



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTIMACION EMPIRICA DE EFECTOS DE SITIO
EN EL DISTRITO FEDERAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOFISICO

P R E S E N T A :

RAFAEL MONTECILLO TELLEZ



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIRECCION

60-1-057

SR. RAFAEL MONTECILLO TELLEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. en C. Javier Lermo Samaniego, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geofísico:

**ESTIMACION EMPIRICA DE EFECTOS DE SITIO EN EL
DISTRITO FEDERAL**

- RESUMEN
- I INTRODUCCION
- II METODOS EMPIRICOS
- III RECOPIACION DE INFORMACION
- IV RESULTADOS
- V CONCLUSIONES
- REFERENCIAS
- TABLAS
- FIGURAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 11 de agosto de 1992
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'EGLM'gtg



AGREDECIMIENTOS.

Al Instituto de Ingeniería por el apoyo recibido en la realización del presente trabajo y en especial al Área de Sismología e Instrumentación Sísmica, ya que este trabajo formó parte del proyecto 1742 " ESTIMACION DE PERIODOS DOMINANTES Y AMPLIFICACION RELATIVA EN ZONAS FALTANTES (TRANSICION Y LAGO) DEL D.F. ", realizado por el instituto para el Departamento del Distrito Federal

Expreso especialmente mi agradecimiento al M .C. Javier F. Lemmo Samaniego por la dirección de esta tesis y por el tiempo dedicado a la revisión del informe final de la misma.

A la Facultad de Ingeniería

A la Profra. Ma. Guadalupe Allende por su colaboración en la redacción del presente escrito.

DEDICATORIA

A Mari-Karmen,
que por siempre estará en mi existencia.

A mis padres.

A mis hermanos,
en especial a Luis.

INDICE

	RESUMEN	1
I	INTRODUCCION	3
II	METODOS EMPIRICOS	6
III	RECOPIACION DE INFORMACION	18
IV	RESULTADOS	24
V	CONCLUSIONES	26
	REFERENCIAS	26
	LEYENDAS	32
	TABLAS	36
	FIGURAS	50

RESUMEN

Los sismos de 1985 mostraron lo vulnerable que es la Ciudad de México ante la incidencia de energía sísmica proveniente de la costa del Pacífico Mexicano. Debido a los daños que ocasionaron estos eventos, la comunidad científica se abocó a estudiar los fenómenos de resonancia y amplificación (efecto de sitio) que presentan las arcillas del Valle de México.

Se han realizado desde entonces, agregándose a los ya existentes (Herrera y Rosenblueth, 1965; Newmark y Rosenblueth, 1971), estudios que permitan entender el comportamiento del subsuelo en la Ciudad de México (Kobayashi et al., 1986; Lermo et al., 1988a; Singh et al., 1988a y 1988b). Con diferentes fuentes de información y técnicas de trabajo, partiendo todos ellos de la hipótesis de que se trata de un fenómeno sin variaciones laterales, el cual, responda a un modelo unidimensional (Herrera y Rosenblueth, 1965), figura I.1.

Dos son las fuentes de datos con las que trabajarán: registros de movimientos fuertes (acelerogramas) y registros de vibración ambiental (microtremores). Como primer objetivo nos propusimos reunir toda la información existente, hasta la fecha, referente a periodos dominantes (T_0) y amplificación relativa (A_r), parámetros importantes para estimar el efecto de sitio o efecto local en el Distrito Federal. Los valores de T_0 y A_r obtenidos a partir de esta recopilación se ubicaron en un mapa del Distrito Federal para observar la densidad de datos por superficie (figura III.4). De esta distribución superficial se encontraron zonas al sur-este de la ciudad que presentaban una densidad de datos menor que su entorno, por tal motivo, un segundo objetivo de este trabajo fue obtener los valores de T_0 y A_r a partir del registro de microtremores en zonas faltantes del Distrito Federal.

Las técnicas empíricas de procesado y análisis de datos incluyen: a) Densidades espectrales, b) Cocientes espectrales con respecto a un sitio de referencia (técnica estándar), c) Cocientes espectrales con respecto a la componente vertical (técnica de Nakamura). Todas las técnicas son aplicables a microtremores y acelerogramas bajo ciertas consideraciones. De las tres técnicas empíricas de procesado e interpretación de los registros, la que se ha aplicado en menor medida en el Distrito Federal ha sido la técnica de Nakamura por su reciente desarrollo. Debido a ello un tercer objetivo fue aplicar la técnica de Nakamura tanto a registros de microtremores ya existentes, como a registros de microtremores obtenidos en el presente trabajo. Esto con la finalidad de observar el comportamiento de los máximos de interés de la técnica de Nakamura con respecto a las otras técnicas .

(2)

Por último, con la recopilación de toda esta información se elaboraron mapas de periodos dominantes (Figura III.10) y amplificación relativa (Figura III.12), así como un mapa de isoperiodos trazados cada 0.5 segundos (Figura III.11).

I. INTRODUCCION

La ubicación geográfica de la Ciudad de México, en una zona considerada como de alto riesgo sísmico, hace necesario conocer algunos parámetros dinámicos importantes de cada sitio de la Ciudad para tratar de minimizar los daños ocasionados por los sismos provenientes de las costas del Pacífico Mexicano.

El interés por conocer con más detalle el comportamiento dinámico del suelo en la Ciudad de México se incrementó a partir de la distribución de daños que dejaron los terremotos de 1985.

Del comportamiento dinámico observado hasta la fecha, se puede mencionar la clara amplificación que sufre el movimiento sísmico en la capa arcillosa, debido a la baja velocidad de propagación de las ondas de corte y al contraste de impedancias entre la capa arcillosa y el subsuelo sobre el que descansa, (Herrera y Rosenblueth 1965; Newmark y Rosenblueth 1971). Esta amplificación de acuerdo a las observaciones y resultados obtenidos depende de las condiciones geológicas de cada lugar, por ello se le conoce también como efecto de sitio o efecto local, (Kobayashi et al., 1986; Lermo et al., 1988a y 1988b; Singh et al., 1988a y 1988b; Aguilar et. al., 1991; Ordaz et al, 1989).

Son varios los métodos para estimar los efectos de sitio con fines de microzonificación, los cuales podemos dividir en dos grupos de acuerdo con el material que trabajan:

- Métodos Teóricos: Los cuales se basan en modelos matemáticos, siendo su material de trabajo información geofísica, geológica y geotécnica detallada del sitio a evaluar.
- Métodos Empíricos: Se basan en el análisis de registros de movimientos fuertes, débiles y de vibración ambiental.

Ambos métodos no toman en cuenta efectos laterales y reducen el problema a un modelo unidimensional (Herrera y Rosenblueth 1965; Newmark y Rosenblueth 1971). Tal idealización (figura 1.1) consiste en una capa plana de suelo blando que descansa sobre un semiespacio homogéneo y elástico, en donde el efecto de

sitio está caracterizado por dos parámetros principales: el valor de la amplificación relativa de sitio (A_r) y su período natural de vibración (T_0), siendo este último el recíproco de la frecuencia de resonancia.

En el presente escrito nos abocaremos a describir los métodos empíricos, así como las ventajas y desventajas que presentan al ser aplicados con fines de microzonificación.

Son las las fuentes de material con que trabajan los métodos empíricos:

- Registros de movimientos fuertes.
- Registro de movimientos leves.
- Registro de vibración ambiental (microtemores).

La interpretación de los dos primeros registros son los más óptimos, ya que de acuerdo a Singh et al., (1988a), la frecuencia asociada al máximo de la razón espectral de aceleración de los registros obtenidos en zona de lago con respecto al registro obtenido en una zona de loma (definición de función de transferencia empírica, F.T.E.), es aproximadamente igual a la frecuencia de resonancia del sitio de registro. El inconveniente de trabajar con estos registros es la necesidad de instrumentar una área tan basta como es la Ciudad de México, lo cual implica un alto costo en mantenimiento y equipo, así como un largo tiempo de registro.

Respecto a los microtemores podemos mencionar que su registro, procesamiento e interpretación es sencilla y menos costosa que el registro de movimientos fuertes; no siendo, sin embargo, óptima para estimar el valor de la amplificación relativa (A_r) (Gutierrez y Singh, 1992). Propuesta inicialmente por Kanai et la., (1954); ha sido empleada en el Valle de México por Lermo et al., (1988a), (1988b) y por Kobayashi et al., (1986). Estos dos últimos observaron que el máximo del espectro de Fourier de la velocidad de los microtemores registrados en estaciones acelerográficas, ocurren aproximadamente en las mismas frecuencias que el máximo de las razones espectrales de aceleración (F.T.E). Por lo cual ellos concluyen que se puede obtener el período natural de resonancia del sitio a partir de los espectros de microtemores.

Por otro lado existen controversias para el adecuado procesamiento e interpretación de los registros de microtemores, debido al problema que presenta el separar los efectos de sitio de los efectos de la fuente. Para resolver este problema, Seo et al., (1990), (1991), aplica la definición de F.T.E a registros de vibración

ambiental, realizando la razón espectral de velocidades de los registros de microtrémores obtenidos simultáneamente en zonas de suelo blando y zonas de suelo duro ; a esta técnica se lo conoce como Técnica Estandar. Con la misma finalidad Nakamura (1989) desarrolla y justifica lo que hasta ahora se conoce como Técnica de Nakamura; él realiza la razón espectral de las componentes horizontales con respecto a la componente vertical de los registros de velocidad de microtrémores, tomando en cuenta que la componente vertical no refleja el efecto de sitio, pero si el efecto de la fuente (Campillo et al., 1989).

A partir de 1985 los trabajos enfocados al estudio del efecto de sitio en la Ciudad de México, son varios como ya se mencionó: Kobayashi et al., 1986; Lermo et al., 1988a; Singh et al., 1988a, 1988b; Agullar et. al., 1991; Mendoza et al., 1992. Con la finalidad de tener una base de datos que nos permita optimizar el mapa de Isoperiodos y amplificación relativa del Valle de México, figura III.4 , se realizó la recopilación de los resultados obtenidos en estos estudios.

Posteriormente, con la idea de comparar las técnicas empíricas desarrolladas para estimar el efecto de sitio, se reprocesaron registros de microtrémores ya existentes de la zona de Xochimilco, con la técnica de Nakamura, los cuales fueron procesados en un principio con la técnica estandar (Lermo y Becerra, 1991). Así mismo; se procesaron con la Técnica de Nakamura, registros de microtrémores obtenidos en los alrededores de las estaciones acelerográficas 19 y 32 de la RACM (Red Acelerográfica de la Ciudad de México) en la zona de Iztapalapa, (Tabla III.5).

Finalmente con los cerca de 502 sitios donde se pudo estimar el periodo natural de sitio (T_0), figura III.10, se configuró un plano de Isoperiodos trazados cada 0.5 segundos (figura III.11), y se comparó con un mapa de paleodrenaje desarrollada para el Distrito Federal (figura III.13, Mooser 1992).

II. METODOS EMPIRICOS PARA EVALUAR EL EFECTO DE SITIO.

II.1 EFECTO DE SITIO

El movimiento vibratorio producido de la propagación de ondas sísmicas tiene diferente comportamiento al propagarse por medios geológicos diferentes (Gutiérrez y Singh, 1992). Mientras que en un medio de roca dura el movimiento de las partículas refleja un movimiento constante en un cierto rango de frecuencias; en un medio de suelo blando, el movimiento de las partículas refleja una clara amplificación con respecto al movimiento que sufren las partículas en la roca dura para ese mismo rango de frecuencias. A esta amplificación que sufre el movimiento de las partículas en un medio de suelo blando es lo que se conoce como efecto local o efecto de sitio, (Rosenblueth, 1953 ; Herrera y Rosenblueth, 1965; Borchardt, 1970; Aki, 1988; Gutiérrez y Singh, 1992).

Para zonas urbanas, como la Ciudad de México en donde el riesgo sísmico es considerablemente alto, es importante evaluar el efecto de sitio, ya que como es reconocido, (Singh et al., 1988a y 1988b), los daños ocasionados a las estructuras durante movimientos telúricos son consecuencia directa de la amplificación que sufren en los suelos blandos (p. ej., en la Ciudad de México durante los sismos de 1985, Armenia durante el sismo de Leninakan en 1988, San Francisco durante el sismo de Loma Prieta en 1989). La evaluación del efecto de sitio permitirá atenuar los daños que ocasionan estos fenómenos naturales.

II.2. PROCEDIMIENTOS PARA SU EVALUACION

El fenómeno de efecto de sitio puede ser modelado de acuerdo a la teoría unidimensional de propagación de ondas en medios estratificados, (Thomson, 1950; Haskeil, 1962). Ordaz et al., 1989, aplica este modelo teórico a un estudio realizado en Acapulco, Estado de Guerrero, México. Ellos toman en cuenta las hipótesis de Thomson y Haskeil (Thomson, 1950, Haskeil, 1962) para aplicar esta teoría:

- a) * El comportamiento del suelo es lineal para cualquier nivel de excitación.*
- b) * Los estratos del suelo son horizontales y se extienden lateralmente hasta el infinito, por lo que no se incluyen efectos de irregularidad lateral. Los estratos descansan sobre un

semiespacio homogéneo."

A estas dos hipótesis ellos agregan dos simplificaciones más:

c) " Las ondas incidentes sobre el medio estratificado son ondas S con incidencia vertical. "

d) " El medio estratificado se idealizó como un solo estrato horizontal de tal forma que no se pierdan dos de las principales características de la estratigrafía real: su periodo natural de vibrar, T_0 , y la velocidad de propagación media de las ondas de corte, ondas S." (Ordaz et. al, 1989).

De acuerdo a estas consideraciones el medio real se reduce al modelo propuesto por Newmark y Rosembueth (1971), el cual se ilustra en la figura 1.1. El perfil estratigráfico representa al medio real, cada estrato esta caracterizado por los parámetros: β_i , velocidad de propagación de las ondas S; γ_i , densidad del material; ζ_i , amortiguamiento del material; y H_i , espesor del estrato. El semiespacio sobre el cual descansa el medio estratificado queda caracterizado también por los mismos parámetros, con excepción del espesor: β_0 , γ_0 , ζ_0 , teniendo el mismo significado que en el medio estratificado.

De acuerdo a la figura 1.1, (perfil idealizado), el tiempo que tardan las ondas en atravesar el i-ésimo estrato vale H_i / β_i , de donde el tiempo total T que tardan en atravesar el espesor de estratos, para llegar a la superficie es:

$$T = \sum \frac{H_i}{\beta_i} \dots\dots\dots (2.1)$$

Si el perfil estratigráfico de la figura 1.1 (perfil idealizado) estuviera formado por un solo estrato de espesor $H = \sum H_i$, estrato equivalente de la figura 1.1, la velocidad necesaria para que las ondas tarden el mismo tiempo en atravesarlo valdría:

$$\bar{\beta} = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{\beta_i}} \dots\dots\dots (2.2)$$

La cual se conoce como velocidad media del depósito simplificado (estrato simplificado). Por otro lado, de la solución de la ecuación de onda para incidencia vertical (Aki, 1980), el periodo fundamental de vibración del medio, T_0 , vale :

$$T_0 = \frac{4H}{\beta} \dots\dots\dots (2.3)$$

de donde, combinando las ecuaciones 2.2, 2.3 resulta:

$$T_0 = \frac{4H}{\sum H_i \{ \sum H_i / \beta_i \}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Recordando que $H = \sum H_i$, entonces se obtiene:

$$T_0 = \frac{4H}{\sum H_i \{ \sum H_i / \beta_i \}} = \frac{4 \sum H}{\sum H_i \{ \sum H_i / \beta_i \}} = 4 \sum H_i / \beta_i \dots\dots\dots (2.5)$$

Lo que significa que el medio estratificado idealizado de la figura 1.1 puede ser sustituido por el estrato equivalente de la misma figura, conservando las características antes mencionadas, β_i y T_0 dadas por las ecuaciones 2.2 y 2.5 respectivamente (Herrera y Rosenblueth, 1965; Newmark y Rosenblueth, 1971;). Por consiguiente, si T_0 es un parámetro que caracteriza al medio y depende directamente de las propiedades estratigráficas del mismo medio, podemos evaluar el efecto de sitio estimando su valor. Al mismo tiempo podemos estimar otro parámetro asociado al efecto de sitio, la amplificación relativa de sitio (A_r) asociada a T_0 , la cual se define como la máxima amplificación que sufre el movimiento de las partículas de suelo blando con respecto al movimiento de las partículas en el semiespacio rocoso, (Singh et al., 1988a).

11.2.1. ESTIMACION CON TECNICAS EMPIRICAS.

Son tres los tipos de registros que utilizan las técnicas empíricas: registros de movimientos débiles y fuertes

(sismogramas y acelerogramas); y registros de vibración ambiental (microtremores). Los primeros tienen varios inconvenientes: están condicionados a la ocurrencia natural de temblores y el registro se lleva a cabo con instrumentación automática, que requiere de mantenimiento; por lo cual resulta, demasiado costosa. Además, se requiere instrumentar un área muy vasta en trabajos de microzonificación. Las desventajas que presentan los registros de movimientos débiles y fuertes, hacen de los registros de vibración ambiental, una opción ideal para zonas como el Valle de México que presenta una sismicidad baja. Dos son las ventajas fundamentales del uso de registros de microtremores para la estimación del efecto de sitio:

- 1.- Trabajo de campo simple, ya que se requiere una sola estación de registro y algunos minutos de operación.
- 2.- Simplicidad de análisis.

A pesar de la naturaleza que tiene cada registro, las técnicas utilizadas para procesar y analizar cada registro de una forma empírica son las mismas para ambos tipos de registros. Aunque las técnicas que se comentarán fueron desarrolladas inicialmente para analizar movimientos fuertes, aquí comentaremos primero las hipótesis que se consideran para ser aplicables a microtremores y posteriormente se comentarán las consideraciones que se toman en cuenta para ser aplicadas a movimientos débiles y fuertes.

11.2.1.1. ESTIMACIONES CON REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL

Los primeros estudios sobre vibración ambiental fueron llevados a cabo a inicios del presente siglo por Omori (1908), con la intención de explicar la naturaleza de su fuente; su mecanismo de transmisión sobre trayectorias oceánicas; su efecto sobre las costas continentales y el tipo de propagación que sigue sobre trayectorias continentales. Lermo y Chávez-García (1994) consideran que una gran parte de las investigaciones sobre vibración ambiental han sido divididas en dos partes: naturaleza de la fuente que produce el movimiento en microtremores y su aplicación adecuada para estimar efectos de sitio en ingeniería sísmica. A su vez las investigaciones sobre la naturaleza de su fuente se dividieron en dos (Díaz de León, 1990; Lermo y Chávez-García, 1994):

- a) Vibración ambiental de período largo (Microsismos), que se presentan en frecuencias menores a 1

Hz. Tienen su origen en fenómenos naturales como el oleaje, el viento, el volcanismo. Algunos estudios, (Ohta et al., 1978; Kagami et al., 1982; Kagami et al., 1988).

b) Vibración ambiental de periodo corto (Microtremores) que se ubica en un rango de frecuencias mayores a 1 Hz. Su origen son causas artificiales, en especial la actividad humana (Kanai y Tanaka, 1954 y 1961; Kanai, 1983)

Son tres las técnicas empíricas empleadas para el análisis de microtremores, las cuales como ya se mencionó también son aplicables a movimientos fuertes, ellas son: 1) espectro de amplitud de Fourier; 2) razón espectral relativa a un sitio de referencia (Técnica Estandar); 3) razón espectral relativa a la componente vertical (Técnica de Nakamura).

1) Espectro de Amplitud de Fourier.

Varios son los escritos que existen (Kanai y Tanaka, 1954; Kobayashi et al., 1986; Lermo et al., 1989) en donde se aplicó esta técnica, la cual consiste en tomar una ventana adecuada del registro de microtremores de las componentes horizontales ya corregidas por instrumentación y que no presente saturación; se obtiene el espectro de Fourier de dicho tramo del registro. El máximo espectral observado al graficar el Espectro de Amplitud de Fourier de cada una de las componentes es una buena representación de la amplificación relativa de sitio (A_r) del sitio evaluado, no así la frecuencia natural (f_0) o periodo natural de sitio (T_0) asociado al máximo espectral, el cual se aproxima al valor real de periodo natural del sitio (Lermo et al., 1988b). Las figuras II.1 muestran la obtención de T_0 y A_r aplicando esta técnica a registros de vibración ambiental. Se trata de registros realizados en la zona de Buenavista, México D.F., (Cabrera y Cesati, 1990). La figura II.1a muestra el registro de microtremores; la figura II.1b contienen sus respectivos espectros de Fourier. La línea discontinua corresponde al espectro de la componente EW y la línea continua al espectro de la componente NS. La frecuencia natural o periodo natural de sitio (T_0) está dado por la frecuencia asociada al máximo espectral de los espectros de Fourier.

2) Razón Espectral Relativa a un Sitio de Referencia.

Esta técnica tiene la siguiente base:

El registro obtenido en suelo firme o roca (Estación de referencia) es representativo de la excitación del movimiento en la base del medio estratificado (Lermo y Chávez - García, 1982b; Gutierrez y Singh, 1992)

La técnica consiste en obtener los espectros de Fourier de los registros de dos sitios, un sitio local (de suelo blando) y un sitio de referencia (suelo firme o roca) cuyos registros fuerón realizados simultaneamente. Se obtiene el cociente espectral, espectro del sitio local entre espectro del sitio de referencia, conocido como Función de transferencia Empírica F.T.E (Singh et al., 1988a). La frecuencia asociada al máximo de la F.T.E. permitirá obtener el valor del periodo natural (T_0) del sitio local, así como dará una idea burda de la amplificación relativa (A_r) del mismo. Las figuras 11.3 muestra la obtención de la F.T.E. a partir de los espectros de Fourier del sitio de referencia y del sitio local. La figura 11.3.a utilizando registros de acelerogramas y la figura 11.3b utilizando registros de microtemores.

Gutierrez y Singh, (1992) muestran en un estudio realizado en Acapulco, México, que la técnica de cocientes espectrales relativa a un sitio de referencia son una buena herramienta para evaluar efectos de sitio, pero en su estudio, concluyen que la técnica aplicada e microtemores solo da una estimación aproximada del periodo natural y no así de la amplificación de sitio, en donde hay mucha variación. También concluyen que para considerar los resultados obtenidos de microtemores como buenos, es necesario evaluar el efecto de sitio con microtemores en lugares en donde éste ya haya sido evaluado con otras técnicas, para saber su comportamiento. Por otro lado, con microtemores se presenta la dificultad de identificar ventanas comunes para el sitio local y el sitio de referencia. El problema se resuelva, en parte, considerando un promedio de varias ventanas para cada sitio. Algunos ejemplos son Kagami et al., (1982) y (1986); Fløid et al., (1990); Lermo et al., (1990).

3) Razón Espectral Relativa a la Componente Vertical.

(Técnica de Nakamura)

Es la estimación más reciente en el análisis de microtremores para evaluar efectos de sitio. Propuesta inicialmente por Nakamura (1989), quién hace la hipótesis que los microtremores son registros de ondas Rayleigh principalmente. Cabe recordar que ya Aki (1957) había analizado microtremores en términos de ondas superficiales Love y Rayleigh.

A parte de la hipótesis anterior y al igual que las otras técnicas, también supone un medio estratificado de suelo blando que sobreyace a un espacio de suelo de roca . Bajo estas condiciones y trabajando en el dominio de las frecuencias, cuatro son los espectros que se involucran en el problema. La figura II.2 muestra el modelo a partir de cual se desarrollan las bases para explicar esta técnica. Según la figura II.2 se trata de un solo estrato de suelo blando (SB), que descansa sobre un semiespacio de roca (R). Por el medio (SB) se propagan ondas Rayleigh. De acuerdo a la figura, los espectros involucrados son (Lermo y Chávez-García, 1994):

Vs, Hs espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la superficie.

Vb, Hb espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la base del estrato de suelo blando.

El efecto de la fuente de acuerdo a Nakamura esta dado como:

$$A_s = \frac{V_s}{V_b} \dots\dots\dots [2.6]$$

Por otro lado una estimación del efecto de sitio esta dado por (Definición de F.T.E):

$$SE = \frac{H_s}{H_b} \dots\dots\dots [2.7]$$

Para compensar SE por efecto de fuente, se define una relación espectral de efecto de sitio modificada, S_M como:

$$S_M = \frac{SR}{A_s} = \frac{\frac{H_s}{H_b}}{\frac{V_s}{V_b}} = \frac{\frac{H_s}{V_s}}{\frac{H_b}{V_b}} \dots\dots\dots [2.8]$$

Una hipótesis final verificada experimentalmente por Nakamura (1989) usando registros de pozos, es:

$$\frac{H_b}{V_b} = 1 \dots\dots\dots [2.9]$$

para todas las frecuencias de interés, por lo tanto:

$$S_M = \frac{H_s}{V_s} \dots\dots\dots [2.10]$$

Lemo y Chávez-García (1994) verifican la validez de las relaciones (2.8) y (2.9) usando un sencillo modelo numérico. Ellos supusieron el modelo de la figura 11.2 y procesaron las ecuaciones anteriores con un algoritmo estandar (Takeuchi y Saito, 1972), para dos diferentes modelos estratigráficos en la Ciudad de México. En ese escrito se muestra el comportamiento de la alepticidad en la superficie y base del estrato de suelo blando y la aproximación que tiene con el modelo unidimensional.

11.2.1.2. ESTIMACION CON REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES.

Como ya se mencionó las técnicas utilizadas para analizar registros de movimientos fuertes y débiles son las mismas que se aplicaron a microtemores, con algunas variantes y ventajas que a continuación se describen.

En lo referente a la F.T.E obtenida de cocientes espectrales (Técnica Estandar), toma también como punto de partida la hipótesis: el registro obtenido en la estación de referencia es representativo de la excitación que arriba en la Interface semiespacio-sedimentos y su espectro puede no ser plano. Gutierrez y Singh (1992) procesaron tanto la parte intensa del registro como la coda del mismo y obtuvieron relaciones similares en un amplio rango de frecuencias. La figura 11.2a ilustra la obtención de la F.T.E a partir de registro de temblores.

Lermo y Chávez-García (1994) discuten la validez de la técnica de Nakamura para ser aplicable a movimientos fuertes. Primeramente comentan la invariabilidad de los desplazamientos verticales, obtenidos de los registros de cinco estaciones acelerográficas ubicadas en diferentes zonas geotécnicas. Del estudio de estos registros se encontró que la componente vertical no se ve afectada por las condiciones locales del sitio de registro (Sanchez-Sesma et al., 1989; Campillo et al., 1989). Posteriormente, ellos estudian el comportamiento de la amplificación local como una función del ángulo de incidencia de las ondas que producen la excitación. Para esto parten del modelo de la figura 11.4, en donde los efectos de sitio son debido a un solo estrato de suelo blando (SB) que sobreyace a un semi-espacio de roca dura (RD) y la excitación está dada por un campo incidente de ondas planas armónicas (S).

Los parámetros de este modelo, figura 11.4, incluyen entonces el ángulo de incidencia y las propiedades mecánicas de el estrato de suelo blando. En la misma figura U_h representa el campo de desplazamientos horizontal en la interface; U_s y W_s representan los campos de desplazamiento horizontal y vertical en la superficie respectivamente.

De acuerdo a esto definen la amplificación del efecto de sitio como:

$$\frac{U_s}{U_{hs}} \dots\dots\dots (2.11)$$

que corresponde a la función de transferencia empírica de la técnica estandar. Por otro lado consideran que si la técnica de Nakamura puede ser aplicada en estas condiciones, la relación:

$$\frac{W_s}{U_{hs}} \dots\dots\dots [2.12]$$

sera uno.

Para ilustrar el comportamiento de estas relaciones como funciones del ángulo de incidencia toman los datos estructurales para la estación S.C.T. (Estación perteneciente a la R.A.C.M.) en la Ciudad de México, Seed et al (1988). Aplican el método de Haskell (Aki y Richards, 1980) para cuatro ángulos de incidencia y encuentran que la relación U_s / U_{hs} presenta la clásica respuesta unidimensional (figura II.5a), además de grandes variaciones en la amplificación como una función del ángulo de incidencia. En cuanto a la relación W_s / U_{hs} (figura II.5b), también observaron variaciones en la amplificación debido al ángulo de incidencia, pero a diferencia de la relación U_s / U_{hs} , dichas variaciones no superan un factor de dos y comparadas con las observadas en la componente horizontal resultan ser mucho más pequeñas.

Por último toman las funciones de transferencia de la relación de Nakamura:

$$\frac{U_s}{W_s} \dots\dots\dots [2.13]$$

y la comparan con las funciones obtenidas a partir de la relación (2.11). Para todos los ángulos de incidencia tratados, encuentran que los máximos espectrales son claramente identificados por la relación de Nakamura y concuerdan con aquellos valores obtenidos con la relación estandar (figura II.6). Por ello concluyen que la relación de Nakamura es una buena medida de la función de transferencia cuando la componente vertical no es cero.

III. RECOPIACION DE INFORMACION.

La recopilación de información se dividió en dos etapas: en la primera de ellas se recopiló información sobre los valores de T_0 y A_r estimados a partir de registros de movimientos fuertes (acelerogramas); en la segunda, se recopiló el valor de los mismos parámetros a partir de registros de vibración ambiental (microtembroles).

III.1 ESTIMACION DE T_0 Y A_r A PARTIR DE MOVIMIENTOS FUERTES (ACELEROGRAMAS)

Los temblores con los cuales se trabajó en esta primera etapa, registrados por la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM) desde su instalación en 1985, se mencionan en la tabla III.1. En la cual se puede leer la cronología, la ubicación geográfica de cada uno de ellos, así como su magnitud. La ubicación de las estaciones de registro de la RACM (estaciones acelerográficas) se muestran en la figura III.1. De acuerdo a la simbología en la figura III.1, las instituciones que están a cargo de cada grupo de estaciones son: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (*); Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA) (○); Fundación Javier Barros Sierra (FJBS) (●); Instituto de Ingeniería (I de I) (▲); temporales operadas por FJBS (■). En conjunto formaban un grupo de aproximadamente setenta y cuatro estaciones en operación. En la misma figura se observa la zonificación geotécnica propuesta por Mazari et al., (1959); las líneas punteadas son los límites de la zona de lomas, la zona de transición se encuentra entre las líneas punteadas y las líneas discontinuas y finalmente la zona de lago se encuentra hacia el interior de las líneas discontinuas. Las líneas continuas corresponden a algunas avenidas principales de la Ciudad de México.

En esta primera etapa los parámetros T_0 y A_r se obtuvieron a partir de información proporcionada por CIS (Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra). De los Informes del CIS al Departamento del Distrito Federal (Aguilar et al., 1991) se tomaron archivos de gráficas. Un ejemplo de ellas esta compuesta de veinte figuras, como se puede observar en la figura III.2. Las cuales contienen las funciones de transferencia empíricas para algunos de los temblores que se mencionan en la tabla III.1. La figura III.2 muestra la forma que tienen las gráficas y los datos proporcionados en este primer archivo. La figura III.2 corresponde a registros obtenidos por estaciones de la zona centro, del temblor sucedido el dos de mayo de 1989. Las gráficas son las F.T.E. obtenidas de los registros de aceleración procesados con la técnica estandar. Para todas las funciones, la línea continua corresponde a la componente N-S y la línea discontinua a la componente E-W. El periodo fundamental (T_0 en segundos) y la amplificación relativa (A_r) fueron

agrupados, respectivamente, en las dos últimas columnas de la tabla de la derecha de la misma figura III.2; la primera columna de esta tabla contiene el nombre de la estación, la fecha de registro y la clave de la componente horizontal. Con los valores de T_0 y A_r tomados de estas figuras se elaboró la tabla III.2, en donde la primera columna contiene la simbología de cada estación, las siguientes siete columnas contienen los valores de T_0 y A_r para ambas componentes horizontales, cada columna está encabezada por la fecha en que ocurrió cada temblor. La tabla se elaboró con el objeto de obtener un promedio representativo de los parámetros que estamos estudiando. Cabe recordar que las estaciones operan bajo condiciones automáticas que en determinado momento pueden fallar, por ello se presentan estaciones que no registraron algún temblor. La novena columna de la tabla III.2 contiene el promedio aritmético de A_r y T_0 , para todos los eventos en cada una de las componentes horizontales. En esta tabla se han agrupado en primer lugar las estaciones operadas por el I de I. El segundo grupo corresponde a estaciones temporales operadas por FJBS durante 1987 y 1988. Por último, el tercer grupo corresponde a las estaciones acelerográficas operadas por FJBS y FICA.

La parte final de esta etapa consistió en leer directamente F_0 (frecuencia fundamental) y A_r de archivos que contenían el promedio de la F.T.E. y de la técnica de Nakamura para cada una de las componentes horizontales. Estos archivos fueron procesados y proporcionados por Pérez-Rocha (1992), para las 74 estaciones acelerográficas. Las figuras III.3 ilustran la presentación de estas funciones, la figura III.3a contiene las F.T.E. obtenidas a partir de la técnica estándar de cocientes espectrales y la figura III.3b contiene las F.T.E. obtenidas con la técnica de Nakamura. Las funciones de estas figuras corresponden a seis eventos registrados en la estación Central de Abastos (CD) de la RACM. La F.T.E. de la componente N-S está representada por la línea continua y la F.T.E. de la componente E-W por la línea discontinua. A diferencia del archivo anterior estos contienen en la última gráfica el promedio geométrico para todos los eventos registrados en la estación acelerográfica (CD). Con la finalidad de tener una mayor exactitud en la lectura de los parámetros A_r y T_0 , la lectura se realizó aplicando un programa de cómputo (Analis2, elaborado en el I de I) que lee el máximo espectral dentro de un rango de frecuencias de interés, el cual es proporcionado con ayuda de las gráficas de los archivos antes mencionados. Las tablas III.3 concentran los valores de F_0 y A_r obtenidos de estos archivos. La tabla III.3a contiene los valores obtenidos con la técnica estándar, en la primera columna se ubica el símbolo de la estación, en las cuatro siguientes se concentran los valores de F_0 (en Hz) y A_r de las dos componentes horizontales y las dos últimas el promedio de F_0 y A_r entre ambas componentes horizontales. Para la técnica de Nakamura y en el mismo orden los valores de F_0 y A_r , así como sus promedios, se concentran en la tabla III.3b.

Con toda esta recopilación de los valores de A_r y T_0 , tanto de los archivos gráficos como de los numéricos, se obtuvo un promedio representativo de estos parámetros para los sitios que contaban con registros de aceleración. Este promedio final se concentró en la tabla III.9. Las columnas dos y tres concentran los promedios para la técnica estandar; las columnas cuatro y cinco los promedios correspondientes a la técnica de Nakamura. Las dos últimas columnas de ésta tabla se explicarán más adelante.

III.2 ESTIMACION DE T_0 Y A_r A PARTIR DE VIBRACION AMBIENTAL (MICROTREMORES)

La estimación de A_r y T_0 a partir de registros de vibración ambiental se dividió en dos partes. En la primera de ellas se reunieron los valores de A_r y T_0 ya existentes, eliminados a partir de registros de vibración ambiental. En la segunda parte se llevó a cabo el registro de microtremores en los alrededores de las estaciones acelerográficas 19 y 32 en la zona de Iztapalapa.

III.2.1 RECOPIACION Y PROCESAMIENTO DE MATERIAL YA EXISTENTE.

En la figura III.4 se ubican los sitios de la ciudad de México en donde se ha realizado el registro de vibración ambiental (microtremores), antes del presente trabajo. En la localización de cada sitio se asignó su valor respectivo de T_0 , estos valores son los que se han obtenido a partir de 1986, año en que se empieza aplicar el registro de microtremores con fines de microzonificación en la Ciudad de México. Entre las instituciones abocadas a estudiar efectos de sitio utilizando microtremores se encuentran FICA que cuenta con registros de 121 sitios (Mendoza et al., 1992), e I de I con 288 sitios (Lermo y Rodríguez, 1987; Lermo y Becerra, 1991). En total cerca de 409 puntos descartando aquellos sitios en donde se encuentran estaciones acelerográficas. Los registros fueron procesados en su mayoría por la técnica estandar y un número menor por la técnica de espectros de Fourier.

La figura III.5 muestra una primera aproximación de un mapa de isoperíodos (Lermo y Rodríguez, 1987). Las líneas continuas ilustran el comportamiento de las líneas de igual período trazadas cada 0.2 segundos. Nótese la falta de continuidad de las líneas de isoperíodos alrededor de las zonas altas que se encuentran hacia el interior de la zona de lago, así como la falta de ellas en la parte oriente de la Ciudad.

Con la intención de definir con mayor claridad las líneas de isoperiodos en la parte sur-este y este de la Ciudad (Xochimilco, Tláhuac, Iztapalapa, Iztacalco y Bonito Juárez), se procesaron nuevamente registros de vibración ambiental de la zona Xochimilco-Tláhuac, empleando la técnica de Nakamura. Estos registros ya se habían procesado (Lermo y Becerra, 1991). Enlistados en la tabla III.4, en ella se encuentra la localización geográfica de cada sitio (columnas tres y cuatro), su periodo fundamental (T_0 en segundos) en la quinta columna estimados directamente del espectro de Fourier y en la sexta columna estimado con la técnica de Nakamura. Los registros de microtemores de la zona Xochimilco-Tláhuac se recuperaron de cintas magnéticas para macrocomputadoras, en donde fueron procesados. Se recuperaron por medio de una microcomputadora portátil, implementada como terminal de la macrocomputadora. La recuperación se realizó sobre discos flexibles para ser transportados a una microcomputadora fija, en donde fueron procesados nuevamente.

El primer paquete aplicado a los registros tuvo como finalidad separar los registros en sus tres componentes: dos horizontales, Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-W) y una vertical (V). El mismo paquete elimina picos que presenta el registro y que podrían ocasionar alteraciones en los espectros de Fourier cuando estos sean obtenidos. Un segundo paquete nos permitió ver la longitud de los registros y la forma que estos presentan. Los registros se dividieron en tramas de 20 y 25 segundos (ventanas de 20 segundos), para realizar las primeras pruebas de cocientes espectrales. Con el mismo paquete se obtuvieron los espectros de frecuencia de las tres componentes para cada ventana escogida de cada registro. La figura III.6 muestra la gráfica de magnificación del sismógrafo y de los sismómetros utilizados en los registros, (González, 1985). Finalmente, corregidos los espectros, se aplicó un paquete que realiza los cocientes espectrales entre las componentes horizontales y la componente vertical (técnica de Nakamura). Al mismo tiempo que promedia los cocientes para los registros en donde se seleccionó más de una ventana. Con estos resultados, y utilizando un graficador, se obtuvieron las gráficas de las figuras III.7, en donde: las tres primeras figuras, para cada sitio (el sitio es indicado por el encabezado de la figura), representan los espectros de amplitud de las tres componentes (E-W, N-S, V). En ellas las líneas discontinuas son los espectros para diferentes ventanas y la línea gruesa continua es su promedio. La última figura contiene el resultado de los cocientes espectrales con respecto a la vertical, teniendo en cada una de ellas a la componente E-W con línea continua y la componente N-S con línea discontinua. La frecuencia fundamental de sitio (F_0 en Hz), corresponde a la frecuencia en que ocurre el máximo espectral en el cociente espectral. La lectura de F_0 y A_0 se hizo en forma numérica aplicando el mismo paquete aplicado a los cocientes espectrales de acelerógramas y con la ayuda de las figuras III.7. Los resultados de T_0 para estos sitios fueron concentrados en la tabla III.4, en la última

columna. Dentro de esta misma etapa se trabajó con vibración ambiental registrada por el I de I en la localización de algunas de las 74 estaciones acelerográficas. Los archivos proporcionados, contienen los cocientes espectrales obtenidos con la técnica de Nakamura. En forma numérica, aplicando el programa Anails2, se obtuvieron los valores de T_0 y A_r para las dos componentes horizontales. El rango de frecuencias de interés fue proporcionado de las figuras III.8, cuya nomenclatura es similar a la utilizada en las figuras III.7. Con los valores de T_0 y A_r en estas estaciones acelerográficas se completo la tabla III.9 que contiene la simbología, localización de la estación y su respectivo valor de T_0 y A_r , obtenidos con registro de movimientos fuertes (columnas dos y tres, técnica estandar; columnas cuatro y cinco, técnica de Nakamura) y vibración ambiental (las dos últimas columnas).

III.2.2.- REGISTRO DE VIBRACION AMBIENTAL EN LOS ALREDEDORES DE LAS ESTACIONES ACELEROGRAFICAS 19 Y 32

La segunda parte de este capítulo consistió en medir vibración ambiental en aquellas zonas de lago en donde hacia falta, como es en la zona oriente de la Ciudad (Delegación Iztapalapa). Los sitios en donde se llevo a cabo al registro de vibración ambiental se ubicaron alrededor de las estaciones acelerográficas 19 y 32, incluso se midió vibración ambiental en la localización de las mismas estaciones. La tabla III.5 muestra la ubicación de estos sitios. A continuación se describe tanto el trabajo de campo como el trabajo de gabinete.

TRABAJO DE CAMPO

Instrumentación.

En el registro y grabación de la medición de vibración ambiental se empleo un sismógrafo Sprengnether DR-100 cuyas características son: registro digital en cinta (Cassette), muestreo de la señal a una razón de 50, 100, 200 muestras por segundo, sistema de amplificación y filtrado. Para captar la señal se emplearon tres sismómetros, dos de componente horizontal (SH-1) y uno de componente vertical (SH-1). Se empleo además, para orientación una brújula de mano. Las constantes de los sismómetros empleados en ambas componentes se describen en la tabla III.8. Estas constantes como ya se mencionó, son empleadas para corregir los espectros de amplitud de los registros, (González,1985).

Trabajo de campo.

En la tabla III.5 se menciona la ubicación de los lugares donde se llevó a cabo el registro de vibración ambiental, incluyendo la ubicación de dos estaciones acelerográficas, los lugares corresponden a parques, escuelas o zonas baldías, en donde el tráfico peatonal y vehicular son escasos o se encuentran retirados del sitio de registro. Una vez ubicado el sitio, el procedimiento para realizar el registro se puede resumir en la siguiente secuencia de pasos:

- a) Se elige el valor de amplificación de la señal. Para el caso del presente trabajo se escogieron ganancias de 42 y 60 dB para las componentes vertical y horizontales respectivamente.
- b) El filtrado de la señal es opcional, ya que se puede realizar durante el registro o durante el procesamiento de la misma. Para las señales registradas se optó por la segunda.
- c) Colocar el sismómetro a tiempo con la hora local, para tener el rango de tiempo de registro, además de anotar manualmente la hora de inicio y final del registro.
- d) Conectar y nivelar los sensores horizontales (antes de nivelar se suelta la masa de los sensores). La separación entre los sensores no debe ser menor a un metro para evitar alguna influencia magnética entre los mismos.
- e) La grabación de la señal dura aproximadamente un minuto, durante este tiempo se debe evitar el paso de peatones, autos, etc cerca del sistema de registro.
- f) Al término de la grabación del evento se sujeta la masa de los sismómetros, se desconectan y se guardan. Se transporta el equipo al siguiente punto de medición y se repiten los pasos a partir del inciso a).

Las notas que se elaboraron como apoyo del registro en cada evento son las siguientes:

Nombre de la estación (Simbología).

El canal que corresponde a cada componente.

Ganancia de grabación para cada componente.

Número de eventos.

La hora de inicio de grabación para cada evento.

Número de cinta donde se grabó cada evento.

En cada estación se registraron más de dos archivos, por un lado como seguridad y como segunda razón para promediar diferentes ventanas de espectros de Fourier y así obtener un resultado más confiable.

TRABAJO DE GABINETE

La parte del trabajo de gabinete realizado para procesar los registros obtenidos en esta etapa, es muy similar a la realizada durante la aplicación de la técnica de Nakamura a los registros ya existentes de la zona Xochimilco-Tláhuac. La única diferencia es el inicio del procesado, ya que los registros obtenidos son grabados por el registrador DR-100 en cintas magnéticas comerciales (cassettes). Los registros fueron transferidos a la memoria de una microcomputadora portátil, por medio de una serie de programas que operan como una interfase entre la memoria del DR-100 y la microcomputadora. A partir de esta transferencia se aplica la misma secuencia y los mismos programas empleados al procesar los registros de Xochimilco-Tláhuac.

Con los cocientes espectrales obtenidos se realizaron las gráficas de las figuras III.9. La descripción y nomenclatura de cada figura es la misma que se utilizó en la figuras III.7. Los valores de F_0 y A_r fueron leídos en forma numérica al igual que en los casos anteriores con el programa Analisis2. Los valores de T_0 obtenidos se concentraron en la tabla III.5, en la cual: la primera columna contiene la clave del sitio evaluado; la segunda columna la simbología final del mismo sitio; las dos siguientes columnas su localización geográfica; y la última columna el periodo fundamental de sitio.

Finalmente a los 409 sitios en donde ya se tenía registro de vibración ambiental, se agregaron los resultados del presente trabajo, (tablas III.4, III.5); más los resultados obtenidos por Lemmo et al., (1990), en sitios que se ubican alrededor de las oficinas de Ferrocarriles de México. La ubicación y periodo fundamental de estos últimos sitios se proporciona en la tabla III.7.

Con todos estos resultados se conformó la tabla III.8 que reuna todos los sitios de la Ciudad de México en

donde se ha estimado efecto de sitio, (ver figura III.10). En ella se ubican todos estos sitios, el periodo natural de cada uno de ellos se ubica en la localización geográfica que le corresponde; en ella se observa, señalada por líneas discontinuas y punteadas, la zonificación geotécnica de la Ciudad de México y con líneas continuas algunas de las principales avenidas que cruzan a la Ciudad.

Por último se trazaron líneas de igual periodo natural (cada 0.5 segundos) sobre los datos de la figura III.10, obteniéndose como resultado la figura III.11. La amplificación relativa estimada para todos los sitios de registro acelerográfico y en algunos de registro de microtemores se muestran en la figura III.12; en ella los círculos negros corresponden a valores de amplificación relativa estimada con movimientos fuertes, y los círculos abiertos muestran los valores de amplificación estimados con vibración ambiental.

IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de las dos fuentes de datos (Registros de movimientos fuertes y registros de microtemores) se describen con el objeto de poder comparar la estimación de los valores de T_0 obtenidos con las técnicas estandar y de Nakamura, con los dos tipos de registros mencionados. En la tabla III.9 se concentra el resultado de promediar los datos concentrados en las tablas III.2, III.3, a partir del material proporcionado por CIS (Aguilar et al., 1991) y por Pérez-Rocha (1992). La primera columna contiene la clave con la que se identifica cada una de las estaciones acelerográficas. En las columnas dos y tres los promedios de A_r y T_0 estimados con la técnica estandar y en las columnas cuatro y cinco los valores de los mismos parámetros estimados con técnica de Nakamura. En la misma tabla se mencionan, en las dos últimas columnas, los resultados de la recopilación de los valores de A_r y T_0 en 19 estaciones acelerográficas donde se registró vibración ambiente.

En lo referente a la aplicabilidad de la técnica de Nakamura a registros de microtemores, los valores de T_0 obtenidos por medio de este método, en sitios localizados en estaciones acelerográficas, muestran solo una variación en promedio de + 0.2 s con respecto a aquellos obtenidos con acelerogramas, en los mismos sitios (Tabla III.9). Con lo cual queda comprobado que los valores de T_0 estimados con la técnica de Nakamura aplicada a microtemores son confiables, siempre y cuando se considere un comportamiento unidimensional del medio a evaluar. Esto queda aún más verificado con las mediciones y resultados obtenidos que se concentran en la tabla III.5, para las estaciones 19 y 32, en donde para la primera se obtuvo un valor igual de T_0 , tanto para registros de acelerogramas y microtemores, y para la segunda la variación cae dentro del rango antes mencionado.

Del nuevo procesamiento de los registros de microtemores de 41 sitios de la zona de Xochimilco-Tláhuac con la técnica de Nakamura, cuyos resultados se muestran en la tabla III.4 y en base al párrafo anterior, podemos afirmar que la aplicabilidad de la técnica de Nakamura es más confiable ya que las variaciones encontradas entre los valores de T_0 obtenidos directamente del espectro de Fourier y la técnica estandar son demasiado grandes en algunos sitios. Por otro lado se pudo observar en las funciones de transferencia empíricas, figuras III.7, III.8, III.9, obtenidas con Nakamura una mejor resolución al definir los máximos espectrales.

A los sitios antes mencionados, tablas III.4 y III.5 se agregaron ocho sitios localizados en los alrededores del edificio de las Oficinas de Ferrocarriles de México, localizados en el área de Buenavista (Lermo et al., 1990), su clave, localización y período fundamental se encuentran concentrados en la tabla III.7. Los valores de T_0 fueron obtenidos directamente de los espectros de Fourier. En total 57 sitios que sumados a los de la figura III.4 dan un total de 487 sitios en donde se ha estimado el valor de T_0 y A_r con registros de vibración ambiental, sin incluir las 19 estaciones acelerográficas en donde se han registrado microtemores.

En resumen, si conjuntamos los resultados obtenidos a partir de acelerogramas y microtemores, tenemos cerca de 502 sitios donde se ha estimado su período dominante (T_0), la tabla III.8 contiene la clave final de cada sitio en la primera columna, su localización geográfica en las dos columnas siguientes y su período natural en la última columna. La figura III.10 ilustra la ubicación de estos sitios, con líneas punteadas y discontinuas se señala la división geotécnica de Ciudad de México, las líneas continuas señalan algunas avenidas principales, y los valores señalan la estimación de T_0 para cada sitio correspondiente. Con una densidad mayor de datos, que la mostrada en la figura III.4, se pudo configurar un plano de isoperíodos trazados cada 0.5 segundos; mostrando con ello una mejor continuidad en los isoperíodos que aquellos observados en la figura III.5. La figura III.11 contiene el plano de isoperíodos para la Ciudad de México, la nomenclatura restante es la misma que en figura III.10.

Finalmente los valores de amplificación relativa estimados a partir de acelerogramas (recopilados y concentrados en la última columna de la tabla III.8) se ubican en la figura III.12, con círculos negros. Así mismo los valores de amplificación estimados a partir de registros de microtemores se señalan en la misma figura con círculos abiertos. Se puede observar que la concentración de datos es menor que en la figura III.10, esto se debe a que en un gran número de sitios que fueron evaluados a partir del registro de microtemores, el valor de A_r no fue confiable debido a la alta dispersión que se presentó en los valores obtenidos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en el presente trabajo permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

Con respecto a la recopilación de información referente a movimientos fuertes los valores de T_0 y A_f fueron debidamente verificados, tanto en forma gráfica como en forma numérica y pasados a un formato común (tabla III.9 y III.8) de donde podemos concluir que estos datos son confiables para cada sitio donde fueron estimados.

Como resultado de la recopilación de información referente a T_0 , en unión con los resultados del presente trabajo, se configuro un plano de periodos dominantes, figura III.10, en donde se puede observar la diferencia que existe con respecto a la figura III.4. Existiendo una mayor densidad de datos en la figura III.10 y con ello una mayor cobertura de zonas con periodos dominantes confiables.

La densidad de datos reunidos en la figura III.10 permitió configurar un plano de isoperiodos, figura III.11, en donde podemos observar con mejor claridad la continuidad de las líneas de igual periodo, notándose una gran diferencia con respecto a la figura III.5. Así también se puede observar una mejor delimitación de las zonas de loma y de lago de la Ciudad de México.

Al comparar la figura de isoperiodos, figura III.11, con la figura de paleodrenaje, figura III.13, se puede observar la gran concordancia que existe entre el comportamiento de los isoperiodos y la paleogeología del Valle de México. Los isoperiodos menores o iguales a uno delimitan claramente a las zonas de lomas al poniente de la ciudad, el cerro de la estrella en la parte central y la Sierra de Santa Catarina al sur-este del valle. Para periodos entre 1 y 1.5 segundos se observa que concuerdan con la zona de transición, rodeando a las partes altas antes mencionadas. En cuanto a periodos mayores a 1.5 hasta 2.5 segundos coinciden con las partes bajas de lo que fue la serie estratigráfica del paleovalle. Y por último los valores de periodo natural entre 3 y 4.5 segundos coinciden con las zonas más bajas del antiguo Valle de México, que corresponden a los fondos de los paleovalles y paleocanales, (Paleovalle de Chapultepec, Paleovalle de Cuahuacán, Canal de Garay). Todas estas concordancias nos permiten afirmar que el plano de isoperiodos propuesto es confiable para fines de microzonificación.

En lo que respecta al riesgo sísmico sería deseable que se continuará con este tipo de estudios hacia las zonas conurbanas al Distrito Federal y en especial hacia aquellas zonas bajas, paleovalles y paleodrenajes, en donde se presenta un mayor asentamiento humano.

Finalmente en lo que toca a la información recopilada de aplicación relativa (A_r), figura III.12, no permitió configurar un plano de isoamplificación para la Ciudad de México, debido a la gran dispersión que presenta la estimación de este parámetro tanto con temblores y microtemblores. Sin embargo, si fue posible obtener un mapa de amplificación que nos permita observar el comportamiento del mismo en determinada zona geotécnica.

REFERENCIAS

- Aguilar, H. R., A. Arciniega, M. Ordáz, L. E. Pérez-Rocha, E. Rienoso y F. J. Sánchez-Sesma, (1991), "Respuesta Sísmica del Valle de México, Aplicaciones y Teoría", Centro de Investigaciones Sísmicas, A. C., Segundo Informe de Actividades a la Secretaría de Obras del Departamento del Distrito Federal.**
- Aki, K. (1957), "Space and time spectra of stationary stochastic with special reference to microtremores.", Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 35, 415-457.**
- Aki, K. y P. Richards, (1980), "Quantitative Seismology", Ed. W. H. Freeman Company, vol. I, U.S.A..**
- Bercherdt, R. D. (1970). "Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay", Bull., Seism. Soc. Am 60, 29-61**
- Cabrera, R. y G. Cesati (1990), "Registro y Análisis de Vibración Ambiental Para Determinar Periodos Dominantes del Suelo en el Area de Buenavista, D.F.", Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M..**
- Campillo, M., J. C. Gariel, K. Aki y F. J. Sánchez-Sesma (1989), "Destructive strong ground motion in México City: Source, path and site effects during the great 1985 Michoacán earthquake", Bull Seism Soc Am, 79, 1718-1735.**
- Díaz de León, Ch, (1990), "Estimación de espectros de respuesta usando microtremores en el Valle de México". Tesis de licenciatura, I de I, U.N.A.M.**
- Espinoza-Aranda J. M., B. Frontana y G. Ibarrola, (1991), "Red Básica de Acelerógrafos Digitales del D.F.", Boletín de CIS-FJBS, Vol 1, Num 1, pp 1-11.**
- Field, E. H., S. E. Hough, and K. H. Jacob (1990). "Using microtremors to asses potential earthquake site response: a case study in Flushing Meadows", New York City, Bull. Seism. Soc. Am. 80, 1456-1480.**
- González M., (1985), "Curvas de Respuesta de los Sistemas de Adquisición de Datos Sísmicos Utilizados en el Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.", Tesis de Licenciatura, I.P.N..**
- Gutiérrez C. and Singh S.K (1992), "A Site Effect Study in Acapulco, Guerrero, México: Comparison of results from strong motion and microtremor data", Bull. Seism. Soc. Am 82, pp 642-659.**
- Haskell, N. A. (1962), "Crustal reflection of plane P and SV waves", Jour Geophys Res, 67, 4751-4787.**
- Herrera J. and E. Rosenblueth (1965), "Responce Spectra on Stratified Soil", Memorias del III Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Auckland y Wellington, Nueva Zelanda, 1, 44-60.**
- Kanai, K. and T. Tanaka (1954), "Measurement of the microtremor", Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 32, 199-209.**
- Kanai, K. and T. Tanaka (1961), "On microtremors VII", Bull. Earthq. Res. Inst. 39, 97-114.**

- Kanai, K. (1968), "Engineering seismology", University of Tokyo Press, 251 pp.
- Kagami, H., C. M. Duque, G. C. Liang, and Y. Otha (1982), "Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part II. Evaluation of site effect upon seismic wave amplification due to extremely deep soil deposits", *Bull. Seism. Soc. Am.* 72, 987-998.
- Kagami, H., S. Otada, M. Shiono, M. Oner, M. Dravinski, and A. K. Mal (1986), "Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in S. Fernando valley", *Bull. Seism. Soc. Am.* 76, 1801-1812.
- Kobayashi, H., K. Seo and S. Midorikawa (1986), "Estimated strong ground motions in the Mexico city due to the Michoacan, Mexico earthquake of september 19, 1985 based on characteristics of microtremor. Part 2, Report on seismic microzonning studies of the Mexico earthquake of september 19, 1985". The Graduate School of Nagatsuta. Tokyo Institute of Technology, Yokohama Japan.
- Lermo, J y M. Rodríguez (1987), "Microzonificación de México, D. F., usando microtremores", (Primer Informe técnico a CONACYT). Instituto de Ingeniería, México.
- Lermo, J., M. Rodríguez, y S. K. Singh (1988a), "Observaciones de microtemblores y su aplicación en ingeniería sísmica.", *Revista Geofísica, IPGH*, 28, 123-143.
- Lermo, J., M. Rodríguez, y S. K. Singh (1988b), "Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements.", *Earthquake Spectra* 4, 805-814.
- Lermo, J., R. Cabrera, G. Cesati y R. Ortega (1990), "Estimación del período dominante en 18 sitios del D.F., utilizando mediciones de velocidad de ondas de cortante en pozos, microtremores y movimientos fuertes", *Memorias del Congreso Nacional de Mecánica de Suelos*, San Luis Potosí 1990.
- Lermo, J. y A. Becerra (1991), "Actualización del mapa de isoperíodos para la ciudad de México desde mediciones de microtremores y datos de movimientos fuertes", (Boletín Vol I) Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barrios Sierra, pp 48-50.
- Lermo, J. y F. J. Chávez-García (1993), "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 1574- 1594.
- Lermo, J. y F. J. Chávez-García (1992b), "Are microtremors useful in sitio response evaluation?", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 1350- 1364.
- Manual de operación Sprengnether DR100. Laboratorio Sismológico del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
- Mazzari M., R.J. Mansal (1959). "El subsuelo de la ciudad de México", Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México D. F..

- Mendoza, L., J. Acosta, C. Huerta, A. Reyes y J. Otero (1992). " Mapa de periodos dominantes de la vibración ambiental de los suelos blandos del Valle de México ", Ingeniería Sísmica 43, 19-58.
- Mooser, F. (1992), Comunicación personal con I de I., U.N.A.M.
- Nakamura, Y. (1989). " A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface ", QR o RTR1 30.
- Newmark, N. M. y E. Rosenblueth (1971), " Fundamentals of Earthquake Engineering ", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.
- Omori, F. (1908). " On microtremors ", Bull. Imper. Earthq. Invest. Comm. 2.
- Ordaz, M., J. M. Jara y S. K. Singh (1989), " Riesgo Sísmico y Espectros de Diseño en el Estado de Guerrero", Informe Conjunto del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M (Proyectos 8782 y 9745) y el Centro de Investigaciones AC de la Fundación Javier Barros Sierra.
- Otha, Y., H. Kagami, N. Goto, and K. Kudo (1978). " Observation of 1- to 5-second microtremors and their application to earthquake engineering. Part I: Comparison with longperiod accelerations at the Tokachi-OKI earthquake of 1968 ", Bull. Seism. Soc. Am. 68, 767-779.
- Pérez-Rocha E. (1992), Comunicación personal con I de I, U.N.A.M.
- Sánchez-Seama, F. J., M. Campillo, P. Y. Bard, J. C. Garfil y K. Aki, (1989), " The great 1985 Michoacan earthquake: A unified approach considering source, path and site effects ", Proc 4th Int Conf Soli Dyn Earthquake Engr, Mexico D.F., In: Engineering Seismology and Site Response, AS Cakmak e I Herrera (eds), Computational Mechanics Publications, Southampton, 53-75.
- Seo, K., T. Samano, H. Yamanaka, X. Hao, M. Takeuchi, y Y. Kushino (1990), " A simple procedure for predicting seismic motion with microtremor measurements ", Proceedings of the National Symposium on effects of surface geology on seismic motion. Tokyo, Japón, 207-212.
- Seo, K., T. Samano, H. Yamanaka, X. Hao, S. Koyama, M. Takeuchi, K. Fujitaka, Y. Kushino, K. Asano, N. Nakajima, M. Mural, L. Mualchin, y Y. Hisada (1991), " Microtremor measurements in the San Francisco Bay area. Part 2: Site conditions evaluated from microtremors ", Proc. Fourt Int. Conf. on Seismic Zonation, Stanford, California, II, 425-432.
- Seed, H. B., M. P. Romo, J. I. Sun, A. Jaime, and J. Lysmer (1988), " Relationship between soil conditions and earthquake ground motions ", Earthquake Spectra 4, 687-729.
- Singh, S. K., E. Mena, and R. Castro (1988a). " Some aspects of source characteristics of the 19 September 1985 Michoacán earthquake and ground motion amplification in and near Mexico City from strong motion data ", Bull. Seism. Soc. Am. 78, 451-477.

Singh, S. K., J. Lemo, T. Domínguez, M. Ordaz, J. M. Espinosa, E. Mena, and R. Quas (1988b). " A study of amplification of seismic waves in the Valley of México with respect to a hill zone site ", Earthquake Spectra, November 4-4, pp 653-673.

Takeuchi, H. and M. Saito (1972). " Seismic surface waves, in B. A. Bolt ed. Methods in Computational Physics, Vol. 11 Academic Press, New York, pp 217-295.

Thomson, W. T. (1950), " Transmission of elastic waves through a stratified soil ", Jour Applied Physics, 21, 89-93.

LEYENDAS

FIGURA 1.1.- Columna estratigráfica, formada por n estratos de suelo blando descansando sobre un semiespacio de roca dura y su equivalente estrato ideal según Newmark y Rosenblueth (1971). Cada estrato está caracterizado por cuatro parámetros: β velocidad de propagación de las ondas S; γ densidad del material del estrato; ζ amortiguamiento del material y H_i profundidad del estrato. Igualmente $\beta_0, \gamma_0, \zeta_0$, con el mismo significado, son los parámetros que definen al semiespacio de roca dura. Para el estrato equivalente: β velocidad de propagación media de las ondas S y T_0 periodo natural de vibrar de sitio, parámetros que nos permiten caracterizar al estrato equivalente.

FIGURAS 11.1.- Las figuras 11.1a muestran la longitud de las ventanas utilizadas de una porción de registros de microtemores, (de 15 segundos cada una de ellas); las figuras 11.1b contienen sus respectivos espectros de Fourier. Como se indica en las figuras 11.1b la línea continua corresponde al espectro de la componente EW y la línea discontinua al espectro de la componente NS, el encabezado de cada figura corresponde a la clave asignada al lugar de evaluación y a la hora de registro. La frecuencia natural (f_0) está dada por la frecuencia asociada al máximo espectral de los espectros de Fourier (Cabrera y Cesati, 1990).

FIGURAS 11.3.- Obtención de funciones de transferencia empíricas (F.T.E) utilizando registros de acelerogramas y microtemores. La figura 11.2a corresponde a registros de acelerogramas reales, así como su F.T.E (Reinoso et al., 1991). La figura 11.2b ejemplifica la de F.T.E a partir de microtemores (Lermo, 1992), para esta figura la F.T.E está dada por la línea continua del cociente espectral. De acuerdo a Singh et al. (1988) la F.T.E se obtiene al dividir dos espectros de Fourier suavizados: uno en terreno duro (sitio de referencia) y otro en terreno blando (sitio a evaluar). El cociente espectral indicará para cada frecuencia el número de veces que la señal se amplifica con respecto al sitio de referencia, al mismo tiempo que indica la frecuencia dominante del sitio evaluado.

FIGURA 11.2.- Idealización del medio real a partir del cual se desarrollan las bases para explicar la técnica de Nakamura (Lermo y Chávez-García, 1992b). Se trata de un solo estrato de suelo blando (SB), que descansa sobre un semiespacio de roca dura (R). Por medio de SB se propagan ondas Rayleigh (OR). De acuerdo a esto, los espectros involucrados son:

Vs, Hs espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la superficie.

Vb, Hb espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la base del estrato de suelo blando.

FIGURA II.4.- Idealización de la columna estratigráfica de donde Lermo y Chávez-García parten para explicar las bases que hacen aplicable la técnica de Nakamura a registros de movimientos fuertes. De acuerdo a la figura SB representa el estrato de suelo blando, RD el semi-espacio de roca dura y S es el campo incidente de ondas planas armónicas. De esta forma los campos de desplazamiento involucrados son: Uhs campo de desplazamiento horizontal en la interface, Us y Ws campos de desplazamiento horizontal y vertical en la superficie respectivamente.

FIGURA II.5.- Resultados obtenidos por Lermo y Chávez-García (1994) al aplicar el método de Haskell a los datos estratigráficos de la estación S.C.T en la Ciudad de México, con el objeto de observar el comportamiento de las relaciones Us / Uhs (figura II.5a) y Ws/Uhs (figura II.5b) como funciones del ángulo de incidencia. Puede observarse que a ángulos grandes de incidencia el comportamiento de la F.T. corresponde más a la respuesta del modelo unidimensional; también se pueden observar las variaciones en la amplificación en ambas relaciones como funciones del ángulo de incidencia, siendo menores en la relación Ws/Uhs , en donde no sobrepasen a un factor de dos.

FIGURA II.6.- F.T. obtenidas por Lermo y Chávez-García (1994) al computer la relación de Nakamura: Us/Ws , con las figuras II.5. Comparando estas figuras con las figuras II.5a se puede observar la gran concordancia que existe entre ellas, por lo cual ellos concluyen que la técnica de Nakamura es una buena herramienta para estimar el efecto de sitio utilizando una sola estación de registro.

FIGURA III.1.- Red Acelerográfica de la Ciudad de México operada por las siguientes instituciones: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (*); Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA) (●); Fundación Javier Barros Sierra (FJBS) (○); Instituto de Ingeniería (I de I) (▲); temporales operadas por FJBS (■). Las líneas punteadas son los límites de la zona de loma, la zona de transición se encuentra hacia el interior de las líneas discontinuas; las líneas continuas corresponden a algunas avenidas principales de la Ciudad de México, (Mazarí et al., 1954).

FIGURA III.2.- Funciones de transferencia empíricas, obtenidas con la técnica estándar, de la zona centro de la Ciudad. Corresponden al evento del dos de mayo de 1989, indicado en el encabezado de la figura. Los valores de T_0 y A_r fueron concentrados en las columnas de la derecha; en donde la primera columna está formada por el nombre de la estación de registro, la fecha del evento y la componente. Las dos últimas columnas contienen los valores de T_0 y A_r respectivamente. La línea discontinua corresponde a la componente E-W y la línea continua a la componente N-S, (Aguilar et al., 1991).

FIGURA III.3.- Funciones de transferencia empíricas obtenidas a partir de seis eventos registrados en la Central de Abastos, primeras seis figuras. La séptima figura contiene su promedio para las dos componentes horizontales, la línea continua indica el cociente espectral de la componente N-S, y la línea discontinua al cociente espectral de la componente E-W. Las funciones de las figuras III.3a fueron obtenidas con la técnica estándar y las funciones de las figuras III.3b se obtuvieron con la técnica de Nakamura, (Pérez-Rocha, 1992).

FIGURA III.4.- Ubicación geográfica de los casi 409 puntos de la Ciudad de México en donde se registró vibración ambiental (microtremores), antes del presente trabajo. El valor que se ubica en cada punto corresponde al período natural (T_0) de cada sitio, obtenido a partir del registro de microtremores. La información fue obtenida de los trabajos realizados entre otras instituciones por FICA (Mendoza et al., 1991) e I de I. (Lermo y Rodríguez, 1987; Lermo y Becerra, 1991). Las líneas continuas representan parte de las principales avenidas que cruzan a la Ciudad y las líneas discontinuas y punteadas describen la zonificación geotécnica de la misma Ciudad (Mazari et al., 1959).

FIGURA III.5.- Aproximación de un mapa de isoperíodos, (isoscistas trazadas cada 0.2 segundos, líneas delgadas) realizada por Lermo y Rodríguez, (1987). Las líneas gruesas son algunas de las avenidas que cruzan a la Ciudad.

FIGURA III.6.- Gráfica de magnificación que ilustra el comportamiento de las constantes que caracterizan al sismógrafo y a los sismómetros, utilizados en los registros de zona de Iztapalapa (Tabla III.7), (González, 1985).

FIGURAS III.7.- Funciones de transferencia empíricas obtenidas con la técnica de Nakamura a partir de registros de vibración ambiental obtenidos en los sitios que se mencionan en la tabla III.4. Las tres primeras gráficas muestran los espectros de frecuencia de diferentes ventanas de los registros de un mismo sitio para

las tres componentes, así como su promedio con línea oscura continua. La última gráfica representa la función de transferencia empírica para las dos componentes horizontales, EW con línea continua y NS con línea discontinua.

FIGURAS III.8.- Funciones de transferencia empíricas obtenidas con la técnica de Nakamura a partir de registros de vibración ambiental en la localización de algunas estaciones acelerográficas que se mencionan en la tabla III.9. Las tres primeras gráficas muestran los aspectos de frecuencia para diferentes ventanas de los registros de un mismo sitio para las tres componentes, así como su promedio con línea continua oscura. La última gráfica representa la función de transferencia empírica para las dos componentes horizontales, EW con línea continua y NS con línea discontinua, (t de I, 1992).

FIGURAS III.9.- Funciones de transferencia empíricas obtenidas con la técnica de Nakamura a partir de registros de vibración ambiental en los sitios que se mencionan en la tabla III.5. Las tres primeras figuras de cada serie son los espectros de Fourier para dos ventanas en cada registro, líneas discontinuas, en cada componente. La última columna contiene la F.T.E para ambas componentes horizontales, N-S con línea continua, E-W con línea discontinua.

FIGURA III.10.- Total de sitios de la Ciudad de México en donde se ha estimado su período natural (T_0) con fines de microzonificación. El período natural se anota en su respectiva localización, la simbología es la misma de la figura III.4.

FIGURA III.11.- Plano de isoperíodos para el D.F, las líneas gruesas señalan las isoscistas trazadas cada 0.5 segundos. Puede notarse la continuidad de las isoscistas alrededor de las zonas altas, así como una mejor definición de las mismas en la zona oriente de la Ciudad.

FIGURA III.12.- Amplificación relativa (A_r) asociada a períodos fundamentales de algunos sitios donde se estimó el efecto de sitio. Los círculos negros indican valores de A_r estimados con registros de movimientos fuertes, y los círculos abiertos corresponden a valores de A_r estimados con registros de vibración ambiental. La simbología es la misma de la figura III.4.

FIGURA III.13.- Mapa de paleodrenaje de la Ciudad de México, la nomenclatura está señalada en el recuadro del margen derecho, proporcionado por Mooser, 1992.

Evento	Fecha	Lat. N	Long. W	Profundidad Km	Magnitud (Ms)
1	190985	18.14	102.71	16	8.1
2	210985	17.82	101.82	22	7.8
3	070687	18.83	98.69	40?	4.8
4	150787	17.58	97.18	68	5.9*
5	080288	17.50	101.14	20	5.8
6	250489	16.58	99.48	17	6.9
7	020589	16.85	99.48	19	4.9
8	110590	17.05	100.84	12	4.9
9	310590	17.12	100.84	21	5.8

* Magnitud (Mb)

TABLA III.1.- Eventos registrados en la Ciudad de México por la red de acelerógrafos que componen a la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM), desde su instalación a partir de 1985.

EVENTO	19/09/85				07/06/87				08/02/88				25/04/89				11/05/90				31/05/90				PROMEDIOS								
	COMPONENTES N		E		N		E		N		E		N		E		N		E		N		E		COMPONENTES								
	ESTACION		P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	PROMEDIOS								
CU	3.7	42	4.2	22	3.9	67	4.7	44	3.1	32	3.2	36	3.1	34	3.8	20	3.5	18	3.3	19	3.1	33	2.9	25	3.2	27	3.0	37	3.4	36	3.8	29	
CD	2.2	08	3.0	11	2.0	14	4.8	17																									
CF	3.6	32	5.8	25													5.0	26	4.5	19													
TB	3.6	10	3.6	11																													
TD	2.1	20	2.0	16													1.6	11	2.1	18	2.0	17	2.0	17									
SC	1.6	13	1.6	10																													
TK	0.6	04	0.5	04	0.6	05	0.6	08									0.5	03	0.6	04													
VI									1.5	13	1.4	19	1.4	11	1.4	12	1.6	12	1.3	15	0.0	00	1.2	12									
RD																																	
TY																																	
VC																	3.0	09	2.9	20													
CH																									1.1	08	1.1	10					
CE																																	
CY																									0.6	03	0.8	04					
TL																									3.7	25	3.7	32					
ZA																																	
UK																									4.0	18	3.1	10					
RH																									2.6	11	2.5	19					
ES																																	
CH																																	
IH																									1.9	05	0.8	05					

(37)

EVENTO	07/06/87				15/07/87				08/02/88				PROMEDIOS			
	COMPONENTES N		E		N		E		N		E		N		E	
	ESTACION		P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
T1	1.3	40	1.4	16	1.4	21	1.4	15								
T2	1.3	17	1.4	14	1.4	16	1.4	09	1.4	11	1.4	12	1.4	15	1.4	12
T5	1.3	15	1.4	08	1.4	14	1.6	15								
T7					2.7	20	2.7	18								
T9					5.6	14	4.7	12	3.1	17	3.9	19	2.3	19	2.1	16
T11	2.4	22	2.0	19	2.1	15	2.1	13					2.3	19	2.1	16

TABLA III.2.- Valores de To y Ar para los eventos que se mencionan en la tabla III.1. Fueron obtenidos del primer archivo de funciones de transferencia proporcionado por CIG, figura III.2, las cuales fueron procesadas con la técnica estándar. Las columnas: dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete y ocho contienen los valores de To y Ar para cada temblor registrado, señalado en el encabezado de cada una de estas columnas. La columna nueve contiene los promedios de To y Ar para cada componente.

EVENTO ESTACION	07/06/87		15/07/87		08/02/88		02/05/89		25/04/89		11/05/90		31/05/90		PROMEDIOS COMPONENTES	
	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																
62																
64																
65																
66																
68																
70																
72																
74																
76																
78																
80																
82																
84																
86																

(39)

TABLA III.2- CONTINUACION.

ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO		ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO	
	NS		EW		TECNICA ESTANDAR			NS		EW		TECNICA ESTANDAR	
	F	A	F	A	F	A		F	A	F	A	F	A
	(Hz)		(Hz)		(Hz)			(Hz)		(Hz)		(Hz)	
01	0.49	13.51	0.48	13.51	0.49	13.48	48	1.09	04.09	1.16	04.92	1.13	04.51
02	0.19	48.62	0.19	11.04	0.19	29.83	49	0.34	28.85	0.36	45.80	0.35	37.22
03	0.43	12.72	0.53	17.08	0.48	14.90	51	0.43	30.95	0.44	36.13	0.44	33.54
04	0.43	11.53	0.53	16.96	0.48	14.24	52	1.12	03.73	1.11	03.97	1.12	03.85
05	0.48	19.57	0.55	17.85	0.51	18.71	53	0.71	10.66	0.68	10.59	0.69	10.63
06	0.32	11.01	0.35	10.75	0.33	23.17	54	0.88	13.88	0.83	10.11	0.86	11.99
08	0.51	13.77	0.43	14.59	0.47	14.18	55	0.49	09.40	0.52	12.56	0.50	10.98
09	0.40	13.58	0.41	24.25	0.41	18.92	56	0.41	25.76	0.42	22.54	0.41	24.15
10	0.42	19.54	0.47	12.42	0.44	15.98	57	1.15	03.86	1.03	04.79	1.09	04.32
11	0.21	21.71	0.24	39.17	0.22	30.43	58	0.41	12.51	0.44	19.44	0.43	15.98
12	0.25	14.24	0.26	19.26	0.25	16.75	59	0.31	26.81	0.33	24.94	0.32	26.86
14	0.28	22.86	0.26	17.47	0.26	20.17	62	0.47	11.87	0.46	11.26	0.47	11.57
15	0.72	11.76	0.72	10.03	0.72	10.90	68	0.30	20.29	0.29	13.24	0.30	16.76
18	1.77	03.93	1.73	04.87	1.75	04.40	72	0.44	06.63	0.36	15.42	0.40	12.52
17	0.89	09.50	0.85	07.80	0.77	08.65	74	1.01	01.63	0.81	01.55	0.91	01.64
19	0.36	21.96	0.36	11.40	0.36	16.69	80	0.32	26.51	0.37	21.52	0.34	24.01
20	0.20	20.27	0.21	10.95	0.20	15.81	84	0.70	13.70	0.72	20.05	0.71	18.88
22	0.64	09.21	0.68	18.36	0.66	13.76	CY	1.37	03.16	1.45	03.85	1.41	03.51
23	0.20	21.25	0.21	16.31	0.20	18.78	IM	1.20	05.06	1.23	05.74	1.22	05.41
24	0.66	06.18	0.66	05.71	0.66	05.94	CD	0.31	25.13	0.32	22.77	0.31	23.85
25	0.43	18.21	0.43	15.70	0.43	15.95	CF	0.33	07.17	0.32	10.09	0.32	08.63
27	1.09	05.24	1.30	10.27	1.19	06.06	CM	0.85	07.93	0.87	10.57	0.86	06.25
29	0.32	36.13	0.35	25.53	0.33	30.83	IP	0.50	01.80	0.49	01.59	0.50	01.69
30	1.74	02.33	1.85	02.83	1.69	02.58	MY	0.49	02.56	0.83	10.47	0.56	02.01
31	0.21	28.43	0.19	24.96	0.20	26.09	RA	0.37	15.51	0.44	19.21	0.41	17.38
32	0.23	11.93	0.23	10.69	0.23	11.31	RB	0.37	12.03	0.36	14.36	0.37	13.19
33	0.40	12.23	0.40	19.18	0.40	15.89	RC	0.38	16.12	0.40	25.72	0.39	20.62
35	0.20	24.93	0.18	20.81	0.19	22.87	RO	0.71	13.32	0.72	12.84	0.72	13.08
36	0.28	31.01	0.29	27.94	0.28	29.48	SC	0.51	10.23	0.48	17.66	0.50	13.94
37	0.98	06.82	1.00	09.56	0.99	08.24	T2	0.67	14.60	0.70	12.43	0.69	13.52
38	0.53	17.21	0.55	27.54	0.54	22.38	T9	0.21	20.50	0.35	19.28	0.26	19.89
39	0.34	19.30	0.40	21.87	0.37	20.58	UK	0.25	20.88	0.30	11.89	0.28	18.39
41	0.21	26.83	0.21	11.43	0.21	19.13	UG	0.33	08.83	0.34	16.20	0.34	12.52
42	0.23	20.82	0.24	19.24	0.23	20.03	TB	0.19	17.80	0.22	15.00	0.20	16.40
43	0.30	22.12	0.33	31.03	0.31	26.58	TD	0.46	07.34	0.26	11.57	0.36	09.45
44	0.70	07.34	0.70	07.06	0.70	07.20	TL	0.26	29.76	0.28	56.82	0.28	44.29
45	0.37	13.10	0.38	12.51	0.38	12.81	VI	1.85	02.60	1.84	04.00	1.85	03.40

(40)

TABLA III.3a

TABLA III.3.- Valores de A_r y F_o obtenidos a partir de las funciones de transferencia de los registros de 74 estaciones acelerográficas procesados con la técnica estandar (Tabla III.3a) y técnica de Nakamura (Tabla III.3b). Los promedios de las dos componentes horizontales se ubican en las columnas seis y siete de ambas tablas. (Pérez-Rocha, 1992).

ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO		ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO	
	NS		EW		TECNICA ESTANDAR			NS		EW		TECNICA ESTANDAR	
	F	A	F	A	F	A		F	A	F	A	F	A
	(Hz)		(Hz)		(Hz)		(Hz)		(Hz)		(Hz)		(Hz)
01	0.49	13.51	0.48	13.51	0.49	13.48	45	1.09	04.09	1.16	04.92	1.13	04.51
02	0.19	48.62	0.19	11.04	0.19	29.83	49	0.34	28.85	0.36	45.80	0.35	37.22
03	0.43	12.72	0.53	17.08	0.48	14.90	51	0.43	30.95	0.44	36.13	0.44	33.54
04	0.43	11.53	0.53	16.98	0.48	14.24	52	1.12	03.73	1.11	03.97	1.12	03.85
05	0.48	19.57	0.55	17.85	0.51	18.71	53	0.71	10.86	0.68	10.59	0.69	10.83
06	0.32	11.01	0.35	10.75	0.33	23.17	54	0.88	13.88	0.83	10.11	0.86	11.99
08	0.51	13.77	0.43	14.59	0.47	14.18	55	0.49	09.40	0.52	12.56	0.50	10.98
09	0.40	13.58	0.41	24.25	0.41	18.92	56	0.41	25.78	0.42	22.54	0.41	24.15
10	0.42	19.54	0.47	12.42	0.44	15.98	57	1.15	03.86	1.03	04.79	1.06	04.32
11	0.21	21.71	0.24	39.17	0.22	30.43	58	0.41	12.51	0.44	19.44	0.43	15.98
12	0.25	14.24	0.26	19.25	0.25	16.75	59	0.31	26.81	0.33	24.94	0.32	26.68
14	0.25	22.96	0.26	17.47	0.26	20.17	62	0.47	11.67	0.46	11.26	0.47	11.57
15	0.72	11.76	0.72	10.03	0.72	10.90	68	0.30	20.29	0.29	13.24	0.30	16.78
16	1.77	03.93	1.73	04.87	1.75	04.40	72	0.44	09.83	0.36	15.42	0.40	12.52
17	0.89	09.50	0.65	07.80	0.77	08.65	74	1.01	01.83	0.81	01.55	0.91	01.64
19	0.36	21.99	0.36	11.40	0.36	16.69	80	0.32	26.51	0.37	21.52	0.34	24.01
20	0.20	20.27	0.21	10.95	0.20	15.81	84	0.70	13.70	0.72	20.05	0.71	16.88
22	0.64	09.21	0.88	18.36	0.66	13.78	CY	1.37	03.18	1.45	03.85	1.41	03.51
23	0.20	21.25	0.21	16.31	0.20	18.78	IM	1.20	05.08	1.23	05.74	1.22	05.41
24	0.96	06.18	0.86	05.71	0.96	05.94	CD	0.31	25.13	0.32	22.77	0.31	23.95
25	0.43	16.21	0.43	15.70	0.43	15.95	CF	0.33	07.17	0.32	10.09	0.32	08.83
27	1.09	05.64	1.30	10.27	1.19	08.26	CM	0.65	07.63	0.67	10.57	0.66	09.25
29	0.32	36.13	0.35	25.53	0.33	30.83	IP	0.50	01.80	0.49	01.59	0.50	01.99
30	1.74	02.33	1.65	02.83	1.69	02.56	MY	0.49	02.56	0.83	01.47	0.56	02.01
31	0.21	26.43	0.19	24.96	0.20	26.09	RA	0.37	15.51	0.44	19.21	0.41	17.36
32	0.23	11.93	0.23	10.69	0.23	11.31	RB	0.37	12.03	0.36	14.36	0.37	13.19
33	0.40	12.23	0.40	19.16	0.40	15.69	RC	0.58	16.12	0.40	25.72	0.39	20.82
35	0.20	24.93	0.18	20.81	0.19	22.67	RO	0.71	13.32	0.72	12.84	0.72	13.08
36	0.26	31.01	0.29	27.94	0.28	29.48	SC	0.51	10.23	0.48	17.66	0.50	13.94
37	0.98	06.62	1.00	09.56	0.99	08.24	T2	0.67	14.60	0.70	12.43	0.69	13.52
38	0.53	17.21	0.55	27.54	0.54	22.39	TK	0.21	20.50	0.35	19.23	0.28	19.89
39	0.34	19.30	0.40	21.87	0.37	20.58	UN	0.25	22.88	0.30	11.89	0.29	16.39
41	0.21	26.83	0.21	11.43	0.21	19.13	UG	0.33	08.83	0.34	18.20	0.34	12.52
42	0.23	20.82	0.24	18.24	0.23	20.03	TS	0.19	17.80	0.22	15.00	0.20	16.40
43	0.30	22.12	0.33	31.03	0.31	26.58	TD	0.45	07.34	0.26	11.57	0.36	09.45
44	0.70	07.34	0.70	07.08	0.70	07.20	TL	0.26	29.78	0.28	58.82	0.28	44.29
45	0.37	13.10	0.38	12.51	0.38	12.81	VI	1.85	02.60	1.84	04.00	1.85	03.40

(40)

TABLA III.3a

TABLA III.3.- Valores de Ar y Fo obtenidos a partir de las funciones de transferencia de los registros de 74 estaciones acelerográficas procesados con la técnica estándar (Tabla III.3a) y técnica de Nakamura (Tabla III.3b). Los promedios de las dos componentes horizontales se ubican en las columnas seis y siete de ambas tablas. (Pérez-Rocha, 1992).

ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO		ESTACION	COMPONENTES				PROMEDIO	
	NS		EW		TECNICA DE NAKAMURA			NS		EW		TECNICA DE NAKAMURA	
	F	A	F	A	F	A		F	A	F	A	F	A
	(Hz)		(Hz)		(Hz)			(Hz)		(Hz)		(Hz)	
01	0.47	24.40	0.48	18.79	0.48	21.59	41	0.21	27.77	0.21	16.22	0.21	21.10
02	0.19	41.51	0.19	11.34	0.19	37.17	42	0.21	32.57	0.22	19.63	0.22	26.20
03	0.43	10.84	0.50	10.31	0.47	10.47	43	0.29	32.86	0.33	20.70	0.31	26.98
04	0.43	13.36	0.49	11.41	0.46	12.36	44	0.60	11.09	0.68	08.45	0.64	09.77
05	0.47	15.86	0.53	08.92	0.50	12.39	45	0.45	10.30	0.34	09.30	0.40	09.85
06	0.29	21.51	0.31	14.79	0.30	18.15	46	1.20	07.22	1.10	08.84	1.20	07.03
07	0.22	03.63	0.20	04.07	0.21	03.85	47	1.99	04.93	1.93	04.42	1.98	04.68
08	0.47	15.97	0.43	18.83	0.45	17.30	48	0.34	12.86	0.41	06.56	0.38	11.11
09	0.35	17.43	0.35	19.06	0.35	18.24	49	0.36	24.35	0.36	23.84	0.36	24.10
10	0.34	18.73	0.37	08.09	0.36	13.46	50	1.87	05.82	1.62	05.06	1.75	05.66
11	0.19	14.19	0.24	22.00	0.22	18.10	51	0.43	18.35	0.43	19.31	0.43	18.83
12	0.24	34.07	0.25	27.23	0.25	30.85	52	1.12	10.12	1.08	10.38	1.11	10.25
13	1.57	03.57	0.59	02.89	1.08	03.23	53	0.89	11.95	0.88	12.69	0.88	12.32
14	0.24	21.16	0.24	18.70	0.24	19.24	54	0.61	19.68	0.61	17.39	0.61	18.54
15	0.61	15.98	0.72	13.09	0.67	14.54	55	0.48	15.20			0.48	15.20
16	1.77	08.34	1.69	07.84	1.73	07.09	56	0.41	19.16	0.45	13.15	0.43	16.16
17	0.50	17.40	0.48	16.85	0.49	17.13	57	1.08	09.24	1.04	09.65	1.08	09.55
18	0.67	05.02	0.67	02.78	0.67	03.90	58	0.41	13.01	0.42	11.20	0.42	12.11
19	0.35	15.51	0.29	10.35	0.32	12.93	59	0.31	27.52	0.31	16.24	0.31	21.98
20	0.18	15.48	0.34	07.24	0.26	11.38	62	0.48	14.44	0.41	09.30	0.44	11.87
21	0.38	02.19	0.08	02.49	0.22	02.34	64	0.77	03.89	0.77	03.50	0.77	03.70
22	0.64	16.29	0.85	20.57	0.65	18.43	69	0.26	15.65	0.29	14.06	0.28	14.88
23	0.20	43.73	0.22	41.29	0.21	42.51	72	0.27	19.26	0.34	19.78	0.31	19.52
24	0.95	14.33	0.95	12.58	0.95	13.56	74	0.72	03.66	0.72	03.96	0.72	03.82
25	0.44	18.07	0.43	10.51	0.44	13.29	78	0.13	08.01	0.13	03.84	0.13	05.93
27	1.12	09.95	1.29	16.61	1.21	13.28	84	0.65	28.06	0.66	29.24	0.66	28.65
28	0.73	05.54	1.02	04.53	0.86	05.04	CU	0.41	04.20	0.63	04.01	0.52	04.11
29	0.32	32.12	0.33	15.88	0.33	24.00	CD	0.24	12.74	0.31	10.05	0.28	11.40
30	1.73	06.59	1.66	07.01	1.70	06.80	CF	0.24	09.48	0.25	15.84	0.25	12.66
31	0.17	13.32	0.16	10.01	0.18	11.67	IP	0.56	04.24	1.57	04.03	1.07	04.14
32	0.22	15.73	0.22	18.41	0.22	17.07	RO	0.59	14.48	0.67	13.00	0.73	13.74
33	0.31	07.21	0.36	07.29	0.34	07.25	SC	0.24	08.71	0.49	12.69	0.37	10.60
34	0.97	03.43	1.16	03.67	1.07	03.56	T2	0.64	25.83	0.63	18.41	0.64	22.12
35	0.23	13.72	0.17	18.88	0.20	15.29	T9	0.30	24.06	0.21	14.84	0.26	19.46
36	0.26	46.47	0.27	32.40	0.27	39.34	TY	1.26	03.84	1.26	02.77	1.26	03.21
37	0.95	09.69	0.97	10.44	0.96	10.08	VG	0.34	20.18	0.34	22.15	0.34	21.17
38	0.52	23.44	0.53	22.72	0.53	23.08	TB	0.15	18.53	0.15	25.27	0.15	22.40
39	0.34	13.86	0.33	10.43	0.34	12.15	TD	0.26	09.46	0.26	23.21	0.26	18.34
40	0.55	06.17	1.05	03.77	0.80	04.97	VI	1.82	06.72	1.79	11.50	1.81	10.11

TABLA III.3b

Estación		Coordenadas		Periodo	
Nombre Original	Nombre Actual	Longitud W	Latitud N	[s]	
IG707	ZXC002	-99.055	19.279	0.0	3.3
IG705	ZXC004	-99.051	19.282	0.0	2.2
ZCE001	ZCE001	-99.185	19.428	0.0	1.6
ZPC001	ZPC001	-99.175	19.388	0.0	0.8
TL112	ZXC007	-99.017	19.280	1.8	1.7
TL113	ZXC008	-99.011	19.281	4.8	4.5
TL102	ZXC001	-99.112	19.271	3.0	2.6
TL104	ZXC002	-99.090	19.282	3.7	3.7
TL114	ZXC009	-99.018	19.282	3.7	4.2
TL109	ZXC005	-99.089	19.258	4.1	0.7
TL121	ZXC028	-99.031	19.282	0.0	4.8
TL004	ZXC012	-99.081	19.293	1.3	0.7
TL005	ZXC013	-99.058	19.297	1.0	0.9
TL009	ZXC014	-99.054	19.288	2.3	2.4
TL010	ZXC015	-99.058	19.280	4.6	2.2
TL013	ZXC016	-99.043	19.290	1.8	2.3
TL085	ZXC017	-99.101	19.299	2.4	2.2
TL014	ZXC024	-99.041	19.285	3.0	3.1
TL007	ZXC021	-99.049	19.299	1.9	1.4
TL012	ZXC022	-99.051	19.291	1.7	1.7
TL015	ZXC033	-99.038	19.272	5.0	4.8
TL019	ZXC034	-99.031	19.282	3.7	4.4
TL030	ZXC037	-99.089	19.314	1.8	2.2
TL033	ZXC038	-99.078	19.315	1.5	1.8
TL022	ZXC035	-99.131	19.329	1.1	1.1
TL029	ZXC036	-99.093	19.314	2.0	2.1
TL018	ZXC026	-99.037	19.279	3.8	4.2
TL037	ZXC031	-99.070	19.302	3.8	2.2
TL036	ZXC039	-99.077	19.308	2.5	2.2
TL001	ZXC010	-99.071	19.282	4.3	3.4
TL003	ZXC011	-99.063	19.288	2.1	1.9
TL023	ZXC018	-99.128	19.329	1.2	1.3
TL027	ZXC010	-99.100	19.324	1.0	0.9
TL025	ZXC023	-99.103	19.328	1.1	1.3
TL018	ZXC025	-99.033	19.271	5.1	5.3
TL020	ZXC027	-99.033	19.289	3.7	3.7
TL021	ZXC028	-99.135	19.330	1.1	1.0
TL034	ZXC029	-99.088	19.304	2.0	2.0
TL035	ZXC030	-99.073	19.311	2.0	2.5
TL038	ZXC032	-99.073	19.292	3.3	3.5

TABLA III.4.- Sitios de la Zona de Xochimilco en donde se había registrado vibración ambiental, (Lermo y Becerra, 1991). Los registros se procesaron nuevamente con la técnica de Nakamura. Las dos primeras columnas corresponden a la clave original y actual con que se identifica el sitio, las dos siguientes columnas contienen su localización geográfica. Las columnas cinco y seis contienen el valor del periodo natural (T_0) estimado directamente del espectro de Fourier y con la técnica de Nakamura respectivamente.

Estación		Coordenadas		Periodo
Nombre Original	Nombre Actual	Longitud W	Latitud N	[s]
IZ0	D19	-99.043	19.348	2.8
IZ1	ZLT001	-99.049	19.355	4.0
IZ2	ZLT002	-99.038	19.348	1.4
IZ4	ZLT003	-99.024	19.348	0.5
IZ5	ZLT004	-99.027	19.339	0.3
IZ6	ZLT005	-99.056	19.332	1.2
IZ7	ZLT006	-99.056	19.367	4.0
IZ8	D32	-99.054	19.386	4.2

TABLA III.6.- Sitios de la delegación Iztapalapa en donde se registro vibración ambiental. El periodo fundamental, ubicado en la última columna de la tabla, se estimó con la técnica de Nakamura

Tipo de Sismómetro	SV-1	SH-1	SH-1
No de Sensor	172	244	243
Cte del Generador (α V/m/s)	250	193	184
Periodo Natural (τ_n seg)	5.700	4.5	4.5
Amortiguamiento (h_1)	0.700	0.89	0.85
Resistencia de la bobina (K Ω)	3.83	3.66	3.65
Res. de amort. crit. (K Ω)	24,000	16,600	15,390
Fza. de calib. bobina (n/ Ampere)	0.109	0.070	0.079

TABLA III.6.- Constantes que caracterizan a los sismómetros utilizados en el registro de vibración ambiental en la zona de Iztapalapa, las cuales se utilizan para corregir los espectros de los registros por instrumentación. Al mismo tiempo que son utilizados para construir la gráfica de magnificación del sistema de registro, figura III.6.

Estación	Coordenadas		Periodo [s]
	Longitud W	Latitud N	
I8	-99.151	19.440	1.8
G5	-99.151	19.440	1.7
G10	-99.148	19.443	2.0
F2	-99.154	19.444	1.4
E10	-99.145	19.445	1.8
D8	-99.150	19.448	1.6
C7	-99.149	19.448	1.7
A4	-99.153	19.449	1.6

TABLA III.7.- Localización de ocho sitios adicionales en donde el I de I registro vibración ambiental (Lermo et al., 1990), localizados en los alrededores de las oficinas de Ferrocarriles de México. Los valores de T_0 se obtuvieron directamente de los espectros de amplitud.

SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)	SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)
	Long.W	Lat.M			Long.W	Lat.N	
II001	-99.069	19.380	4.1	II049	-99.033	19.458	5.0
II002	-99.095	19.382	3.6	II040	-99.825	19.461	3.8
II003	-99.103	19.383	3.0	II051	-99.016	19.464	4.2
II004	-99.082	19.387	3.6	II052	-99.012	19.466	3.6
II005	-99.095	19.388	3.9	II053	-99.007	19.468	3.2
II006	-99.103	19.392	3.6	II054	-99.002	19.470	3.4
II007	-99.096	19.394	3.7	II055	-99.001	19.271	4.3
II008	-99.101	19.401	4.1	II056	-99.000	19.278	4.0
II009	-99.081	19.403	3.8	II057	-99.000	19.281	2.5
II010	-99.093	19.411	3.4	II058	-99.000	19.290	1.1
II011	-99.107	19.411	3.5	II059	-99.104	19.260	3.3
II012	-99.103	19.419	3.6	II060	-99.102	19.271	3.3
II013	-99.072	19.427	4.0	II064	-99.103	19.285	3.3
II014	-99.101	19.428	3.4	II062	-99.103	19.298	3.3
II015	-99.102	19.431	3.5	II063	-99.101	19.310	2.5
II016	-99.055	19.411	3.8	II064	-99.096	19.316	1.3
II017	-99.165	19.428	1.6	II065	-99.095	19.323	0.9
II018	-99.175	19.386	0.6	II066	-99.110	19.339	1.0
II019	-99.151	19.440	1.8	II067	-99.110	19.347	0.7
II020	-99.151	19.443	1.7	II068	-99.111	19.353	1.9
II021	-99.146	19.443	2.0	II069	-99.111	19.363	1.9
II022	-99.154	19.444	1.4	II070	-99.110	19.371	2.6
II023	-99.145	19.445	1.8	II071	-99.103	19.361	1.6
II024	-99.150	19.446	1.6	II072	-99.091	19.362	0.5
II025	-99.149	19.448	1.7	II077	-99.094	19.364	2.0
II026	-99.153	19.449	1.6	II074	-99.105	19.365	2.3
II027	-99.049	19.355	4.0	II075	-99.101	19.368	2.5
II028	-99.038	19.346	1.4	II076	-99.097	19.374	3.3
II029	-99.024	19.348	0.5	II077	-99.003	19.261	3.7
II030	-99.027	19.339	0.3	II078	-99.017	19.260	1.7
II031	-99.056	19.332	1.2	II079	-99.031	19.262	4.6
II032	-99.056	19.367	4.0	II070	-99.024	19.269	4.1
II033	-99.065	19.280	5.0	II081	-99.033	19.271	5.3
II034	-99.064	19.283	2.4	II082	-99.038	19.272	4.8
II035	-99.021	19.413	4.2	II083	-99.037	19.275	3.6
II036	-99.110	19.435	3.0	II084	-99.052	19.278	2.3
II037	-99.109	19.457	2.9	II085	-99.037	19.279	4.2
II038	-99.103	19.434	3.4	II086	-99.058	19.280	2.2
II039	-99.101	19.444	3.4	II087	-99.011	19.281	4.5
II040	-99.098	19.457	2.7	II088	-99.018	19.282	4.2
II041	-99.095	19.436	3.5	II089	-99.031	19.283	4.4
II042	-99.092	19.445	3.2	II090	-99.041	19.285	3.1
II043	-99.089	19.452	3.2	II091	-99.054	19.288	2.4
II044	-99.081	19.450	3.6	II092	-99.063	19.288	1.9
II045	-99.072	19.443	3.8	II093	-99.067	19.288	3.5
II046	-99.063	19.448	4.5	II094	-99.033	19.289	3.7
II047	-99.053	19.453	6.0	II095	-99.043	19.290	2.3
II048	-99.043	19.455	5.1	II096	-99.051	19.291	1.7
II098	-99.061	19.293	8.7	II097	-99.024	19.291	3.7
II099	-99.054	19.293	2.1				

TABLA III.8.- Total de sitios en los cuales se ha calculado su periodo natural (T_0), incluyendo registros de vibración ambiental y de movimientos fuertes, con las diferentes técnicas empíricas hasta ahora desarrolladas. Su posición geográfica se ilustra en la figura III.10

SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)	SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)
	Long.-W	Lat.-N			Long.-W	Lat.-N	
II100	-99.056	19.297	0.9	II151	-99.068	19.305	2.5
II101	-99.049	19.299	1.4	II152	-99.077	19.306	2.2
II102	-99.056	19.300	0.8	II153	-99.101	19.309	2.2
II103	-99.112	19.271	2.6	II154	-99.084	19.310	2.4
II104	-99.112	19.277	1.4	II155	-99.073	19.311	2.5
II105	-99.114	19.297	1.5	II156	-99.089	19.314	2.2
II106	-99.116	19.289	1.2	II157	-99.093	19.314	2.1
II107	-99.118	19.274	1.4	II158	-99.108	19.314	1.9
II108	-99.121	19.295	1.2	II159	-99.076	19.315	1.8
II109	-99.121	19.290	1.3	II160	-99.101	19.316	1.5
II110	-99.122	19.268	1.5	II161	-99.095	19.318	1.7
II111	-99.126	19.279	0.8	II162	-99.100	19.321	1.4
II112	-99.127	19.300	2.3	II163	-99.100	19.324	0.9
II113	-99.128	19.270	1.5	II164	-99.130	19.336	1.4
II114	-99.131	19.291	3.4	II165	-99.126	19.335	1.3
II115	-99.141	19.296	1.8	II166	-99.117	19.336	1.2
II116	-99.144	19.300	0.7	II167	-99.116	19.336	1.2
II117	-99.146	19.291	2.0	II168	-99.118	19.343	1.3
II118	-99.134	19.304	0.9	II169	-99.125	19.343	1.3
II119	-99.118	19.310	1.2	II170	-99.132	19.351	1.3
II120	-99.124	19.307	1.1	II171	-99.124	19.355	1.4
II121	-99.133	19.310	0.9	II172	-99.117	19.358	1.8
II122	-99.126	19.315	1.1	II173	-99.133	19.359	1.3
II123	-99.134	19.315	0.9	II174	-99.119	19.363	1.9
II124	-99.116	19.316	1.2	II175	-99.121	19.373	1.7
II125	-99.123	19.316	1.1	II176	-99.111	19.353	1.9
II126	-99.113	19.320	1.3	II177	-99.111	19.347	0.7
II127	-99.130	19.323	1.2	II178	-99.111	19.339	1.0
II128	-99.123	19.324	1.3	II179	-99.143	19.334	1.2
II129	-99.133	19.327	1.1	II180	-99.134	19.335	1.2
II130	-99.131	19.329	1.1	II181	-99.138	19.336	1.0
II131	-99.126	19.329	1.3	II182	-99.130	19.336	1.4
II132	-99.135	19.330	1.0	II183	-99.153	19.341	1.0
II133	-99.069	19.256	0.7	II184	-99.146	19.344	0.8
II134	-99.080	19.258	3.4	II185	-99.137	19.345	1.2
II135	-99.090	19.262	3.7	II186	-99.142	19.345	1.0
II136	-99.072	19.263	4.1	II187	-99.134	19.348	1.3
II137	-99.069	19.268	4.1	II188	-99.153	19.356	1.1
II138	-99.111	19.277	1.3	II189	-99.145	19.367	1.1
II139	-99.107	19.281	1.6	II180	-99.134	19.374	1.6
II140	-99.071	19.284	3.6	II191	-99.149	19.332	1.0
II141	-99.073	19.292	3.5	II192	-99.143	19.334	1.2
II142	-99.083	19.294	3.2	II193	-99.138	19.336	1.0
II143	-99.101	19.299	2.2	II194	-99.134	19.335	1.2
II144	-99.094	19.299	3.3	II195	-99.162	19.332	0.8
II145	-99.087	19.299	3.2	II196	-99.157	19.332	0.8
II146	-99.082	19.299	3.7	II197	-99.154	19.333	0.9
II147	-99.068	19.300	2.6	II198	-99.153	19.348	1.0
II148	-99.103	19.301	2.4	II199	-99.156	19.340	0.8
II149	-99.070	19.302	2.2	II200	-99.161	19.346	0.9
II150	-99.086	19.304	2.0	II201	-99.168	19.352	0.5

TABLA III.8.-CONTINUACION

SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)	SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)
	Long.W	Lat.N			Long.W	Lat.N	
II202	-99.169	19.346	0.5	II253	-99.142	19.388	1.8
II203	-99.169	19.370	0.4	II254	-99.163	19.390	1.0
II204	-99.156	19.370	1.1	II255	-99.131	19.391	2.4
II205	-99.132	19.409	2.8	II256	-99.178	19.389	0.6
II296	-99.119	19.399	3.4	II257	-99.114	19.393	3.2
II207	-99.114	19.393	3.2	II258	-99.164	19.398	1.0
II208	-99.120	19.411	2.8	II259	-99.143	19.399	2.6
II209	-99.130	19.416	2.6	II260	-99.119	19.399	3.4
II210	-99.119	19.419	3.0	II261	-99.170	19.410	1.1
II211	-99.133	19.420	2.2	II262	-99.171	19.413	1.4
II212	-99.131	19.424	2.4	II263	-99.170	19.428	1.2
II213	-99.119	19.425	2.7	II264	-99.178	19.403	0.8
II214	-99.117	19.427	2.7	II255	-99.179	19.413	0.8
II215	-99.128	19.429	2.5	II266	-99.182	19.406	0.8
II216	-99.133	19.432	2.6	II267	-99.183	19.421	0.8
II217	-99.111	19.435	3.0	II268	-99.184	19.427	0.7
II218	-99.124	19.438	2.2	II269	-99.188	19.433	0.6
II219	-99.127	19.445	2.4	II270	-99.154	19.424	2.3
II220	-99.113	19.446	2.8	II271	-99.163	19.424	1.5
II221	-99.133	19.446	2.2	II272	-99.153	19.412	2.4
II222	-99.132	19.452	2.0	II273	-99.159	19.411	2.3
II223	-99.120	19.454	2.0	II274	-99.159	19.408	2.0
II224	-99.121	19.466	1.3	II275	-99.159	19.407	1.6
II225	-99.115	19.474	1.6	II276	-99.159	19.407	1.4
II226	-99.116	19.491	0.4	II277	-99.140	19.408	2.7
II227	-99.146	19.435	1.9	II278	-99.140	19.428	2.2
II228	-99.154	19.436	1.7	II279	-99.144	19.411	2.9
II229	-99.152	19.437	1.8	II280	-99.144	19.147	2.7
II230	-99.143	19.438	1.8	II281	-99.148	19.406	2.6
II231	-99.143	19.438	1.8	II282	-99.154	19.411	2.4
II232	-99.156	19.440	1.9	II283	-99.153	19.414	2.4
II233	-99.143	19.440	2.2	II284	-99.155	19.424	2.3
II234	-99.160	19.443	1.1	II285	-99.157	19.408	2.0
II235	-99.156	19.448	1.4	II286	-99.160	19.407	1.6
II236	-99.137	19.450	1.5	II287	-99.154	19.415	2.3
II237	-99.171	19.450	0.8	II288	-99.163	19.432	1.6
II238	-99.141	19.453	1.8	I1	-99.1580	19.3522	0.9
II239	-99.145	19.453	0.9	I2	-99.1361	19.3263	1.1
II240	-99.163	19.454	1.0	I3	-99.1189	19.3236	1.3
II241	-99.149	19.456	0.8	I4	-99.1125	19.3067	1.5
II242	-99.166	19.464	0.8	I6	-99.0731	19.2481	0.5
II243	-99.148	19.438	1.9	I7	-99.0556	19.2553	0.6
II244	-99.177	19.450	0.9	I8	-98.9922	19.2417	0.6
II245	-99.176	19.445	0.7	J2	-99.1544	19.3794	1.1
II246	-99.190	19.461	0.7	J4	-99.1489	19.3978	2.3
II247	-99.184	19.485	0.5	J7	-99.1392	19.3922	2.0
II248	-99.122	19.381	2.7	J8	-99.1275	19.3975	2.8
II249	-99.162	19.376	0.8	J9	-99.1267	19.3928	2.6
II250	-99.172	19.378	0.5	K1	-99.1144	19.3911	3.3
II251	-99.146	19.381	1.4	K2	-99.1153	19.3797	2.7
II252	-99.119	19.389	2.8	K3	-99.1375	19.3833	1.5

TABLA III.B.-CONTINUACION

SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)	SITIO	COORDENADAS		PERIODO DOMINANTE (seg)
	Long.W	Lat.N			Long.W	Lat.N	
K4	-99.1417	19.3750	1.5	A9	-99.0494	19.3605	1.6
K5	-99.1439	19.3569	1.1	B1	-99.0358	19.3638	1.3
K6	-99.1194	19.3511	1.7	B2	-99.0288	19.3750	0.3
K7	-99.1264	19.3672	1.9	B3	-99.0066	19.2661	3.6
K8	-99.0594	19.3558	1.8	B4	-99.0836	19.4386	1.0
K9	-99.0378	19.3903	4.7	B5	-99.0916	19.4313	3.4
L1	-99.0128	19.4056	4.7	B6	-99.1061	19.4283	3.3
L2	-99.0322	19.4125	4.7	B7	-99.0975	19.4427	3.2
L3	-99.0586	19.3992	3.5	B8	-99.0983	19.4719	2.3
L4	-99.1006	19.4208	3.3	B9	-99.0925	19.4647	2.9
L5	-99.1094	19.4214	1.4	C1	-99.0813	19.4552	3.7
L6	-99.1336	19.4639	1.5	C3	-99.0591	19.4325	4.3
L7	-99.1375	19.4825	1.3	C4	-99.1566	19.4492	1.3
L8	-99.1481	19.4697	1.1	C5	-99.0845	19.3639	1.8
L9	-99.1600	19.4692	0.9	C6	-99.0777	19.3555	0.8
M1	-99.1761	19.4819	0.6	C7	-99.0730	19.3611	2.4
M3	-99.0805	19.5058	1.5	C8	-99.0644	19.3805	3.6
M4	-99.0531	19.5106	3.1	C9	-99.0444	19.4025	3.9
M5	-99.0647	19.4758	3.3	D1	-99.1683	19.3550	0.6
M6	-99.0856	19.4803	3.0	D2	-99.1516	19.3302	0.8
M7	-99.1683	19.3883	0.8	D5	-99.1486	19.3022	0.8
M8	-99.1736	19.3969	0.8	D6	-99.1219	19.2908	1.2
M9	-99.1703	19.4039	1.0	D7	-99.1133	19.3802	1.4
N1	-99.1633	19.4114	1.4	D8	-99.1011	19.3091	2.6
N2	-99.1742	19.4122	1.1	D9	-99.1786	19.4644	0.9
N3	-99.1717	19.4214	1.2	E1	-99.1966	19.4638	0.7
N4	-99.1614	19.4361	1.3	E2	-99.1838	19.4830	0.6
N5	-99.1486	19.4325	2.0	E3	-99.2033	19.4833	0.7
N6	-99.1522	19.4203	2.2	E7	-99.1450	19.4950	0.9
N7	-99.1375	19.4153	2.6	E8	-99.1538	19.4811	0.8
N9	-99.1331	19.4411	2.2	E9	-99.1261	19.4763	1.3
O1	-99.1194	19.4347	2.5	F1	-99.0913	19.4880	1.6
O2	-99.1231	19.4228	2.5	F2	-99.0475	19.4777	3.9
O3	-99.1272	19.4142	2.5	F3	-99.1050	19.3583	1.6
O4	-99.1142	19.4061	3.3	F4	-99.0697	19.3927	3.7
O5	-99.1117	19.3981	3.4	F5	-99.0672	19.4138	3.9
O8	-99.2100	19.4433	0.6	F6	-99.0505	19.4130	4.2
O9	-99.2042	19.4469	0.6	F7	-99.0266	19.4002	4.9
P1	-99.1972	19.4528	0.7	F8	-99.0125	19.3858	4.8
P2	-99.1675	19.3675	0.5	F9	-98.9966	19.4141	4.4
P3	-99.1200	19.4400	2.6	G1	-98.9900	19.3927	4.0
P4	-99.1386	19.4319	2.2	G2	-99.1202	19.4130	2.6
P5	-99.1919	19.4069	0.6	G3	-99.1163	19.3986	3.4
A1	-99.1488	19.3400	1.0	G4	-99.0422	19.4222	4.3
A2	-99.1375	19.3380	1.1	G5	-99.0347	19.4347	4.4
A3	-99.1233	19.3350	1.3	G6	-99.0530	19.4886	4.2
A4	-99.1116	19.3350	1.1	G7	-99.0788	19.4908	3.5
A5	-99.0783	19.3163	2.2	G8	-99.0183	19.2905	3.8
A6	-99.0611	19.3302	2.2	H2	-99.0733	19.3044	2.4
A7	-99.0691	19.3491	0.6	H3	-99.0025	19.3802	3.1
A8	-99.0725	19.3375	0.5	H4	-98.9786	19.3719	3.4
H7	-99.1211	19.2711	1.5	H5	-99.0050	19.3611	1.8
H9	-99.1619	19.3622	1.0	H6	-99.0725	19.3266	1.4

TABLA III.8.- CONTINUACION

ESTACION ACELERO- GRAFICA	DATOS DE ACELERACION				MICROTREMORES		ESTACION ACELERO- GRAFICA	DATOS DE ACELERACION				MICROTREMORES	
	TECNICA ESTANDAR		TECNICA NAKAMURA		To	Ar		TECNICA ESTANDAR		TECNICA NAKAMURA		To	Ar
	To	Ar	To	Ar	To	Ar		To	Ar	To	Ar	To	Ar
CD	3.2	24	3.6	13	3.2	23	20	5.0	16	5.0	15		
CF	3.1	13	3.0	13			22	1.5	14	1.5	18	1.4	24
TB	5.0	17	5.0	18			23	5.0	19	4.8	40		
TD	3.8	10	3.8	16			24	1.0	6	1.0	14		
SC	2.0	14	2.0	11	2.0	41	25	2.3	15	2.3	13		
TX	1.6	12					27	0.8	8	0.8	13		
VI	0.5	4	0.6	9	0.6	7	29	3.0	31	3.1	24	2.8	25
RO	1.4	13	1.4	14			30			0.6	7	0.6	9
TY			0.8	03			31	5.0	27	5.5	12		
VG	2.9	13	2.9	20			32	4.3	11	4.5	17	4.2	45
CW	1.2	10					33	2.5	16	2.9	7		
CY	0.7	4					35	5.0	23	5.0	15		
TL	3.8	35			2.9	13	36	3.6	30	3.8	40	3.4	36
ZA					4.1	17	37	1.0	8	1.0	10		
UK	3.6	17			3.7	32	38	1.9	22	1.9	23		
RM	2.5	17			2.3	30	39	2.7	21	2.9	12		
IW	0.8	5					41	4.8	19	4.8	22		
T1	1.4	23					42	4.3	20	4.5	26		
T2	1.5	14	1.5	20			43	3.2	27	3.2	27		
T5	1.5	14					44	1.4	7	1.5	10	1.5	14
T7	2.7	19					45	2.6	13	2.6	10		
T9	3.6	20	3.3	20			46	0.9	5	0.9	7		
T11	2.2	18					47			0.5	5		
O1	2.0	14	2.1	22			48	2.5	11	2.6	11		
O2	5.3	30	5.3	26			49	2.9	37	2.8	24		
O3	2.1	15	2.1	11			50			0.6	6	0.7	7
O4	2.1	14	2.1	13	2.2	34	51	2.3	34	2.3	19		
O5	2.0	19	2.0	13			52	0.9	4	0.9	10		
O6	3.0	23	3.3	18			53	1.4	11	1.4	12		
O8	2.1	14	2.2	17	2.2	33	54	1.2	12	1.2	18	1.1	21
O9	2.5	19	2.8	19			55	2.0	11	2.1	14		
10	2.2	16	2.7	14			56	2.4	24	2.3	16		
11	4.4	31	4.5	18			57	0.9	4	0.9	10		
12	4.0	18	4.0	31			58	2.3	16	2.4	12		
13			0.6	4			59	3.1	27	3.2	22		
14	3.8	20	4.0	20			62	2.1	12	2.3	12		
15	1.4	11	1.5	15	1.4	12	68	3.3	17	3.6	15		
16	0.6	5	0.6	7			72	2.8	13	2.9	19		
17	1.3	9	1.3	12			74			1.4	4		
19	2.8	17	3.0	13	2.8	13	80	2.9	24	2.9	29		

TABLE III.9.- Promedio final de Ar y To, obtenido a partir de los datos concentrados en las tablas III.2, III.3. Las columnas dos y tres concentran los promedios para la técnica estandar; las columnas cuatro y cinco los promedios correspondientes a la técnica de Nakamura, las dos últimas columnas contienen valores de To y Ar obtenidos con registros de microtremores.

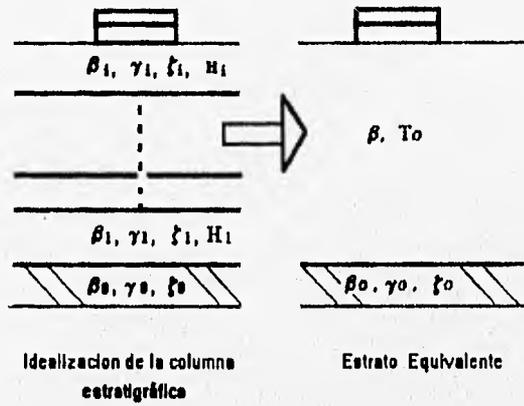


FIGURA I.1

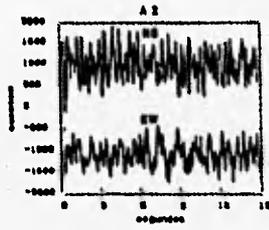


FIGURA II.1a

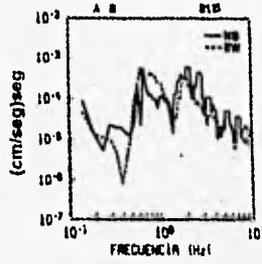


FIGURA II.1b

FIGURA II.1

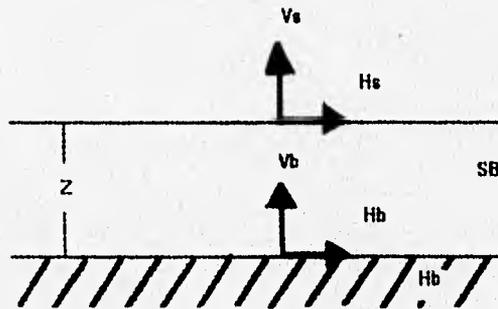


FIGURA II.2

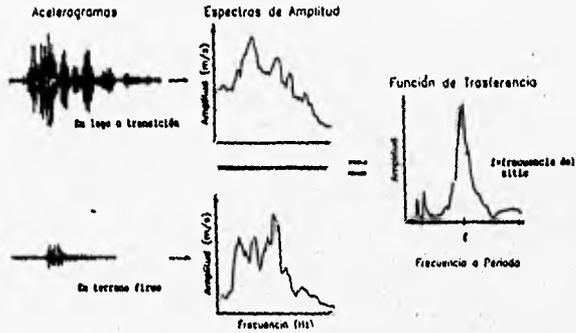


FIGURA II.3a

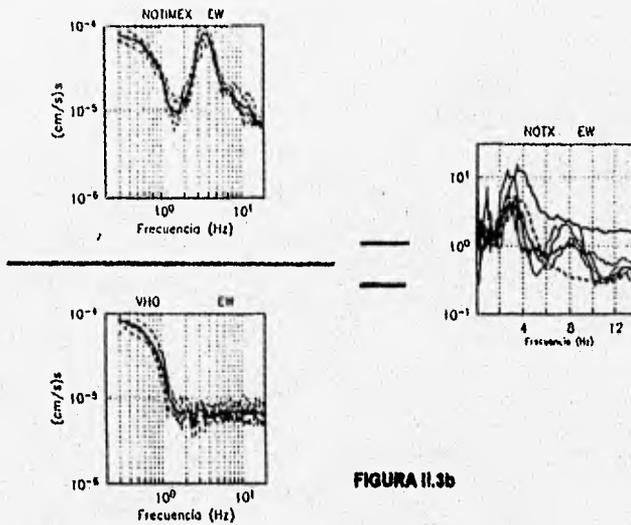


FIGURA II.3b

FIGURA II.3

(83)

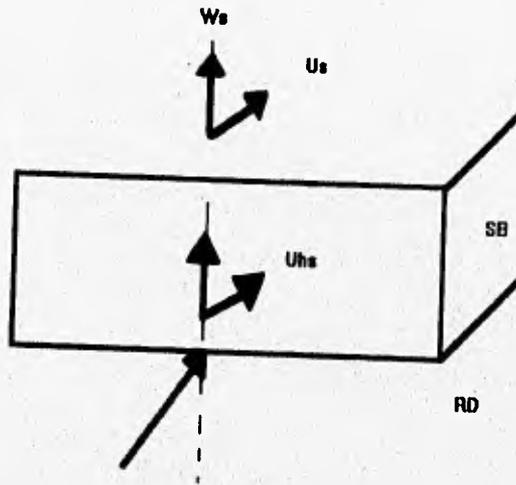


FIGURA II.4

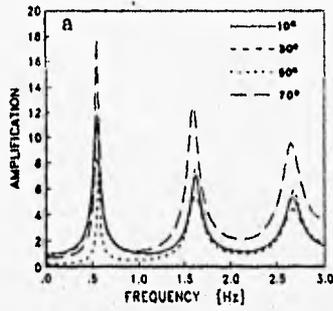


FIGURA II.5a

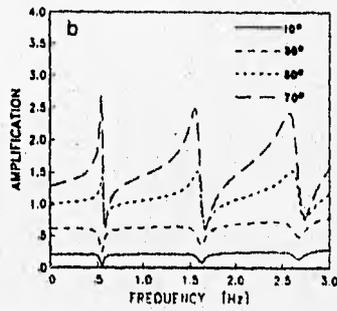


FIGURA II.5b

FIGURA II.5

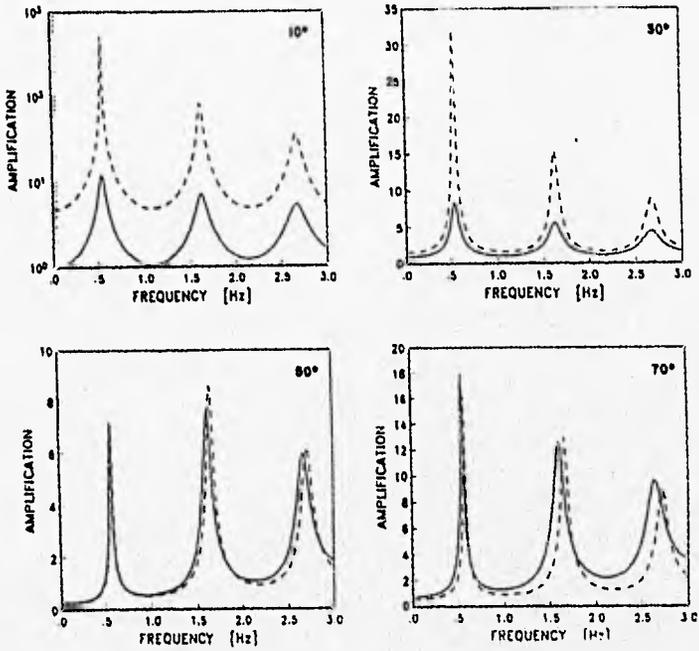


FIGURA II.6

RED ACELEROGRAFICA DEL DISTRITO FEDERAL

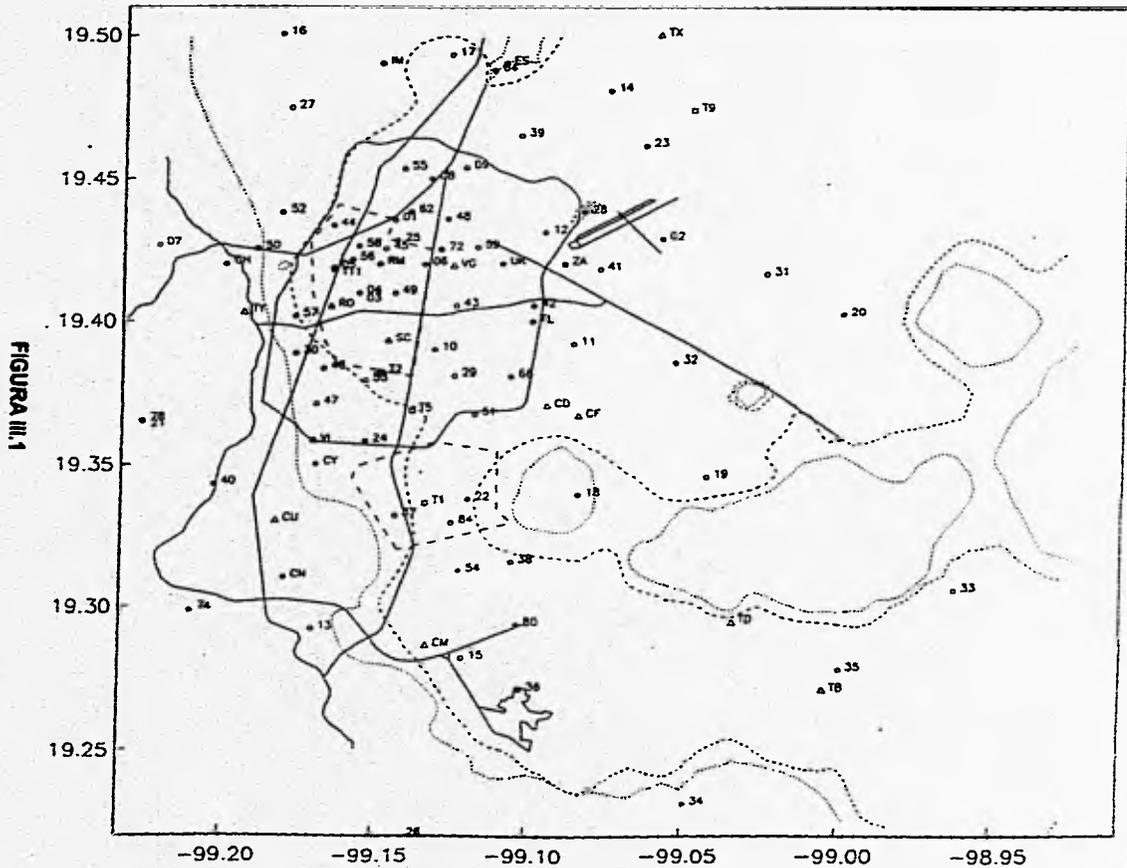


FIGURA III.1

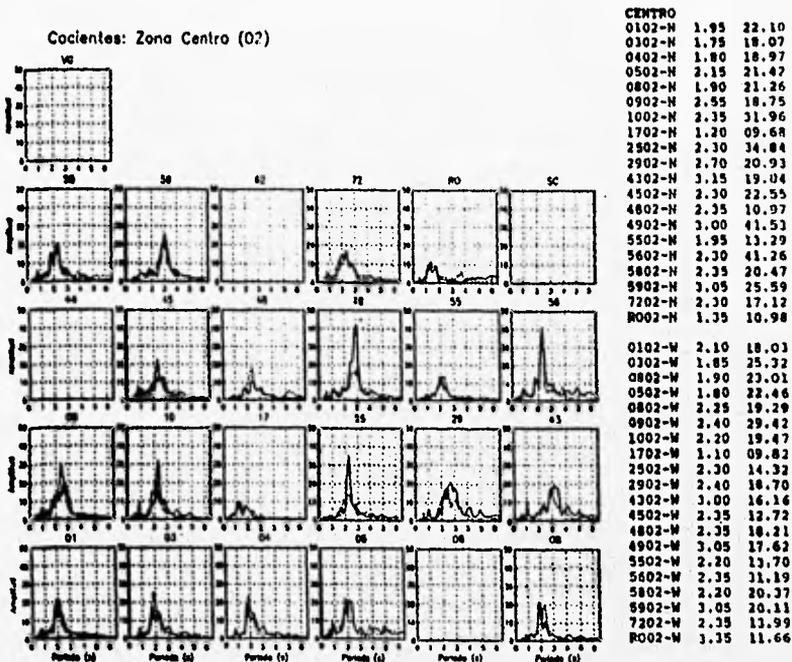


FIGURA III.2

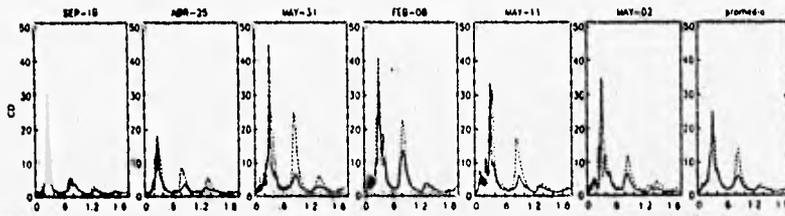


FIGURA III.3a

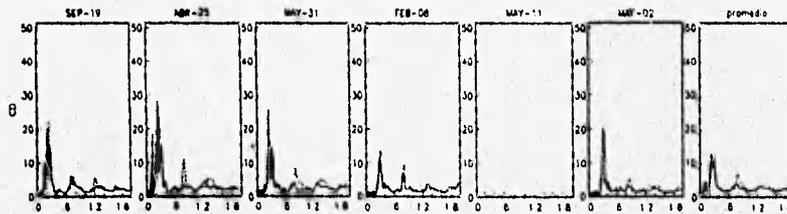
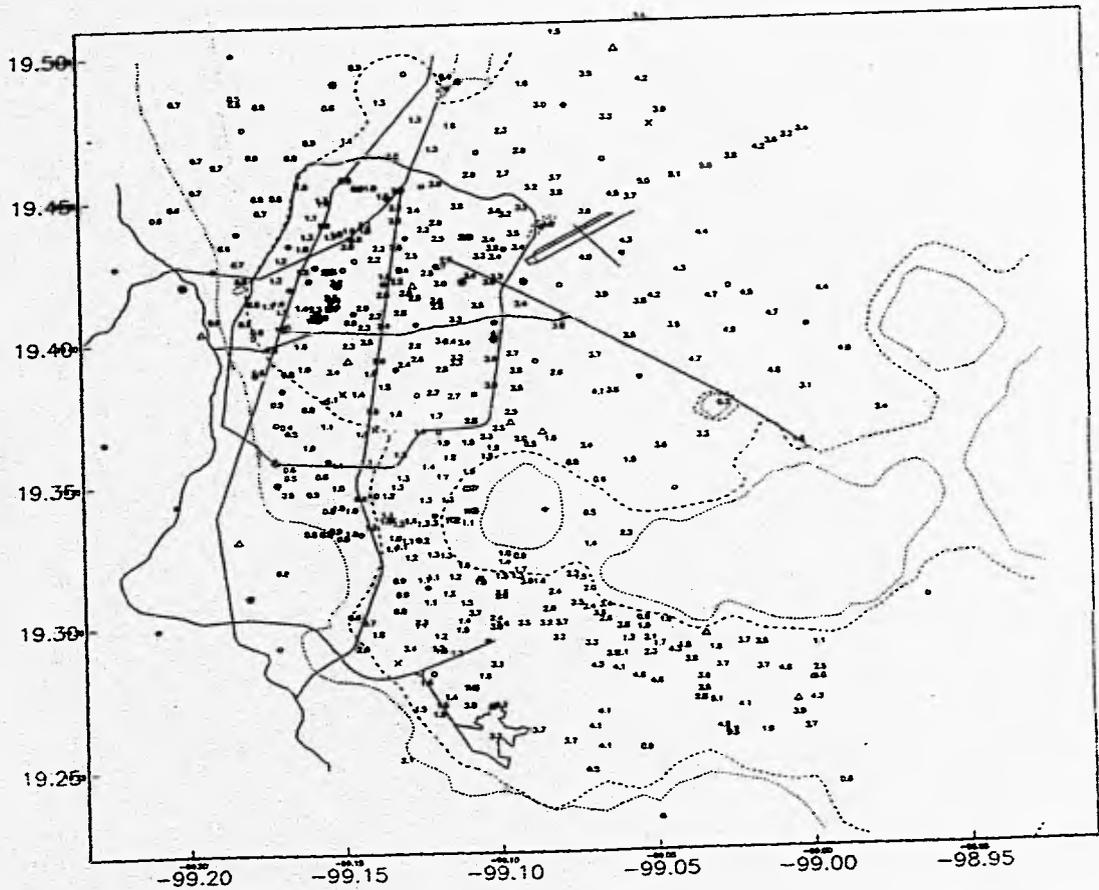


FIGURA III.3b

FIGURA III.3

FIGURA N.º 4



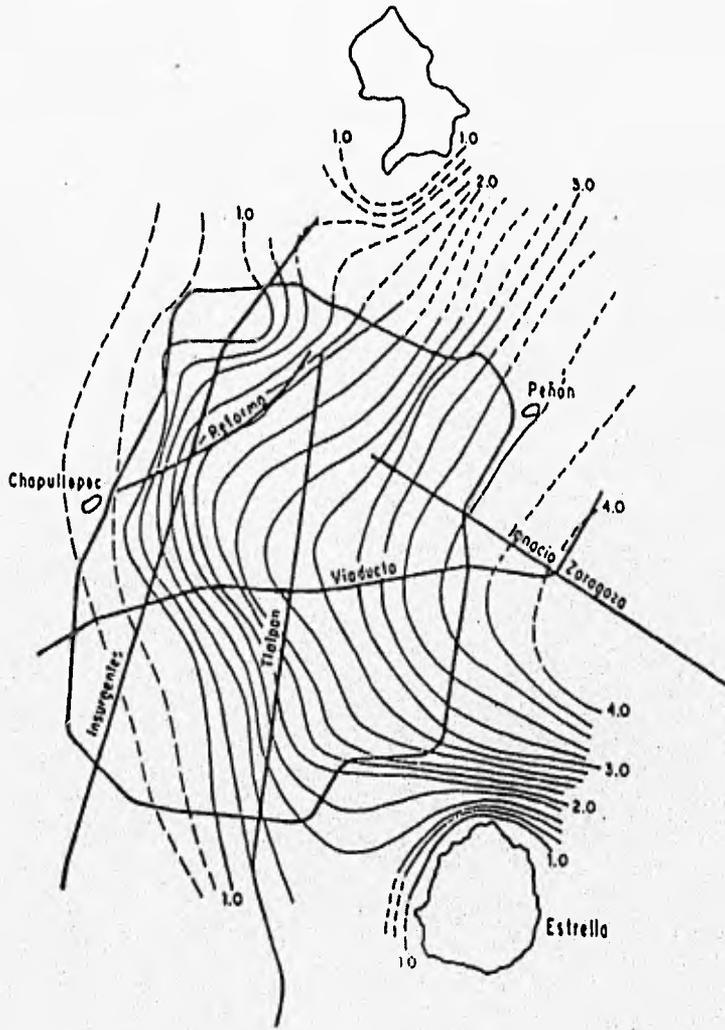


FIGURA III.5

CURVA DE MAGNIFICACION DEL SISTEMA (sismómetro - registrador)

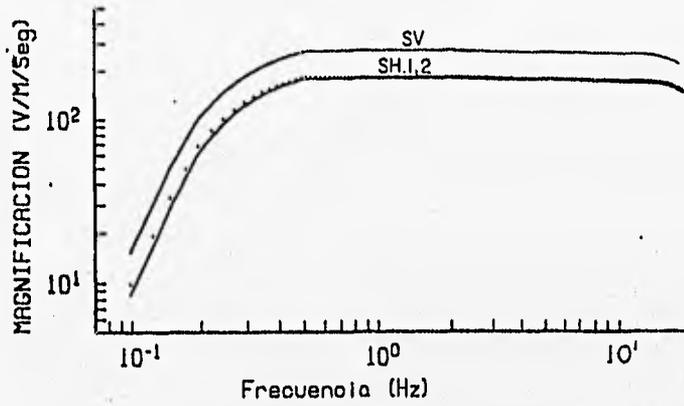
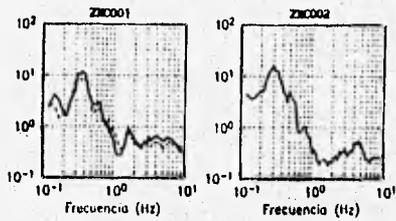
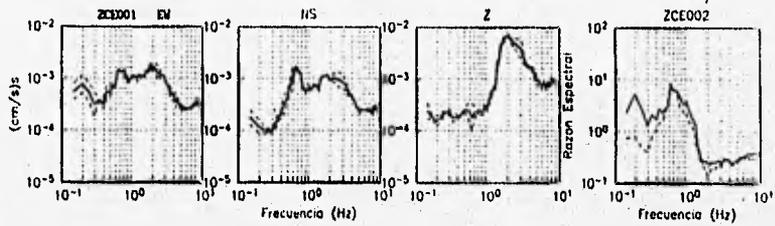
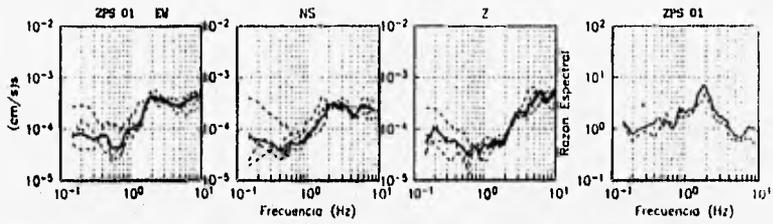
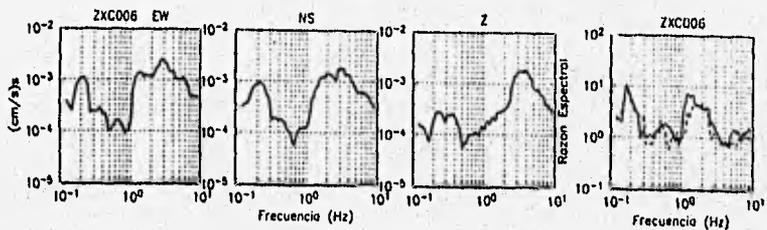
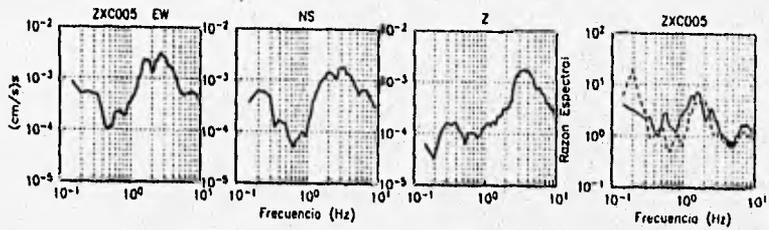
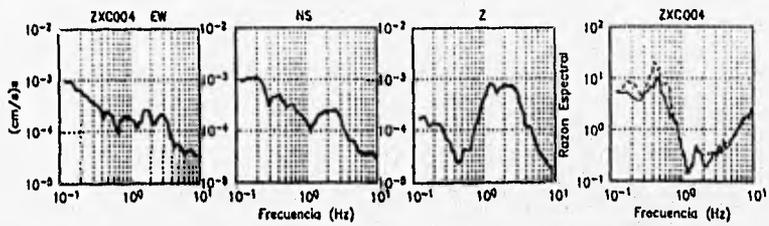
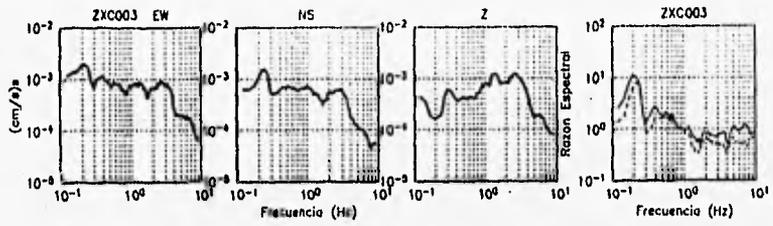
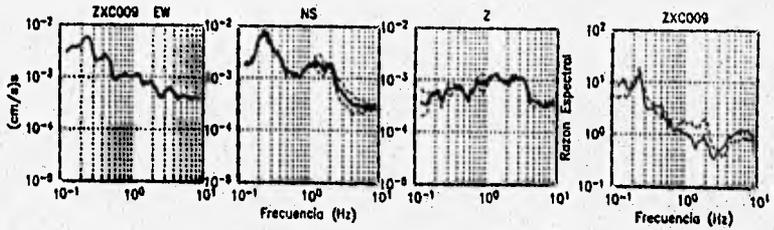
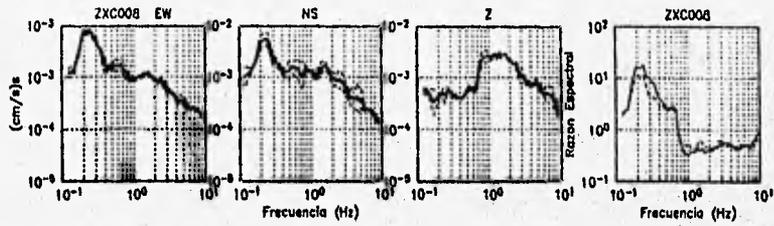
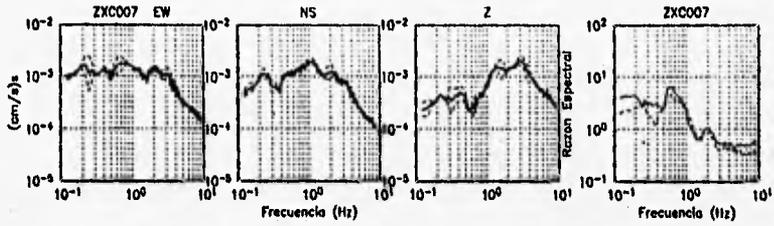


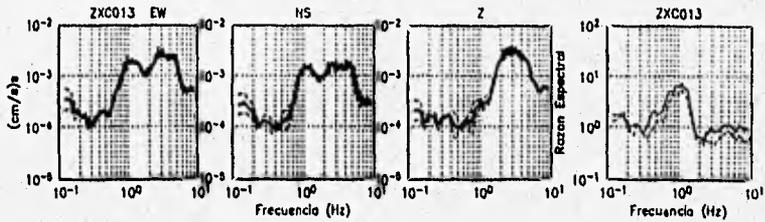
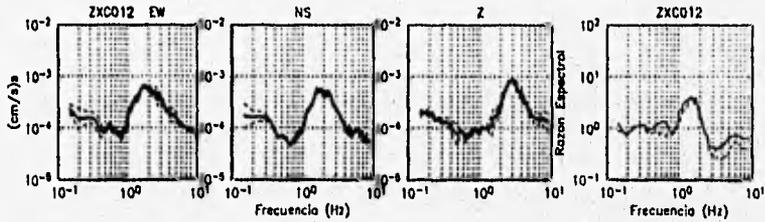
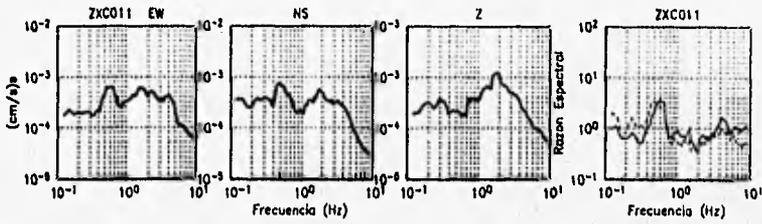
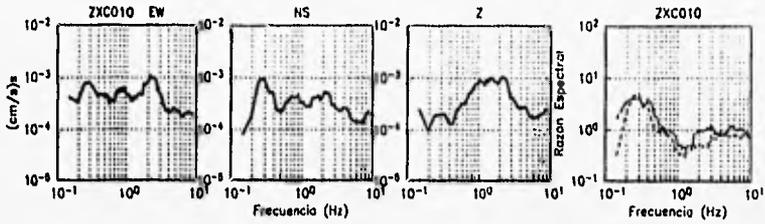
FIGURA III.6

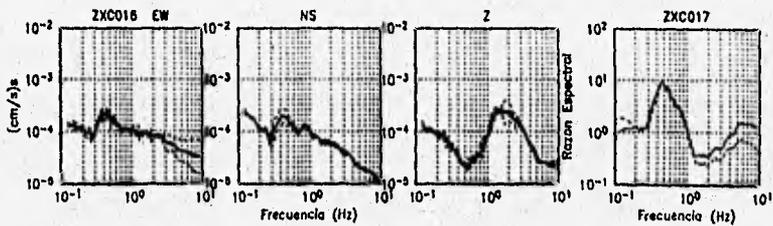
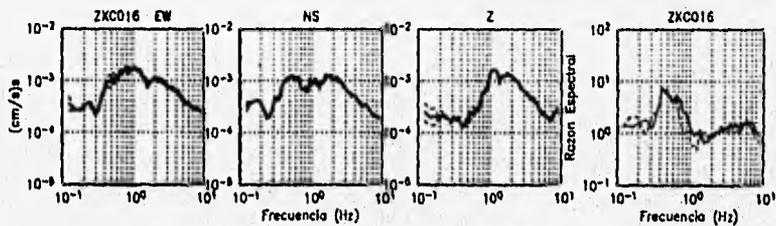
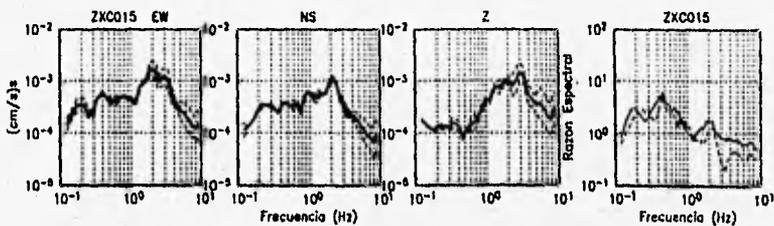
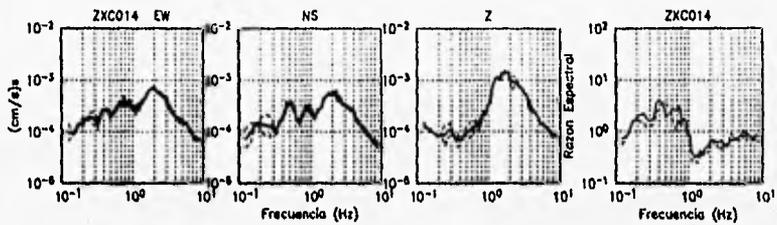
FIGURAS III.7

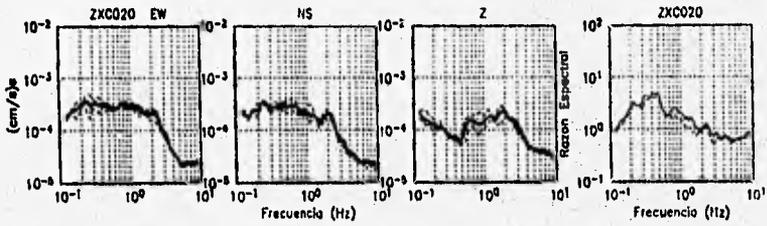
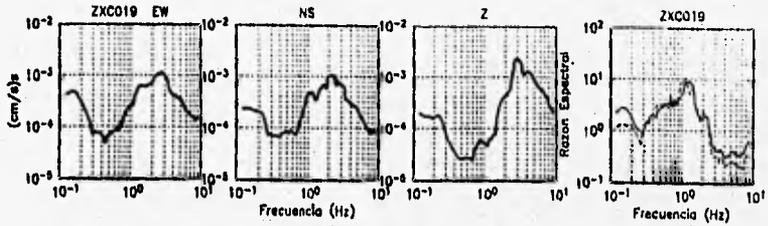
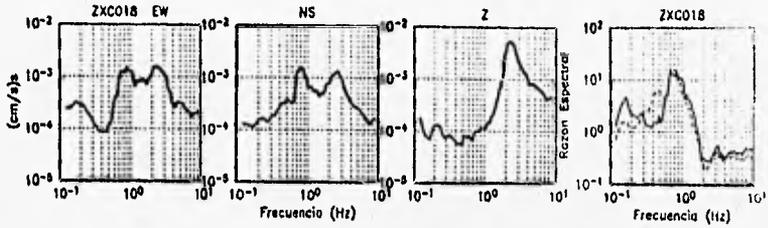


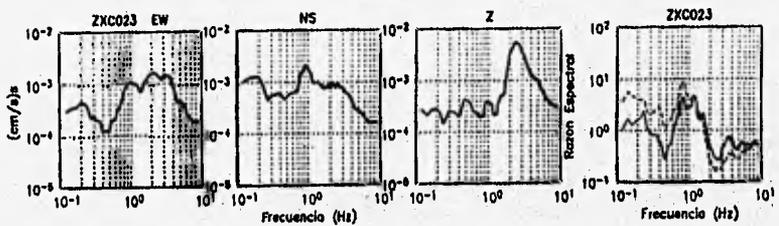
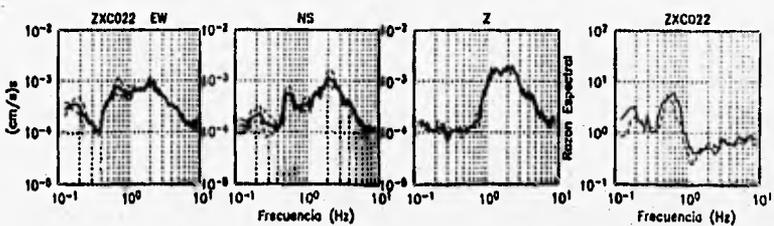
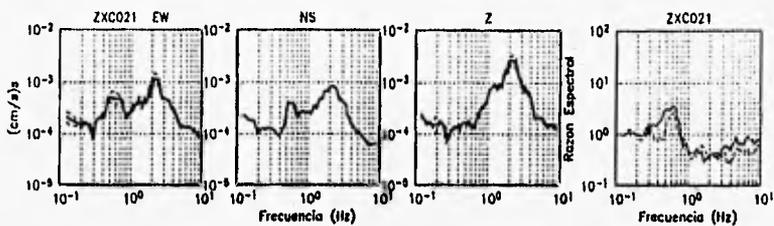


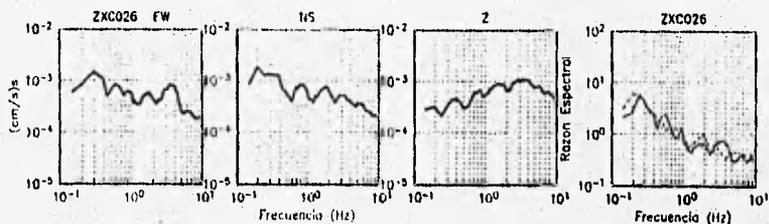
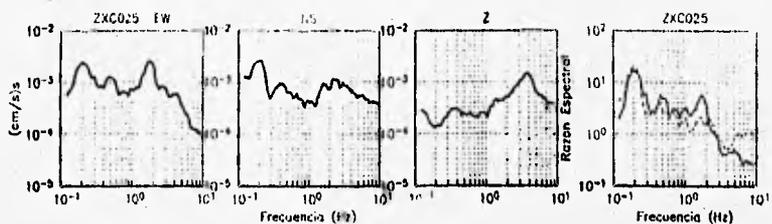
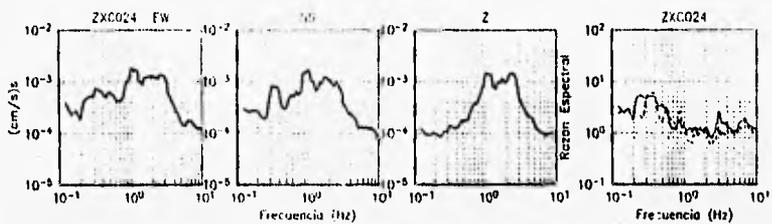


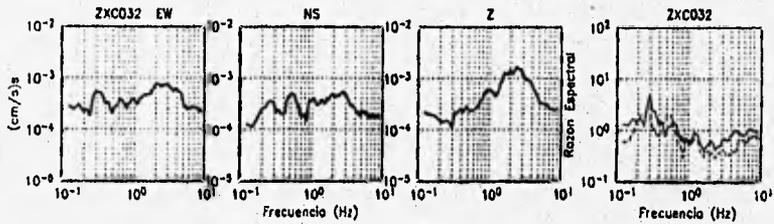
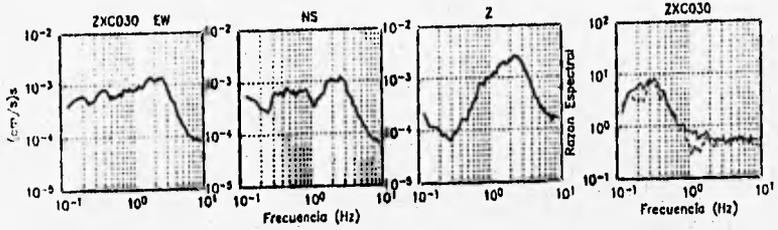
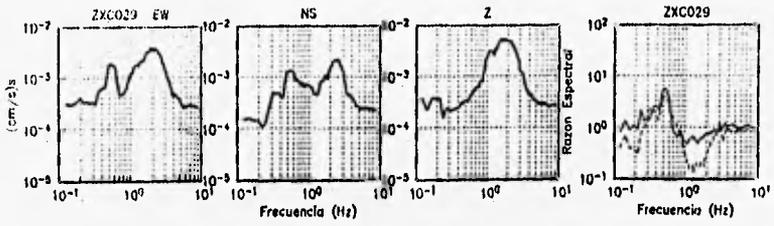
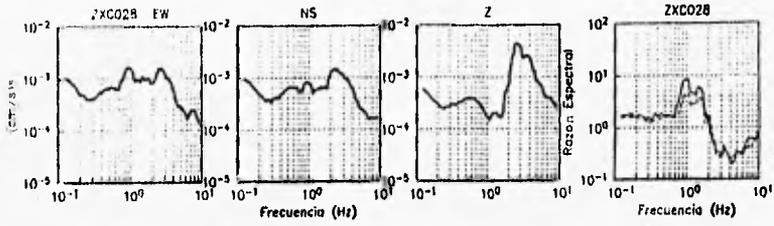


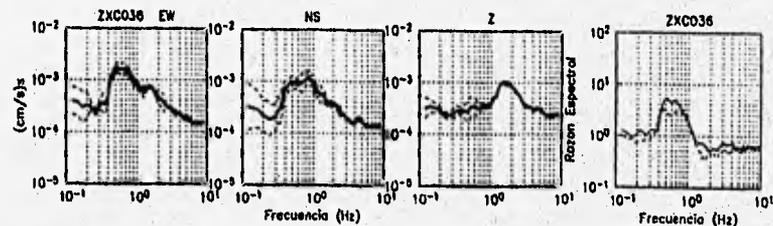
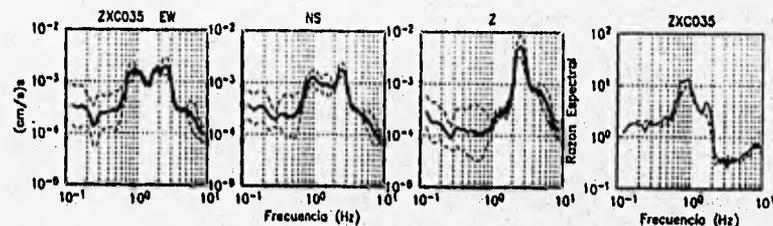
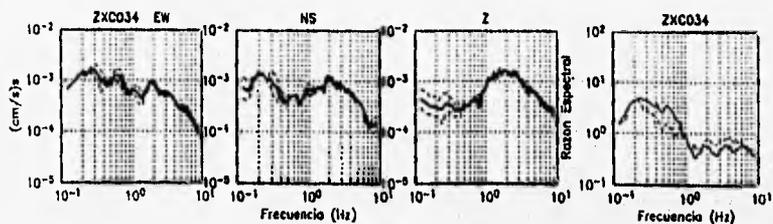
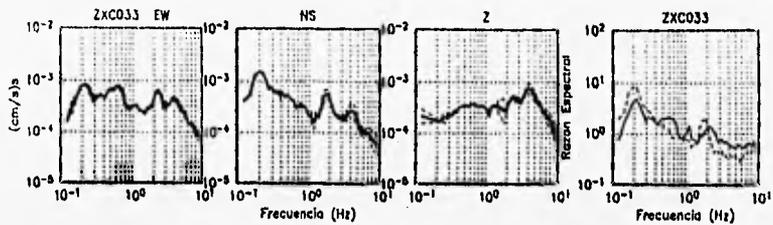






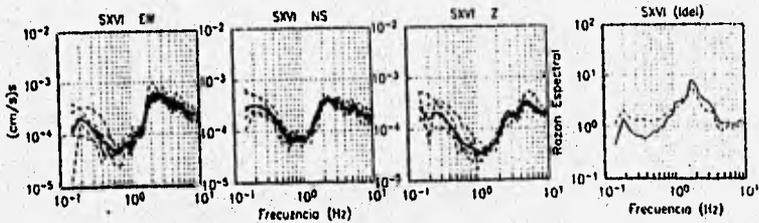
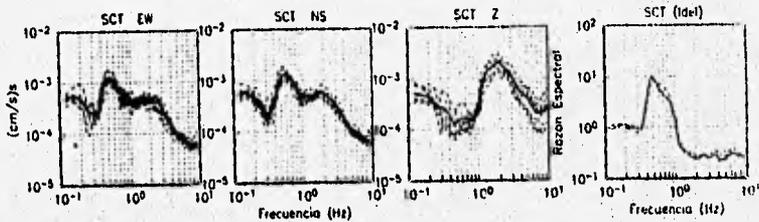
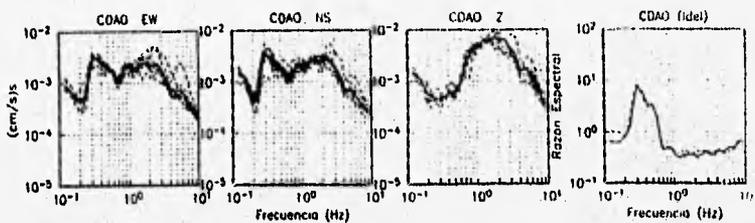
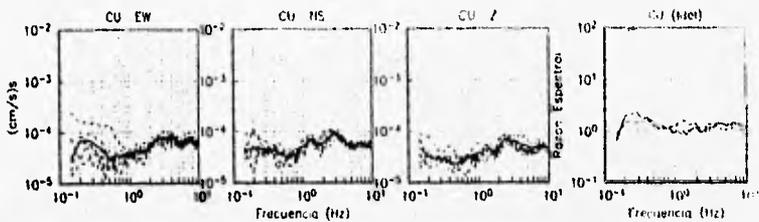


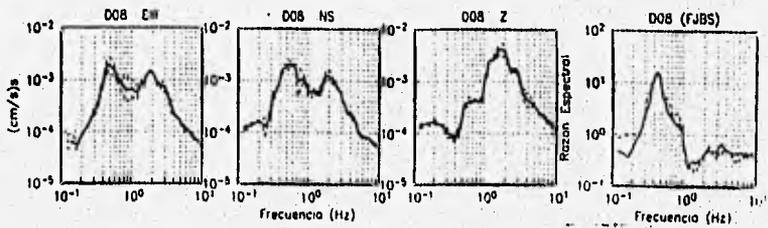
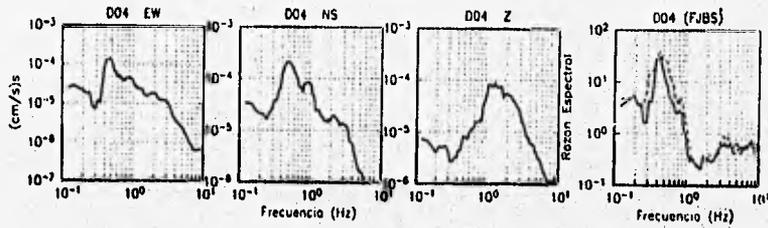
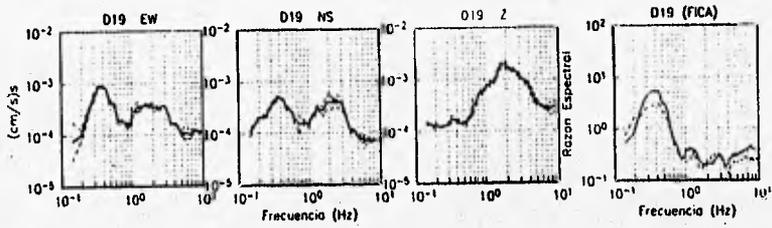
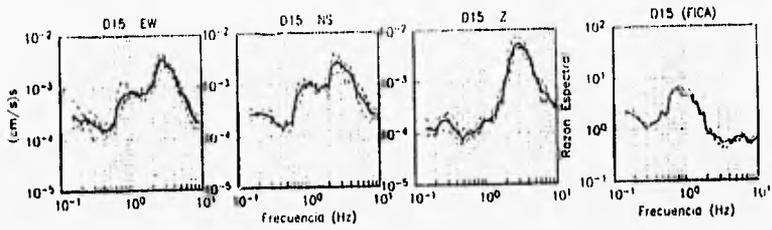


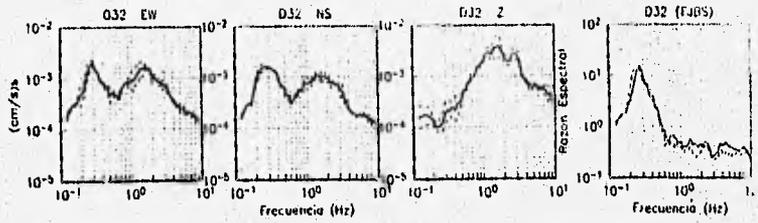
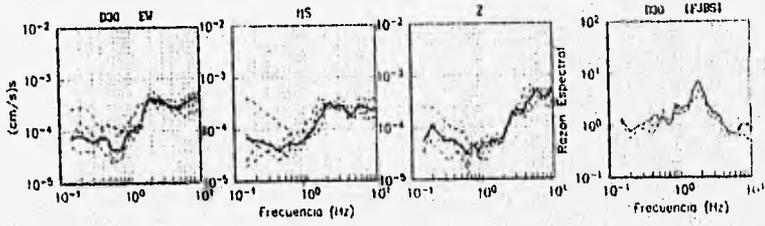
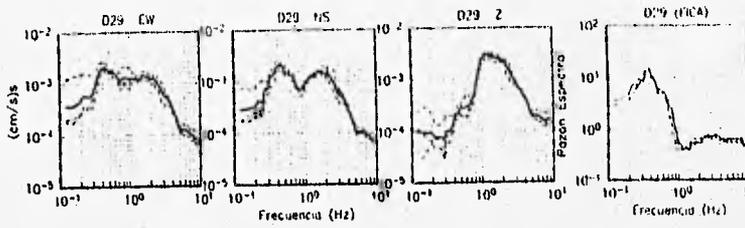
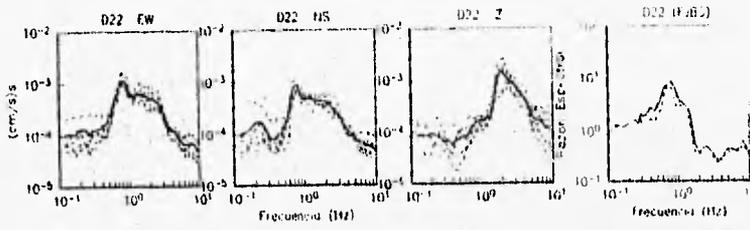


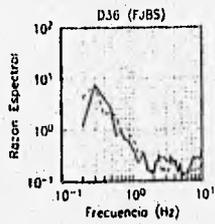
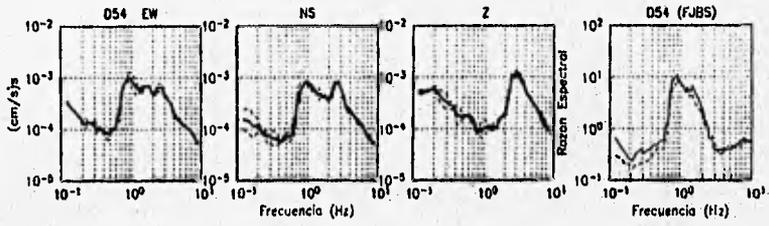
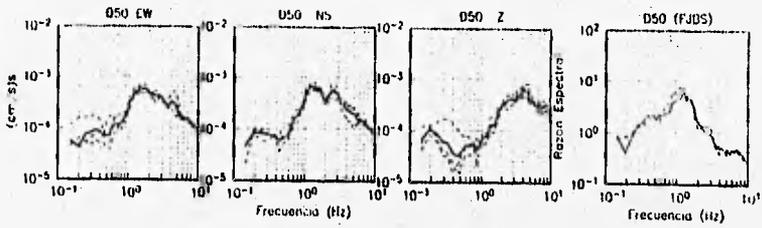
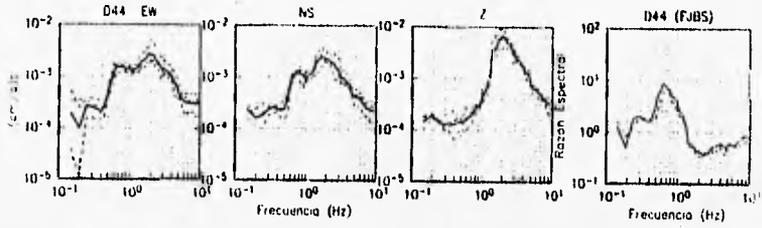
(73)

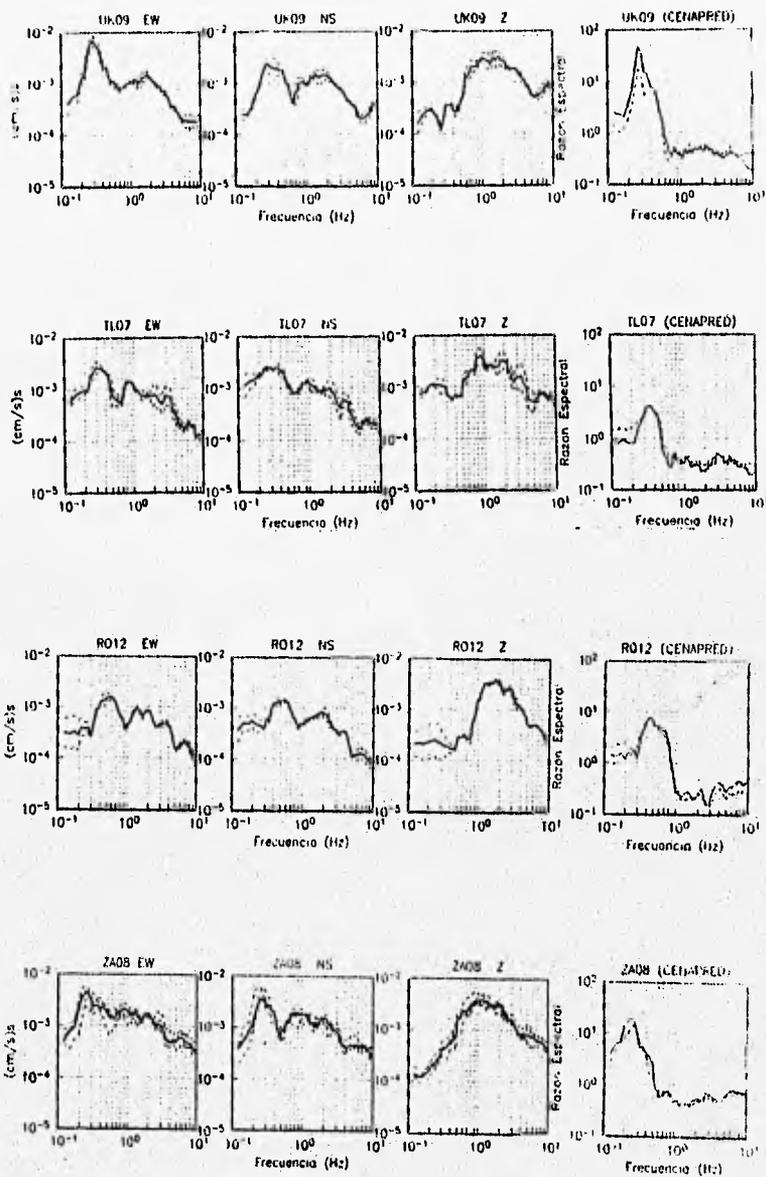
FIGURA III.8







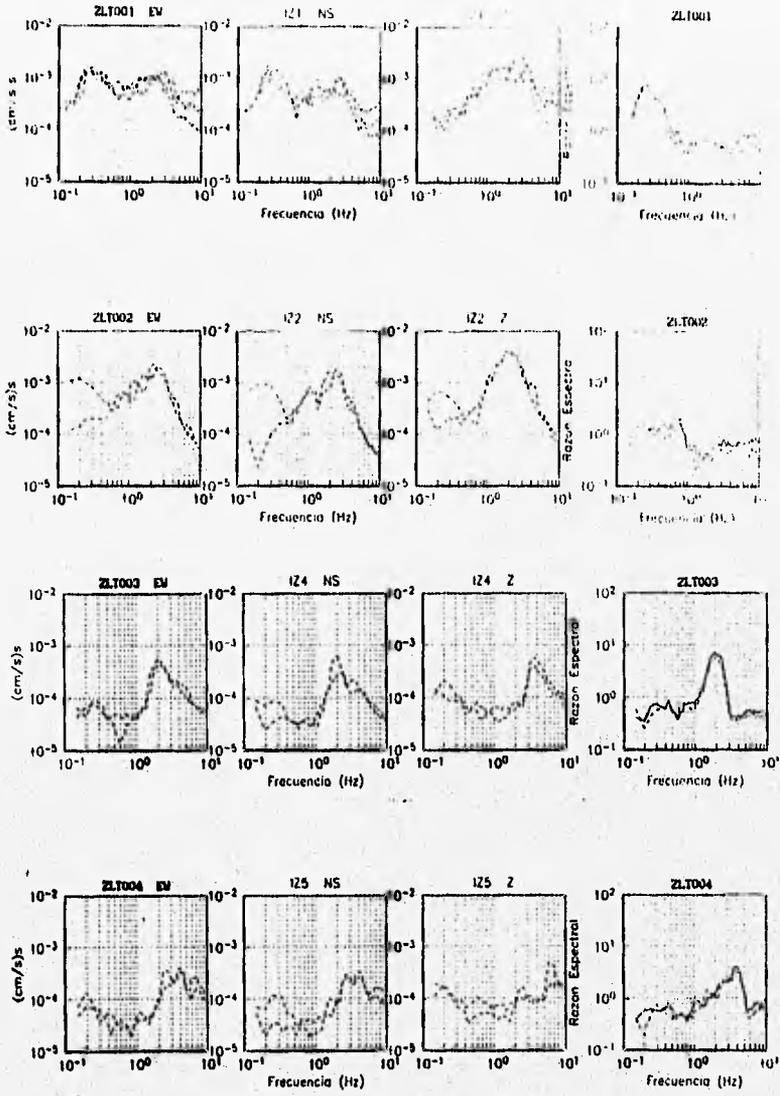


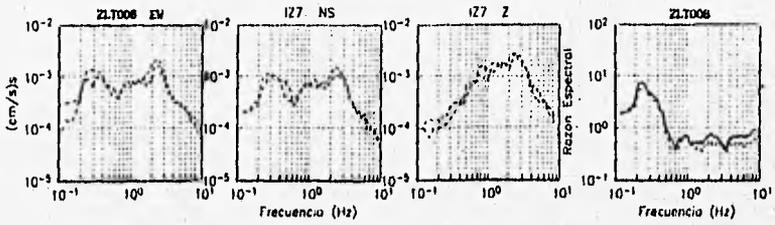
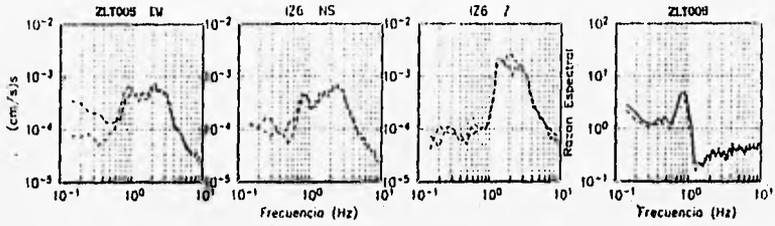


ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

(79)

FIGURAS III.9





PERIODOS DOMINANTES

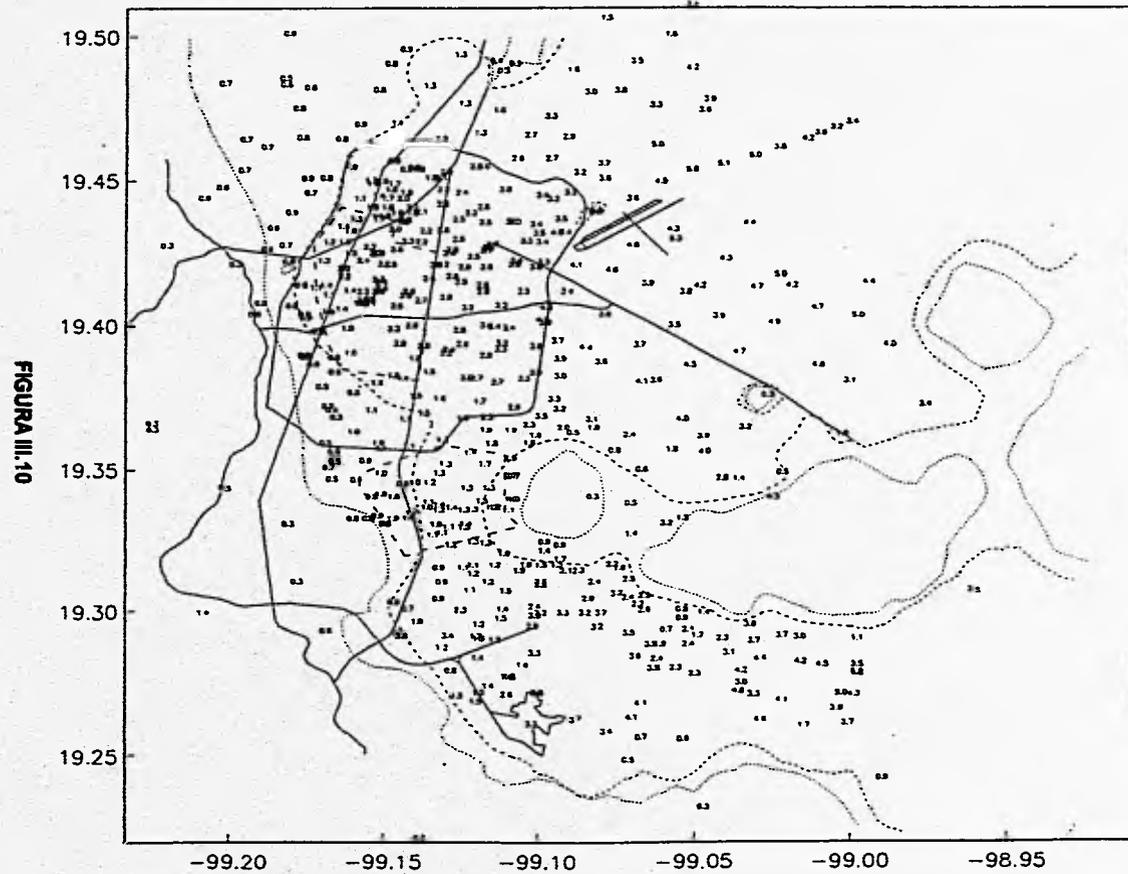
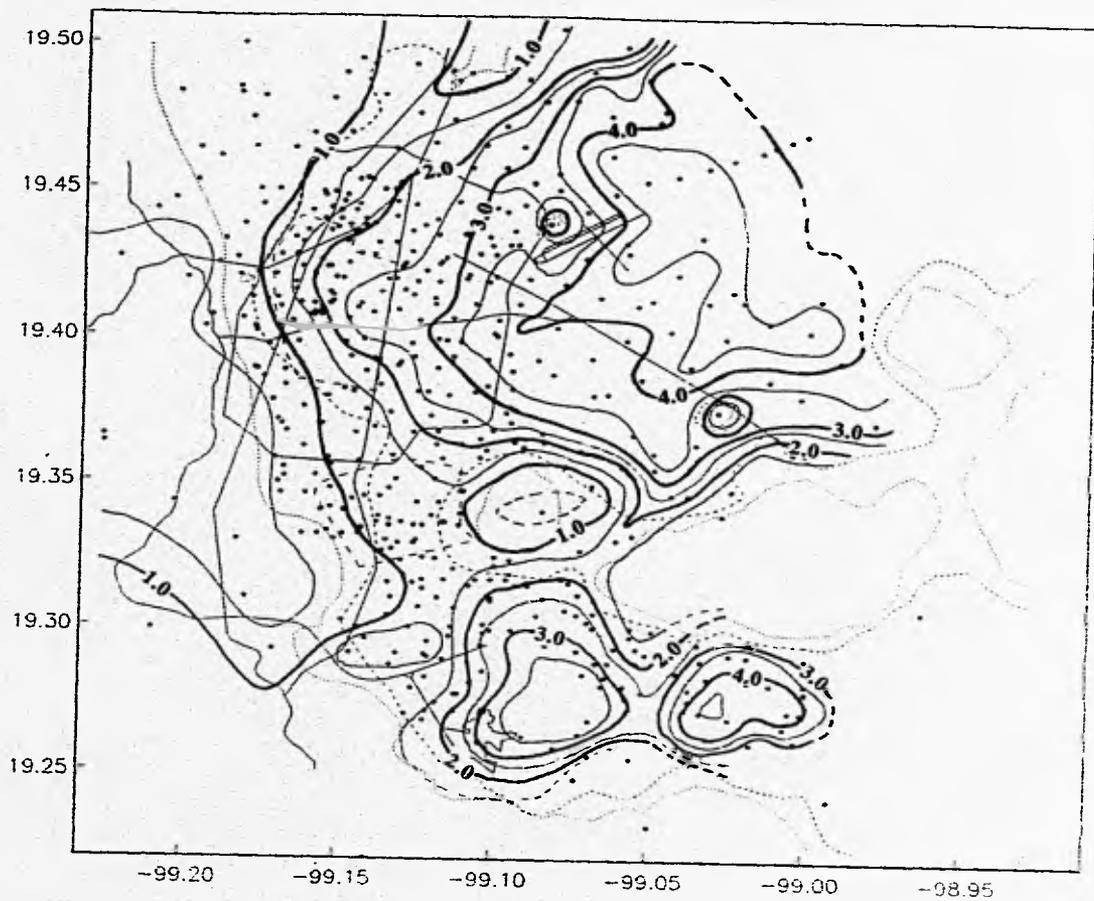


FIGURA III.10

FIGURA III.11



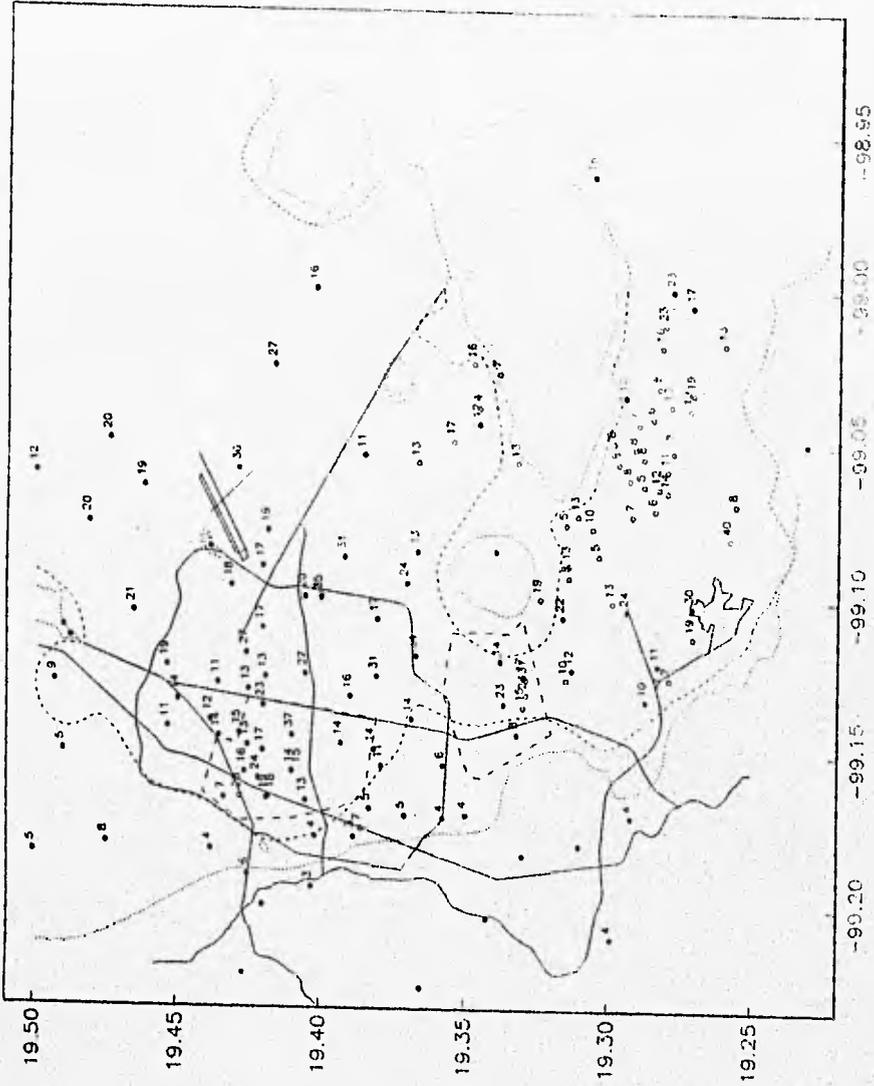


FIGURA III.12

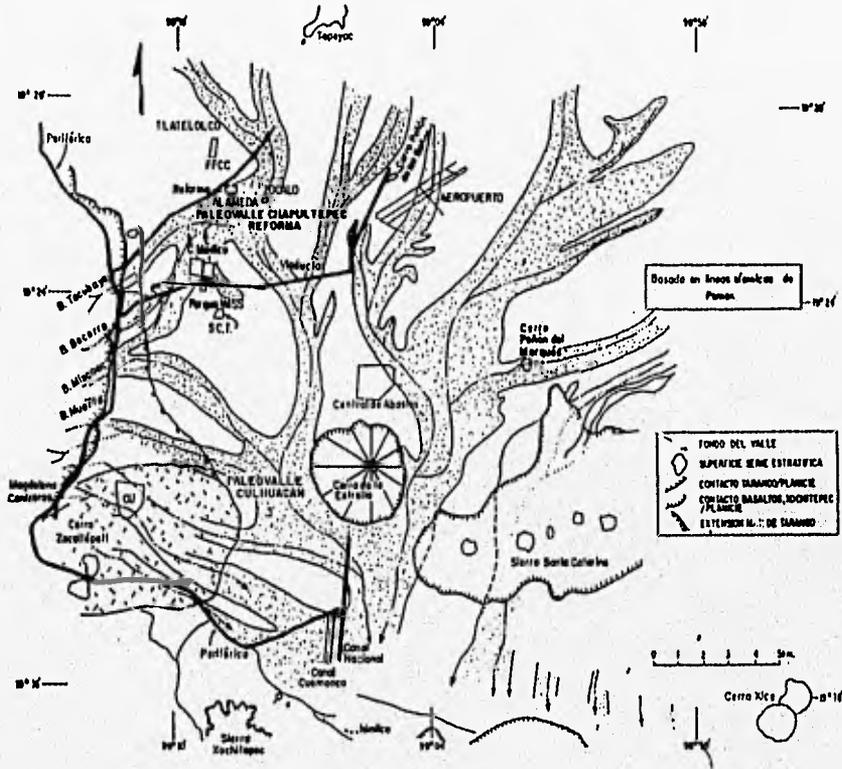


FIGURA III.13