. No existen trabajos que calculen los parámetros físicos del movimiento como desplazamientos, velocidades o aceleraciones esperadas; tampoco estudios que involucren aspectos estadísticos del fenómeno sísmológico, como periodos de retorno.

En 1994, un grupo de investigadores, profesores y estudiantes de la Universidad Autónoma de Chiapas y la Universidad Autónoma Metropolitana, interesados en el peligro sísmico de la ciudad, propusieron un mapa de isoperiodos basado en adquisiciones de vibración ambiental (Alonso et al., 1995), determinando que los periodos dominantes del suelo de la ciudad varían desde 0.11 s hasta 0.33 s. Los periodos encontrados en ese trabajo se basaron en la experiencia de los autores durante el análisis de los espectros de Fourier, ya que no se usaron técnicas de cocientes espectrales que reflejen el efecto de sitio.

En este trabajo se muestran las variaciones que presenta el periodo fundamental de vibración del suelo de la ciudad, como una característica más del movimiento del terreno y que es posible integrar en estudios más completos del peligro sísmico local. El efecto de sitio se calculó usando la técnica de Nakamura (Nakamura, 1957), que consiste en calcular los cocientes espectrales entre los espectros de Fourier de las componentes horizontales con respecto de las verticales. Esta técnica se ha usado de manera exitosa en diferentes estudios desarrollados en diversos lugares (Gutiérrez y Sinh, 1992; Lermo y Chávez-García, 1994; Acosta et al., 1994).

Además del peligro sísmico, en la ciudad existe un alto grado de riesgo debido a la vulnerabilidad de los tipos de estructuras para edificar más usados en la zona. Si se considera que la ciudad ha presentado en los últimos años un acelerado crecimiento urbano, también es necesario y prudente comenzar a estudiar cuál es el nivel de riesgo sísmico local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos usados corresponden a 75 mediciones de vibración ambiental grabadas en 1994 y 21 mediciones en 2004. Las mediciones registradas en 1994 y que carecen de componente vertical, fueron aportadas por Mario Ramírez Centeno, uno de los autores de este artículo. Las mediciones registradas en 2004 son mediciones que incluyen las tres componentes ortogonales de movimiento.

Mediciones registradas en 2004

Para la adquisición de los datos se utilizó un equipo portátil de vibración ambiental aportado por el Departamento de Materiales de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana, usado también en 1994. Este equipo está integrado por una grabadora digital Kinometrics SSR-1 con resolución de 16 bits, tres canales de acceso y muestreo de 200 mps, tres sensores Kinometrics WR-1, con frecuencia nominal de 20 Hz, cables de alimentación, una computadora portátil (figura 2), y el software correspondiente para la comunicación con la grabadora. También se usó un equipo de GPS, para ubicar cada zona de medición.

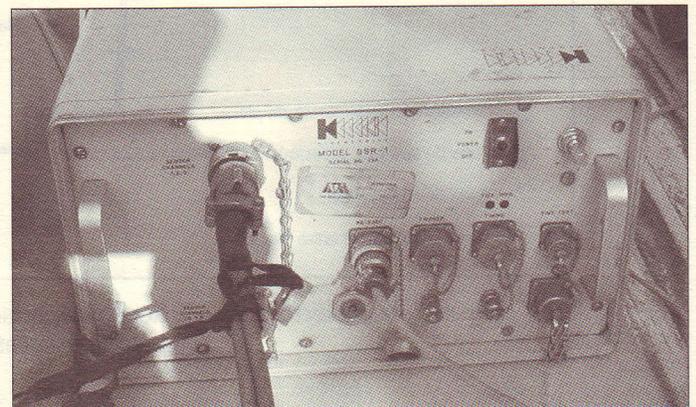
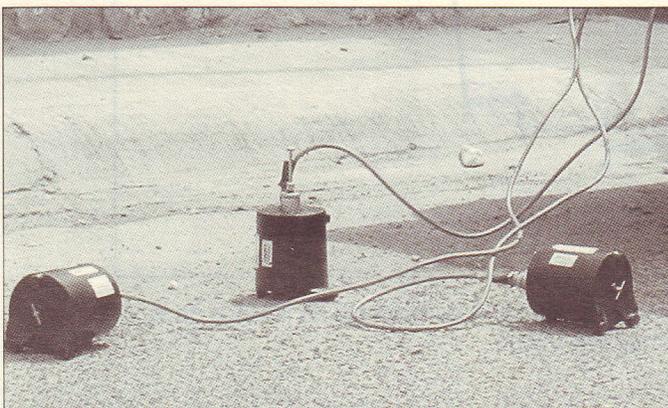


Figura 2. Sensores WR-1 y grabadora digital SSR-1.

Con la finalidad de abarcar la mayor cantidad de área dentro de la mancha urbana, se seleccionaron diferentes puntos o zonas dentro de la misma. Sin embargo, por cuestiones

técnicas, únicamente se pudieron completar 21 registros. En la tabla 1 se muestran las ubicaciones de las mediciones realizadas, marcadas en la figura 3.

Tabla 1. Ubicación de los 21 registros adquiridos en 2004.

No	Identificación	Latitud N	Longitud O
1	Colegio Andes	16.741	93.193
2	El Arenal	16.754	93.186
3	El Campanario	16.763	93.183
4	Tecnológico de Monterrey	16.764	93.200
5	Entrada Libramiento Norte	16.771	93.193
6	Plan de Ayala Norte	16.774	93.186
7	Feria Chlapas	16.789	93.177
8	Libramiento Norte y Carretera Chicoasén	16.776	93.174
9	Juan Crispín	16.769	93.178
10	San José Terán	16.739	93.178
11	Aeropuerto Francisco Sarabia	16.750	93.171
12	Rastro	16.724	93.172
13	Emiliano Zapata	16.729	93.168
14	Panteón Terán	16.745	93.164
15	Ampliación Terán	16.752	93.161
16	Caña Hueca	16.758	93.143
17	Jardín de las Flores	16.772	93.128
18	Cueva del Tigre	16.771	93.155
19	Electricistas	16.765	93.138
20	Alborada	16.764	93.153
21	Nuevo Edén	16.770	93.161

En cada punto se adquirieron 10 registros de tres componentes de velocidad (norte-sur, este-oeste y vertical) con 60 segundos de duración cada uno. En la figura 4 se muestran las 10 mediciones adquiridas en el sitio 3 (El Campanario).

El proceso posterior al registro y adquisición de datos se desarrolló con algoritmos usados comúnmente en el procesado de los datos sísmológicos y con algoritmos creados en ambiente Matlab.

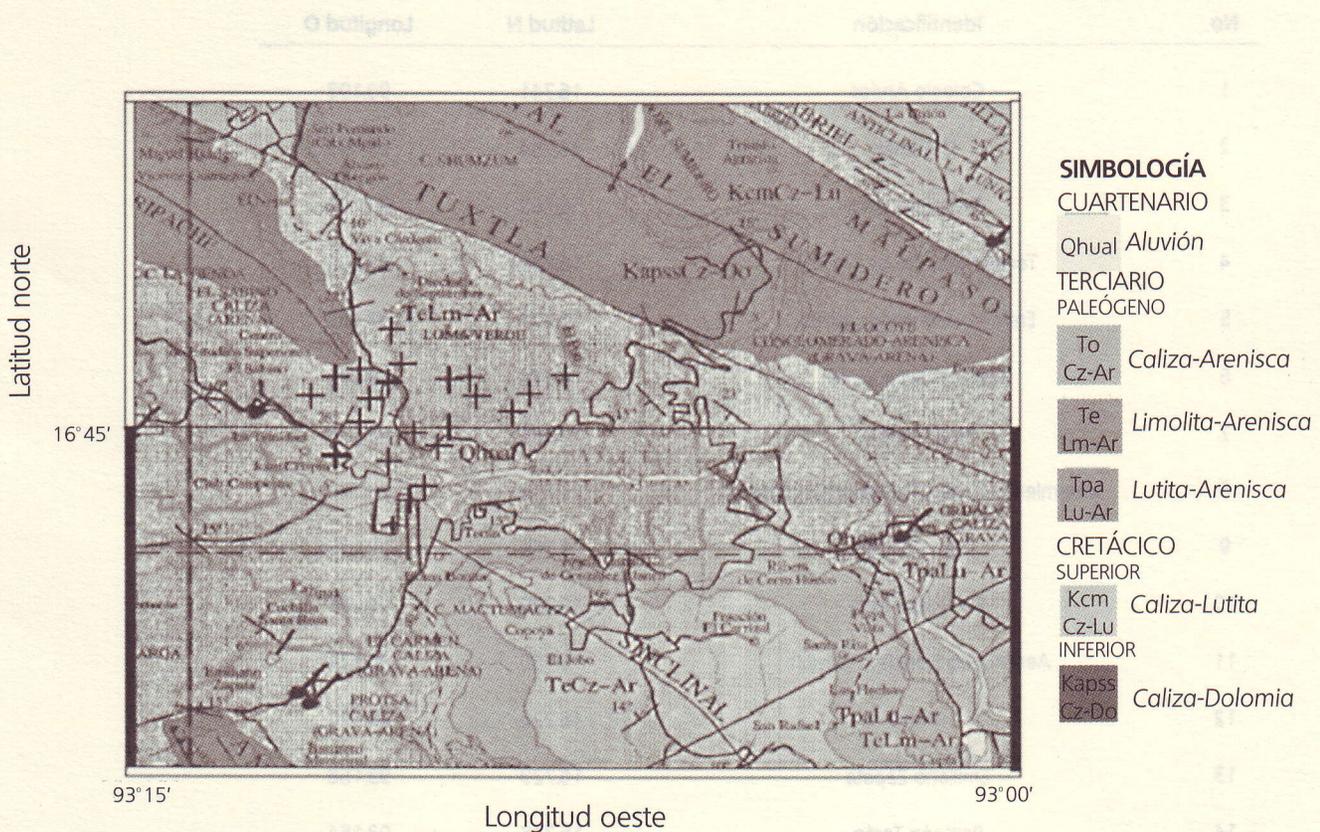


Figura 3. Mapa geológico-minero de la región, que incluye a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Se señalan con "+" los sitios de registro en 2004. Modificado de la Carta Geológica Minera E15-11 (Martínez et al., 2005).

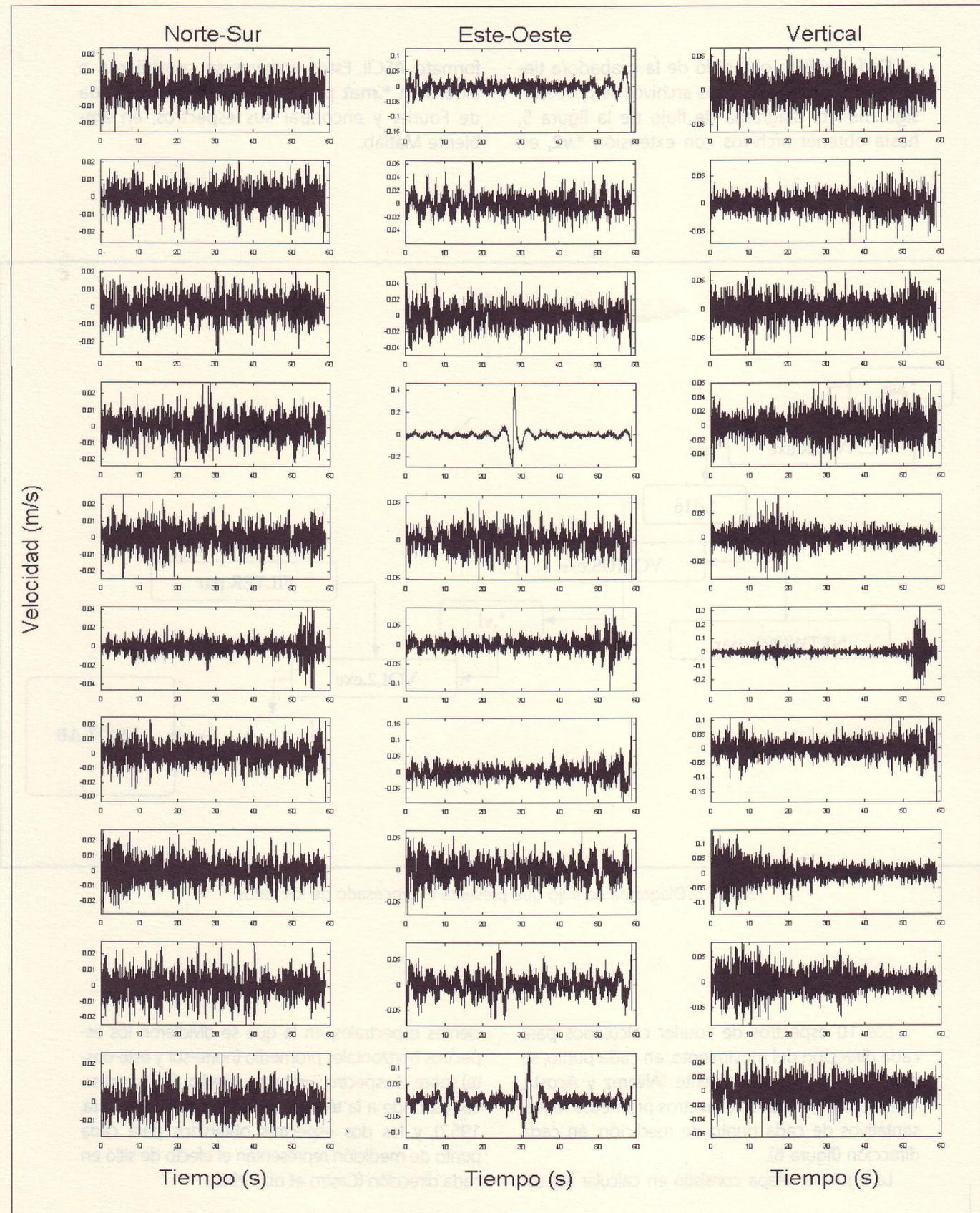


Figura 4. Registros de velocidad del punto 3, El Campanario.

Cada registro obtenido de la grabadora tiene la extensión ***.ssr**. Estos archivos se procesan siguiendo el diagrama de flujo de la figura 5, hasta obtener archivos con extensión ***.v2**, en

formato ASCII. Estos archivos se convirtieron a extensión ***.mat** para calcular su transformada de Fourier y encontrar sus espectros, en ambiente Matlab.

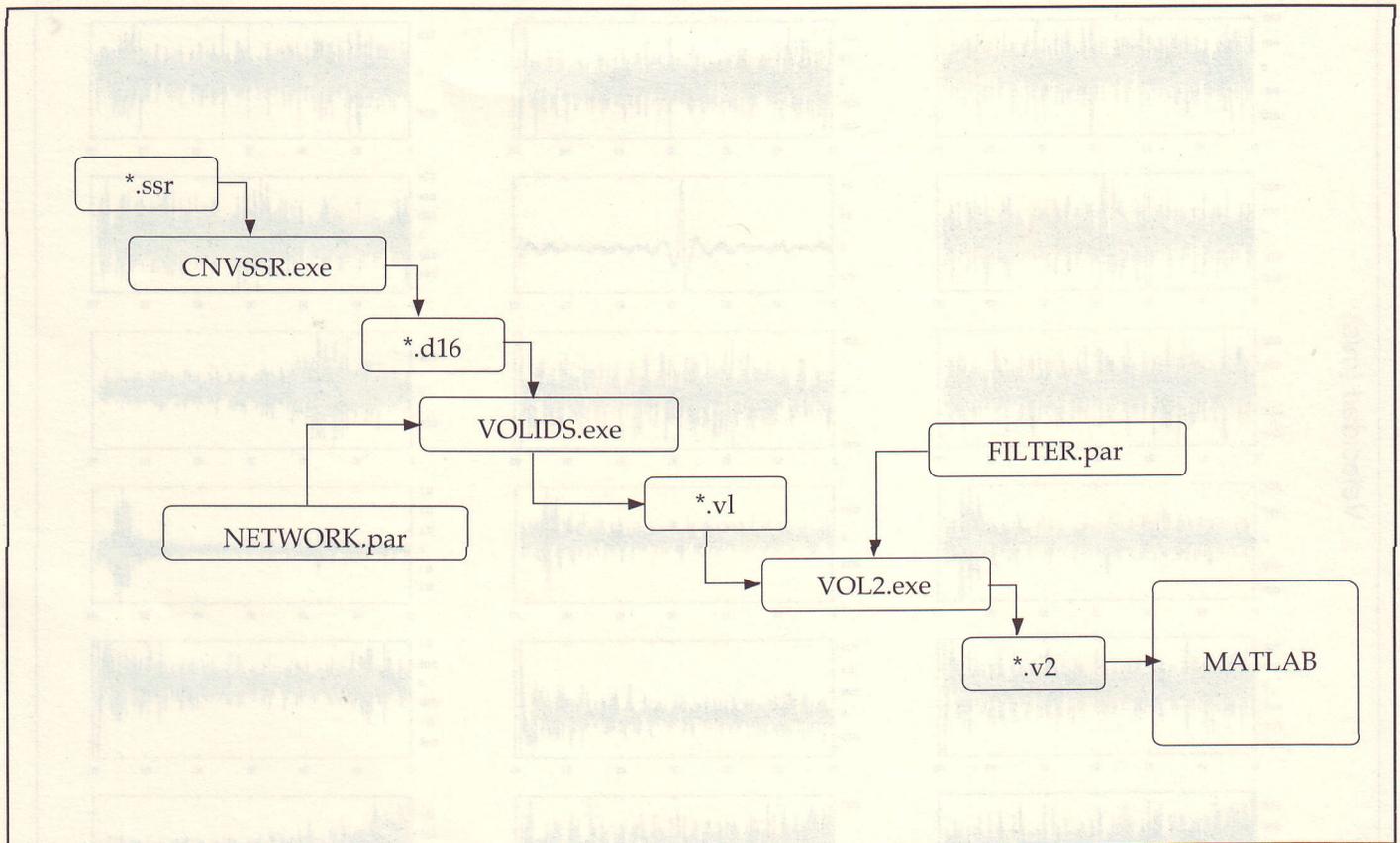


Figura 5. Diagrama de flujo que presenta el procesado de los datos.

Los 10 espectros de Fourier calculados para cada dirección del movimiento, en cada punto, se promediaron aritméticamente (Álvarez y Acosta, 1997), obteniendo los espectros promedio representativos de cada punto de medición, en cada dirección (figura 6).

La siguiente etapa consistió en calcular los co-

eficientes espectrales, en la que se dividieron los espectros horizontales promedio (norte-sur y este-oeste) sobre el espectro vertical promedio. Este proceso corresponde a la técnica de Nakamura (Nakamura, 1957), y los dos espectros obtenidos para cada punto de medición representan el efecto de sitio en cada dirección (Castro et al., 1996).

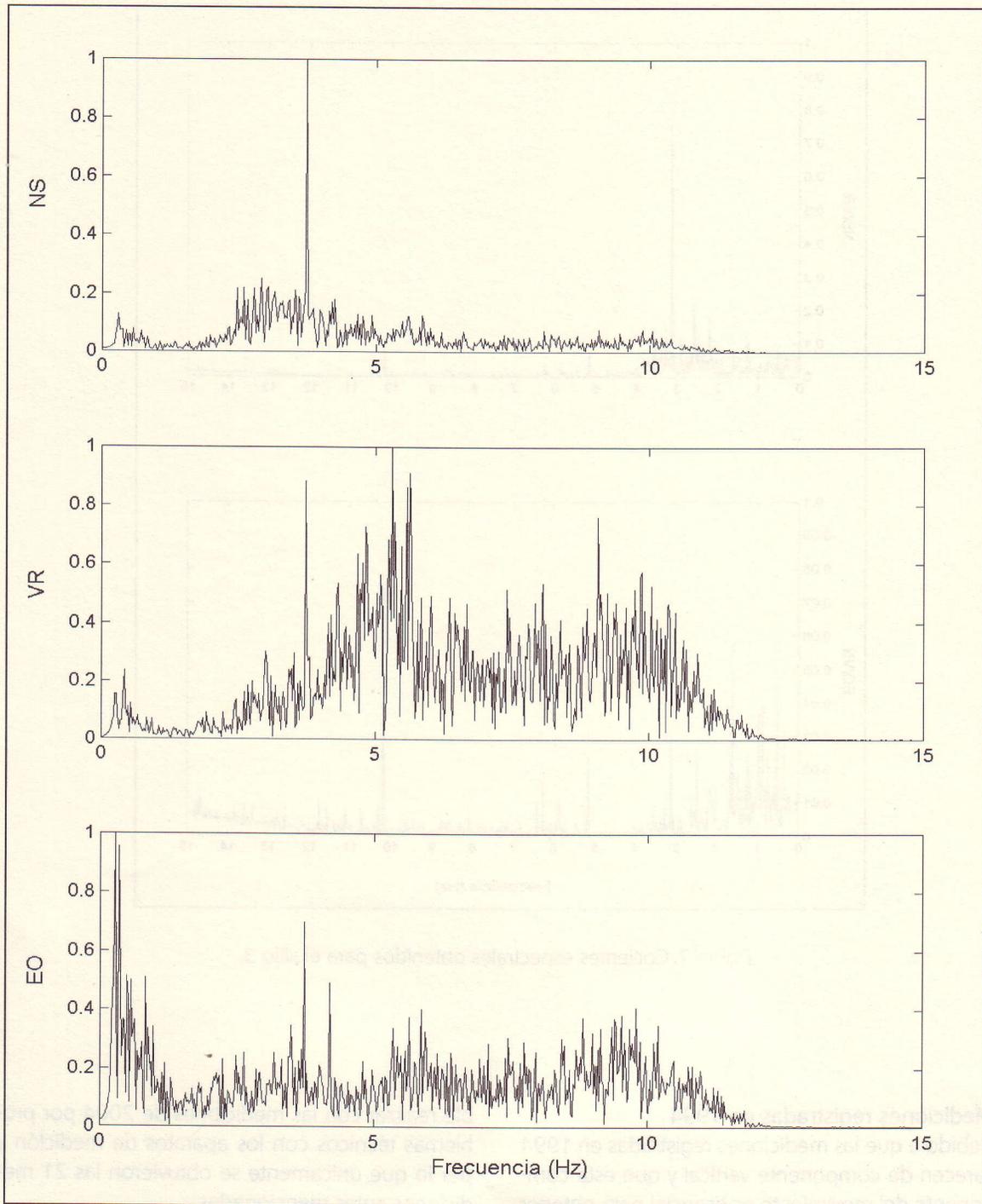


Figura 6. Espectros promedio normalizados, para cada dirección de movimiento, correspondientes al sitio 3.

Estos espectros aportan información acerca de los periodos a los que vibra preferentemente el medio o

cuenca sedimentaria. En la figura 7 se muestran los cocientes espectrales obtenidos para el sitio 3.

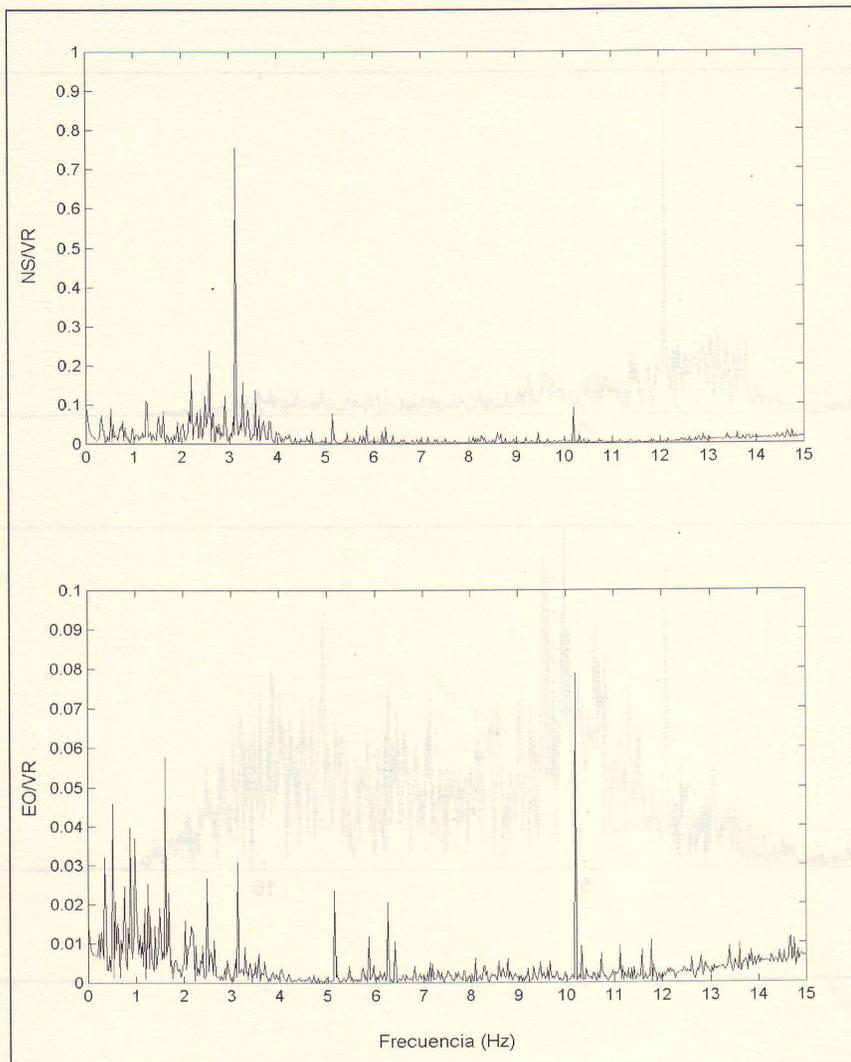


Figura 7. Cocientes espectrales obtenidos para el sitio 3.

Mediciones registradas en 1994

Debido a que las mediciones registradas en 1994 carecen de componente vertical y que esta componente del movimiento es esencial para obtener el efecto de sitio mediante la técnica de cocientes espectrales de Nakamura, se optó por implementar una modificación a dicho proceso, la cual obedece también a la necesidad de tener un mayor número de puntos que cubrieran un área más grande en la mancha urbana, lo que fue imposi-

ble realizar con las mediciones de 2004 por problemas técnicos con los aparatos de medición y por lo que únicamente se obtuvieron las 21 mediciones antes mencionadas.

Con los 21 espectros verticales promedio obtenidos para los registros hechos en 2004, resultó un espectro vertical representativo que se usó para calcular los cocientes espectrales de Nakamura, con las mediciones hechas en 1994. El espectro calculado se muestra en la figura 8.

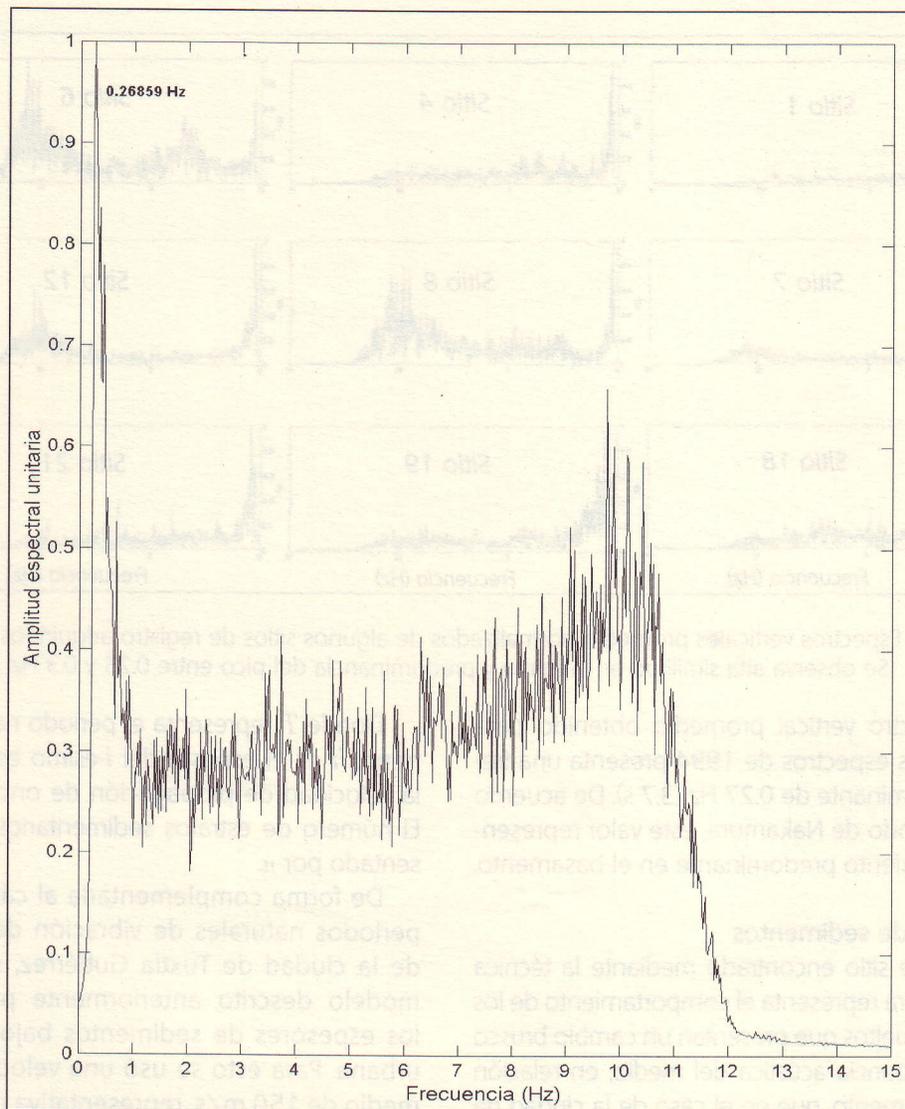


Figura 8. Espectro promedio vertical normalizado para Tuxtla Gutiérrez.

Esta implementación se basa en los siguientes argumentos:

- Los espectros verticales promedio representativos de cada sitio de registro de 2004 presentan formas similares entre ellos (figura 9).
- De acuerdo con el modelo geológico local (figura 3), existe un basamento de roca caliza-lutita que aflora en las partes más altas de la zona y que subyace a los sedimentos de la cuenca, lo que se comprueba con algunos estudios geoló-

gicos y de suelos recopilados durante el tiempo de trabajo. Puede considerarse que los sedimentos que aportan el efecto de sitio sobreyacen a un basamento altamente homogéneo, lo que se comprueba con el primer argumento.

- La técnica de Nakamura se basa en la hipótesis de que el espectro vertical no cambia en una cuenca sedimentaria con basamento homogéneo. Este argumento se respalda por los dos anteriores.

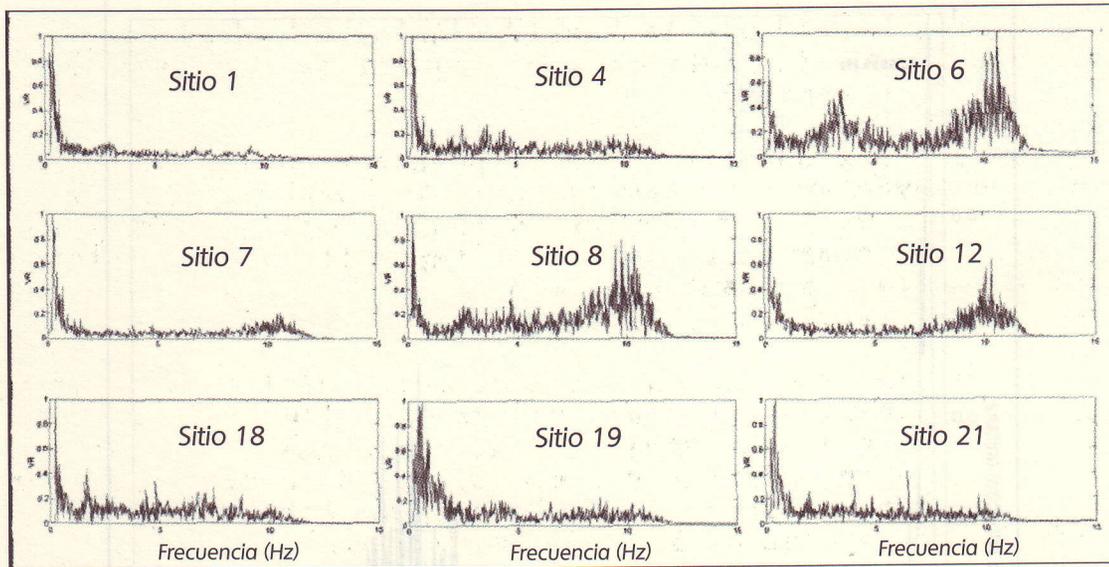


Figura 9. Espectros verticales promedio normalizados de algunos sitios de registro adquiridos en 2004. Se observa alta similitud en la forma y predominancia del pico entre 0.25 y 0.3 Hz.

El espectro vertical promedio obtenido para procesar los espectros de 1994 presenta una frecuencia dominante de 0.27 Hz (3.7 s). De acuerdo con el método de Nakamura, este valor representa el movimiento predominante en el basamento.

Espesores de sedimentos

El efecto de sitio encontrado mediante la técnica de Nakamura representa el comportamiento de los depósitos sueltos que presentan un cambio brusco en la impedancia acústica del medio, en relación con el basamento, que en el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez está representado por roca caliza fracturada y pura, intercalada con lutita, según la información geológica disponible. Los depósitos de sedimentos de la ciudad están constituidos por sedimentos clásticos continentales (conglomerados, arenas y limos) depositados entre el terciario y el cuaternario (Alonso et al., 1995) y depósitos aluviales más recientes (limos arenosos y arcillas).

En 1976, Newmark y Rosenbleuth acuñaron una expresión que relaciona el espesor de los sedimentos con su periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de ondas de corte:

$$T = 4 \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\beta_i}$$

Donde T representa el periodo natural del terreno, h_i es el espesor del i -ésimo estrato y β es la velocidad de propagación de ondas de corte. El número de estratos sedimentarios está representado por n .

De forma complementaria al cálculo de los periodos naturales de vibración de los suelos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se utilizó el modelo descrito anteriormente para estimar los espesores de sedimentos bajo la mancha urbana. Para esto se usó una velocidad β promedio de 150 m/s, representativa de sedimentos. Los periodos usados corresponden a los hallados mediante la técnica de Nakamura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los periodos naturales de vibración del suelo, encontrados mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Como se observa, estos valores varían desde 0.10 s hasta 0.53 s, siendo los periodos cercanos a 0.3 s los que predominan, esto concuerda con la propuesta hecha por Alonso et al. (1995). Dentro del mismo análisis, se identificaron dos zonas con periodos mayores a 0.4 s, una en el centro de la ciudad y la otra en la zona sur-oeste de la misma, seguramente relacionadas con un aumento en el espesor de sedimentos someros.

Tabla 2. Periodos naturales de vibración calculados para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

No.	Medición	Identificación	Periodo (s)
1	2004	Colegio Andes	0.16
2	2004	El Arenal	0.22
3	2004	El Campanario	0.32
4	2004	Tecnológico de Monterrey	0.19
5	2004	Entrada Libramiento Norte	0.27
6	2004	Plan de Ayala Norte	0.17
7	2004	Feria Chiapas	0.28
8	2004	Libramiento Norte y Carretera Chicoasén	0.26
9	2004	Juan Crispín	0.36
10	2004	San José Terán	0.49
11	2004	Aeropuerto Francisco Sarabia	0.27
12	2004	Rastro	0.21
13	2004	Emiliano Zapata	0.40
14	2004	Panteón Terán	0.24
15	2004	Ampliación Terán	0.32
16	2004	Caña Hueca	0.17
17	2004	Jardín de las Flores	0.10
18	2004	Cueva del Tigre	0.53
19	2004	Electricistas	0.34
20	2004	Alborada	----
21	2004	Nuevo Edén	0.14
22	1994	Salida a Suchiapa	0.25
23	1994	Rectoría UNACH	0.40
24	1994	Talleres Gráficos	----
25	1994	Plan de Ayala	0.22
26	1994	Fraccionamiento Boulevares	0.31
27	1994	Instituto Tecnológico de Tuxtla	0.27
28	1994	Fraccionamiento La Gloria	0.34
29	1994	Av. Central y 4ª Norte	----

Tabla 2. Continuación.

No.	Medición	Identificación	Periodo (s)
30	1994	Calzada al Aeropuerto Francisco Sarabia	-----
31	1994	Fraccionamiento Los Laureles	0.34
32	1994	Fraccionamiento Atenas	0.27
33	1994	Facultad de Ingeniería Civil, UNACH	0.22
34	1994	Hotel Flamboyant	0.28
35	1994	Boulevard Ciro Ferrera	0.26
36	1994	Jardines de Tuxtla	0.25
37	1994	Fraccionamiento Los Laguitos	0.37
38	1994	Gigante 5ª Norte	0.22
39	1994	Deportivo Caña Hueca	0.25
40	1994	Monumento Solidaridad	0.40
41	1994	Hotel Bonampak	0.28
42	1994	15ª Poniente y 5ª Norte	0.12
43	1994	Pedregal	0.46
44	1994	Colonia El Mirador	0.34
45	1994	3ª Norte y 2ª Poniente	0.34
46	1994	3ª Poniente y 4ª Norte	0.49
47	1994	3ª Poniente y 7ª Sur	0.27
48	1994	3ª Poniente y 19ª Sur	-----
49	1994	14ª Poniente entre 15ª y 16ª Sur	0.24
50	1994	Clínica ISSSTE	0.31
51	1994	Parque de la Marimba	0.36
52	1994	Parque Central	-----
53	1994	Fraccionamiento El Valle	0.16
54	1994	Colonia Maya	0.18
55	1994	Colonia El Periodista	-----
56	1994	Cementerio Municipal	0.27
57	1994	Libramiento Sur a Suchiapa	0.36
58	1994	Sauce y Margaritas	0.30
59	1994	Bienestar Social	0.31

Tabla 2. Continuación.

No.	Medición	Identificación	Periodo (s)
60	1994	Colonia Los Choferes	0.28
61	1994	Fraccionamiento El Vergel	0.20
62	1994	Fraccionamiento El Rosario	----
63	1994	San Pedro y San Cayetano	0.27
64	1994	Colonia El Retiro	0.23
65	1994	Colonia Patria Nueva	----
66	1994	Distribuidor Vial	0.30
67	1994	Colonia Los Pájaros	0.27
68	1994	San José Terán	0.29
69	1994	Fraccionamiento Las Arboledas	0.30
70	1994	Fraccionamiento Vista Hermosa	----
71	1994	3ª Sur y 7ª Poniente	0.30
72	1994	INDEJ	0.27
73	1994	Fraccionamiento Las Palmas	0.22
74	1994	Colonia Adonai	0.39
75	1994	Instalaciones de la Feria Chiapas	0.30
76	1994	ITESM	0.29
77	1994	Plan de Ayala	0.34
78	1994	San José Terán Sur	0.30
79	1994	Club Campestre	0.30
80	1994	Instituto Andes	----
81	1994	Banco de Caliche	0.30
82	1994	Aeropuerto Terán	0.37
83	1994	Almacén General	0.37
84	1994	Procuraduría de Justicia	0.31
85	1994	Colegio Americano	0.20
86	1994	Ahuehuate 1253	----
87	1994	Colonia Las Torres	0.39
88	1994	Fraccionamiento La Misión	0.17
89	1994	Colonia Las Granjas	0.27

Tabla 2. Continuación.

No.	Medición	Identificación	Periodo (s)
90	1994	Colonia Reforma	0.41
91	1994	Colonia El Pedregal	0.37
92	1994	Colonia La Pimienta	0.31
93	1994	Colonia Lomas del Venado	0.32
94	1994	Colonia Ideal	0.33
95	1994	Colonia Penipak	0.26
96	1994	Estación acelerográfica UNACH	0.26

En la figura 10 se muestra una imagen creada en ambiente Matlab, en la cual se observa la variación de los periodos naturales de vibración. Esta figura se creó mediante interpolación lineal usando la función *griddata* del programa.

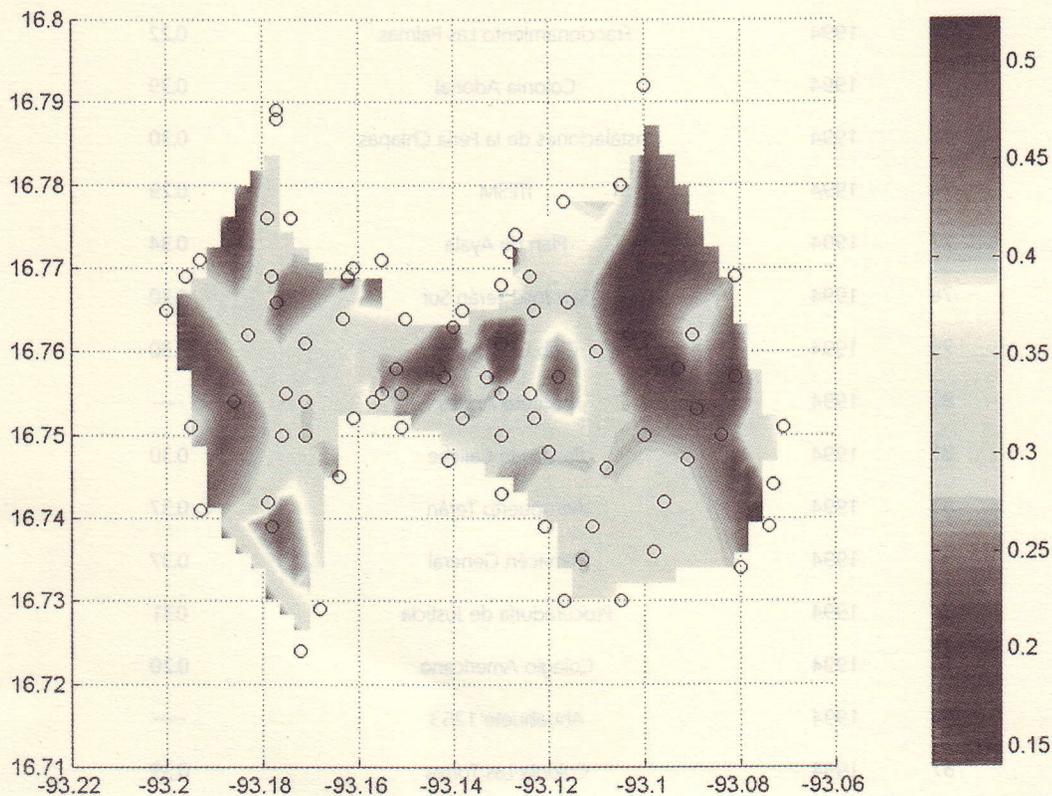


Figura 10. Microzonación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en función del periodo natural del suelo. Los círculos señalan los puntos de medición y las ordenadas y abscisas representan latitudes y longitudes geográficas, respectivamente (en grados).

Los espesores de sedimentos que aportan el efecto de sitio, calculados mediante el modelo propuesto, varían desde los 3.82 m hasta los 19.95 m. Estos espesores corresponden al rango de espesores de sedimentos aluviales y clásticos continentales encontrados mediante estudios geotécnicos directos de mecánica de suelos hechos en diferentes sitios de la ciudad (Espinosa, 1976).

Como se mencionó anteriormente, los valores de periodo del terreno representan una característica del movimiento que debe atenderse para entender el peligro sísmico de la zona. Sin embargo, para tener una idea mejor del nivel de riesgo sísmico que se tiene en la ciudad es necesario estudiar las estructuras típicas usadas con el criterio de sus periodos fundamentales de vibración, es decir, la vulnerabilidad que tienen las estructuras a ser sometidas a resonancia estructural ante la presencia de sismos.

CONCLUSIONES

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez está situada sobre una cuenca sedimentaria cuyo basamento está formado de roca caliza con intercalaciones de lutita, que aflora en las partes altas de la ciudad. Los depósitos sedimentarios cuentan con sedimentos clásticos continentales como conglomerados, arenas y limos y depósitos aluviales como limos arenosos y arcillas, según lo indican los estudios geológicos y de mecánica de suelos. Según el modelo usado en este trabajo, estos depósitos tienen espesores que varían desde los 3.82 m hasta los 19.95 m. Este modelo debe ser calibrado posteriormente usando velocidades de ondas de corte basadas en estudios directos y más de un estrato sedimentario.

La diferencia de valores enunciados anteriormente es el resultado de la poca variación entre los periodos naturales de vibración. Considerando que el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal divide al suelo según la profundidad a la que se encuentren los estratos duros (basamento), el suelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez debería clasificarse como firme, para las zonas altas, y rígidas en donde aflora la roca caliza, e intermedio, para casi la totalidad del valle. Lo anterior derivado de la homogeneidad del efecto de sitio

en la mayor parte de la ciudad, lo que debe confirmarse con estudios posteriores más detallados.

Un aspecto de gran importancia socio-económica estriba en que el rango de periodos naturales de vibración obtenidos corresponde a los periodos de las estructuras de baja y mediana altura de concreto y mampostería abundantes en la ciudad, por lo que se cree necesario realizar un estudio que incluya la amplificación del movimiento del terreno y la vulnerabilidad de las estructuras ante la resonancia. Esto con la finalidad de entender mejor el efecto de sitio de los sedimentos y su efecto ante el tipo de estructuras civiles usadas localmente.

Por otra parte, la existencia de un estrato medianamente profundo de rocas calizas en la base de la cuenca sedimentaria, sugiere la determinación de su influencia en el peligro sísmico regional.

Los resultados obtenidos en este trabajo deben ser complementados por otro estudio más detallado que incluya otras zonas de la ciudad y que considere las tres componentes de movimiento.

Recibido: 28 de octubre de 2005

Aprobado: 7 de agosto de 2006

REFERENCIAS

- ACOSTA, J.; ÁLVAREZ, S.; MENDOZA, L. Y ARELLANO, G.** (1994). *Microzonación del área de Tijuana, B.C., con base en la distribución de periodos dominantes del movimiento del suelo*, 1ª ed., Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, México, (Comunicaciones académicas, Serie Sismología).
- ALONSO, G.; CRUZ, R.; SANTOS, F.; RAMÍREZ, M.; RUIZ, M. E IGLESIAS, J.** (1995). *Zonación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*, 1ª ed., Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, México.
- ÁLVAREZ, S. Y ACOSTA, J.** (1997). *Microzonación de periodos dominantes del movimiento del suelo en Ensenada, B.C.*, 1ª ed., Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, México, (Comunicaciones académicas, Serie Sismología).
- ASAMBLEA DE REPRESENTANTES DEL DISTRITO FEDERAL** (1993). *Reglamento de Construcciones del Distrito*

Federal, Diario Oficial del la Federación, México.

CASTRO, R.; MUCCIARELLI, M.; PACOR, F. AND PETRUBGARO, C. (1996). *The use of Nakamura's method to estimate S-wave site responses*, 1th ed., European Geophysical Society, (Annales Geophysicae).

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México (Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana)*, 1^a ed., Cenapred, México, D.F.

ESPINOSA, L. (1976). *Memorias de la VII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, tomo II, Guanajuato, México, 2:229-244.

FIGUEROA, J. (1974). *Sismicidad en Chiapas*, 1^a ed., Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.

GUTIÉRREZ, C. AND SINH, K. (1992). *A site effect study in Acapulco, Guerrero, México: comparison of results from strong motion and microtremor data*, Bull. Seism. Soc. Am., United States of America, 82: 642-659.

LERMO, J. AND CHÁVEZ-GARCÍA, F. (1994). *Are microtremors useful in site response evaluation?*, Bull. Seism. Soc. Am., United States of America, 84: 1350-1364.

MARTÍNEZ, H.; ROSENDO, B. Y FITZ, C. (2005). *Carta Geológica-Minera Tuxtla Gutiérrez E15-11, Chiapas y Oaxaca*, Secretaría de Economía, INEGI y Servicio Geológico Mexicano.

NAKAMURA, Y. (1957). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using mi-*

cro-tremors and underground structure, QR of RTRI, 30 (1): 25-33.

NEWMARK, N. Y ROSENBLEUTH, E. (1976). *Fundamentos de ingeniería sísmica*, 1^a ed., Diana, México, D.F.

Dirección institucional de los autores

CARLOS NARCÍA LÓPEZ

ROBERTONY CRUZ DÍAZ

JORGE AGUILAR CARBONEY

Facultad de Ingeniería

Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

Bldv. Belisario Domínguez, Km 1081. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 29000

Apartado Postal No. 14, Col. Centro, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 29000

MARIO RAMÍREZ CENTENO

Unidad Azcapotzalco

Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Avenida San Pablo No. 180. Colonia Reynosa, México, D.F. 02200

RAÚL GONZÁLEZ HERRERA

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

(UNICACH)

Libramiento Norte Poniente s/n. Colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 29000