

2-A  
Igm



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

ESTIMACION DE ESPECTROS DE RESPUESTA  
USANDO MICROTREMBORES EN EL VALLE DE  
MEXICO

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;  
INGENIERO GEOFISICO  
P R E S E N T A :

JORGE DIAZ DE LEON CHAGOLLA



MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

## ESTIMACION DE ESPECTROS DE RESPUESTA USANDO MICROTEMBLORES EN EL VALLE DE MEXICO

### RESUMEN.

#### I INTRODUCCION.

#### II ORIGEN Y ESTABILIDAD DE LOS MICROTEMBLORES.

II.1 Clasificación de los microtemblores.

II.2 Estacionaridad.

III.3 Relación de los microtemblores con los registros de movimientos fuertes.

#### III TRABAJO DE CAMPO.

III.1 Instrumentación.

III.2 Metodología.

#### IV USO DE LOS MICROTEMBLORES PARA ESTIMAR ESPECTROS DE RESPUESTA.

IV.1 Antecedentes.

IV.2 Validación del método.

IV.3 Obtención de las funciones de transferencia.

IV.4 Estimación de espectros de aceleración.

IV.5 Estimación de espectros de respuesta.

#### V RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

TABLAS.

FIGURAS.

## RESUMEN

Kobayashi, et al. (1986), estimó espectros de respuesta con registros de microtemblores, utilizando una curva de escalamiento, para el temblor del 19 de Septiembre de 1985 en el D.F., sin considerar la variación temporal de la amplitud de los microtemblores.

En este trabajo se reevalúa esta técnica con las siguientes consideraciones: i) registrar microtemblores en 2 sitios simultáneamente; ii) que el valor del periodo dominante para estos sitios sean similares. Con estas consideraciones se espera hacer válidas las condiciones propuestas por Singh, et al., 1986 (que las amplitudes de los microtemblores sean constantes y que las funciones de transferencia (FT) de microtemblores y de aceleración sean similares).

Se analizaron 7 estaciones acelerográficas que registraron el sismo del 8 de Febrero de 1988, las cuales se dividieron en dos grupos. En el primer grupo se registraron microtemblores durante el día tomando como base a la estación de Alameda que tiene un periodo dominante (T) de 2.0 s, y las siguientes 4 estaciones:

CI05	T=2.0 seg	DISTANCIA A LA BASE 2900 m (FICA)
D38	T=2.3 seg	DISTANCIA A LA BASE 1700 m (FBS)
D32	T=2.4 seg	DISTANCIA A LA BASE 600 m (FBS)
CI45	T=2.5 seg	DISTANCIA A LA BASE 1250 m (FICA)

En el segundo grupo se registraron microtemblores durante la madrugada tomando como base a la estación del Multifamiliar Juárez con un periodo dominante de 2.3 s, y las 2 estaciones siguientes:

D48	T=2.3 seg	DISTANCIA A LA BASE 6300 m (FBS)
CI45	T=2.5 seg	DISTANCIA A LA BASE 2150 m (FICA)

A todas éstas se les estimó su espectro de amplitud de aceleración utilizando la siguiente relación:

$$A_i(\omega) = [N_i(\omega)/N_b(\omega)] \times A_b(\omega)$$

donde:  $N_i(\omega)/N_b(\omega)$ , FT del los espectros de Fourier de velocidad de microtemblores de la estación i, entre la base b;  $A_b(\omega)$ , espectro de amplitud de aceleración de la base;  $A_i(\omega)$ , espectro de amplitud de aceleración estimado de la estación.

Al compararlos con los espectros de aceleración reales, se observa lo siguiente:

- 1) Los espectros estimados del primer grupo mantienen la forma respecto a los reales; mientras que en el segundo grupo medido durante la noche no mantiene la forma respecto a los reales.
- 2) En cuanto a los niveles de las amplitudes, la estimación en CI05 y D38 (cercanos al periodo de la base) es aproximadamente igual al real, mientras que para las restantes sobrevalúa este nivel en menos de 1 orden.
- 3) Se estimaron también espectros de respuesta para un amortiguamiento del 5 % para los dos grupos, observándose los mismos comportamientos ya mencionados.

## I. INTRODUCCION

A raíz de los daños causados en la Ciudad de México, debido al sismo de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985, un grupo de científicos japoneses realizaron estudios de microtemblores en la Ciudad de México. Kobayashi et al. (1986), observaron que existía cierta similitud en cuanto a la forma, entre el espectro de Fourier de velocidad de los registros de microtemblores y el espectro de respuesta de aceleración, en algunos sitios del Valle de México. Los registros de microtemblores obtenidos de varios sitios de la ciudad fueron convertidos a espectros de respuesta usando una curva de escalamiento.

Singh et al. (1986), realizó un estudio para ver si la técnica propuesta por Kobayashi et al. era válida para el Valle de México, llegando a la conclusión que esta técnica es válida solo si:

a) La función de transferencia entre los registros de aceleración de 2 sitios, es similar a la función de transferencia entre los registros de microtemblores de los 2 mismos sitios.

b) La amplitud de los microtemblores se mantiene constante para toda la zona del lago.

Lermo et al. (1988-a), utilizando la técnica propuesta por Kobayashi et al., comparan los espectros de respuesta estimados por él, con los espectros de respuesta de aceleración reales, en sitios donde se tienen registros de movimientos fuertes y donde se había medido la velocidad del terreno con registros de microtemblores. Observaron que existían algunas diferencias, concluyendo que la estimación del espectro de respuesta a partir de microtemblores requería de un análisis más a fondo, así como de un número mayor de experimentos a realizar.

El presente trabajo propone reevaluar el estudio realizado por Lermo et al. bajo nuevas consideraciones, que tomen en cuenta las dos condiciones mencionadas para que la técnica sea válida:

1.- Estimar espectros de respuesta en zonas que tengan un periodo natural (T) similar ( $\pm 0.5$  s), tanto en el lugar donde se obtiene la función de transferencia, como en el lugar donde se quiere estimar.

2.- Obtener registros de velocidad de microtemblores simultáneamente tanto en el punto donde se tiene el registro de aceleración, como en aquel donde se quiere estimar el espectro de respuesta.

En el capítulo II se presenta una clasificación preliminar sobre el origen de los microtemblores y de su variación temporal durante 24 horas, así como su relación con los registros de movimientos fuertes. En el capítulo III se muestra las características del equipo utilizado en la obtención de registros de microtemblores, así como la técnica y metodología empleada para la toma de datos. La obtención de Funciones de Transferencia (FT), estimación de espectros de aceleración y espectros de respuesta, a partir de microtemblores, se presenta en el capítulo IV. Por último, en el capítulo V a manera de resultados, se comparan los espectros de respuesta estimados con la técnica de microtemblores, con los obtenidos de registros de aceleración del temblor del 8 de Febrero de 1988; finalmente se obtienen las conclusiones de estas comparaciones y se presentan algunas perspectivas para la aplicación de esta técnica en el futuro.

## ORIGEN Y ESTABILIDAD DE LOS MICROTEMBORES.

### II.1. CLASIFICACION DE LOS MICROTEMBORES.

Debido a que los microtemblores son la combinación de varios tipos de ondas (ondas superficiales y de cuerpo), provenientes de muchas fuentes como tráfico, fábricas, viento, presión atmosférica, oleaje, actividad volcánica, etc. (A. Allan y E. Shima, 1987); en el presente trabajo, de acuerdo a las observaciones realizadas por investigadores japoneses y mexicanos en el Valle de México, se clasifican a los microtemblores tomando en cuenta las causas que los originan:

#### 1.- Microtemblores originados por causas artificiales.

Estos microtemblores que en otros trabajos son referidos como MICROTREMORES (Kobayashi et al., 1988; Lermo et al 1988-b; Masaki et al., 1988 y Seo et al., 1987) son originados principalmente por el tráfico vehicular (en especial el metro), maquinaria, paso de gente, etc. Los cuales se caracterizan por presentar sus periodos dominantes entre 0.1 y 1.0 s (periodos cortos, figura 1), sin embargo se ha observado que para la zona del lago su periodo dominante se observa entre 1.0 y 10.0 s (figura 2).

#### 2.- Microtemblores originados por causas naturales.

En algunos trabajos estos microtemblores lo refieren como MICROSISMOS (Masaki et al., 1988 y Seo et al., 1987) los cuales pueden ser originados por el viento, oleaje, cascadas, corrientes de agua, presión atmosférica, actividad volcánica, etc. Caracterizándose por presentar sus máximos entre 1.0 y 10.0 s (periodos largos). Brune y Oliver, (1959) han observado que estos microsismos tienen un máximo entre 5 y 8 s; ellos suponen que el origen de

esta actividad es posiblemente el oleaje. En el Valle de México esta actividad se presenta alrededor de 5 s en la zona de lomas y de transición (figura 1).

## II.2. ESTACIONARIDAD.

Para observar con más detalle la variación temporal de los microtemblores en el Valle de México, Lermo et al. (1988-b) realizaron una prueba de estacionaridad en un sitio localizado a unos 800 m de la estación acelerográfica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), que consistió en mediciones de microtemblores cada 2 horas durante 24 horas. En la figura 3, se observan los espectros de Fourier de velocidad de los registros de las componentes horizontales, donde se distinguen las siguientes características: i) los espectros se separan en dos grupos distintos, siendo más energéticos entre las 6 a 22 horas que entre las 2 a 4 horas; ii) se observa un máximo en  $T=1.8$  s en todos los espectros, el cual está relacionado al periodo natural del sitio; iii) se observa otro máximo en  $T=6.7$  s pero que es independiente del tiempo.

De las primeras dos observaciones ellos concluyen que las amplitudes de los espectros dependen del tráfico vehicular en especial del metro (Mazaki et al., 1988), y que el máximo de estas amplitudes están relacionadas con el periodo natural del sitio. Por otra parte el pico relacionado a  $T=6.7$  s, lo atribuyen a causas naturales que, como se han clasificado en el inciso anterior, presentan sus máximos en periodos largos.



### II.3. RELACION DE LOS MICROTREMBORES CON LOS REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES.

En la figura 4 se comparan 5 razones espectrales de aceleración (de algunos sitios del Valle de México respecto a Ciudad Unversitaria), con espectros de Fourier de velocidad de los registros de microtemblores medidos en los mismos sitios. Se observa que los máximos espectrales en los registros de microtemblores (parte superior de las gráficas) ocurren aproximadamente en las mismas frecuencias que los máximos de las razones espectrales de aceleración (Lermo et al., 1988-b).

Lermo et al. (1988-b) graficaron para 25 sitios el máximo obtenido del espectro de Fourier de aceleración contra el máximo obtenido del espectro de Fourier de velocidad de microtemblores, como se muestra en la figura 5. En ésta se observa que la relación es buena, concluyendo que un método confiable para estimar el periodo dominante de un sitio se puede obtener a partir de registros de microtemblores de una manera fácil y rápida.

### III. TRABAJO DE CAMPO.

#### III.1. INSTRUMENTACION.

El sistema de adquisición de datos que se utilizó para el registro de microtemblores consiste de 2 equipos, cada uno de ellos integrado por tres sensores marca Kinematics con periodo natural de 5 segundos. En uno de ellos se registró la componente vertical del movimiento del terreno y los 2 restantes para el registro de las componentes horizontales. La grabación de las señales se efectuó en cinta magnética (cassette) con un registrador digital (Sprengnether tipo DR-100), tomando 100 muestras por segundo en cada componente y grabando cada muestra en 12 bits. En la Tabla 1, se muestran las principales características del equipo utilizado.

La calibración del sistema de adquisición de datos (sensor + registrador) se obtiene excitando al sistema mediante una señal de ruido binario pseudoaleatorio (Gonzales, M., 1985 y Vidal, J.A., 1981). La técnica de calibración es confiable tanto para la amplitud como la fase del sistema (Lermo et al., 1987). El resultado es la curva de magnificación del sistema (figura 8), en donde se muestra que para la velocidad del terreno, la respuesta es plana de 0.2 a 20 Hz.

#### III.2. METODOLOGIA.

##### a) Obtención de los datos.

La manera de realizar las mediciones de microtemblores en el Valle de México es la siguiente:

- 1.- Los sitios se seleccionan con anterioridad, en este caso se registraron microtemblores en lugares donde se

tienen registros de aceleración (ver Tabla 2 y figura 7). Los puntos seleccionados se dividieron en 2 grupos, estos deben cumplir con las siguientes características: a) tener un periodo similar, no mayor de 0.5 s y b) la hora en que se realizan las mediciones.

2.- Uno de los sitios de cada grupo se toma como base (punto fijo), dejando un equipo en este lugar y el otro se traslada a uno diferente (punto móvil).

3.- En estos sitios los sismómetros horizontales se instalan orientandolos uno N-S y otro E-W separados al menos 1 metro entre ellos. Se nivelan los sismómetros y en el registrador se seleccionan las ganancias para la grabación en cada canal. En la base como en el punto móvil seleccionado se realizan las mediciones simultaneamente la duración de estas son de aproximadamente 70 segundos. Durante este tiempo se evita el paso de peatones cerca de los sismómetros con objeto de excluir este tipo de origen de ruido.

4.- La información correspondiente a la fecha, hora, No. de evento, sitio registrado y configuración del registrador las consignamos en una hoja de trabajo previamente diseñada (figura 8).

5.- Terminando el registro de microtemblores en el punto móvil, se procede a cambiar a otro del mismo grupo y realizar los mismos pasos antes mencionados.

Estos pasos se realizaron en cada punto de los grupos seleccionados.

b) *Captación y Transferencia de la información.*

Los registros obtenidos de microtemblores para cada pareja (punto fijo y móvil), son grabados en cassette y se transmiten a una computadora PRIME. Esta transferencia tiene como objeto último, generar archivos tiempo-velocidad en las 3 componentes para cada medición realizada. A continuación se grafica cada registro de cada evento con el objeto de seleccionar visualmente una ventana que contenga la mejor definición de amplitudes en ambos equipos.

En el procesado de la información solo se trabajó con las componentes horizontales (NS y EW) debido a que se ha observado (Lermo et al., 1987-a) que los periodos asociados a los máximos espectrales de estas componentes están relacionadas con el periodo natural del sitio, a diferencia de las verticales que no muestran estos máximos.

En el apéndice A, de las figuras A-1.1 a A-6.2, se muestran los registros de velocidad de las componentes horizontales, obtenidas en las estaciones medidas así como sus espectros de Fourier correspondientes.

## IV USO DE LOS MICROTREMBORES PARA ESTIMAR ESPECTROS DE RESPUESTA.

### IV.1. ANTECEDENTES.

Kobayashi et al. (1986), realizaron mediciones de microtemblores en el D.F. y mediante el uso del espectro de Fourier de velocidad de éstos, ellos proponen una técnica para estimar el Espectro de Respuesta en varios sitios del Valle de México. Basándose en la observación de una cierta similitud en cuanto a la forma, entre el espectro de respuesta de aceleración, con el espectro de Fourier de velocidad de los microtemblores. Entonces ellos definen a  $Y_i(\omega)$  como el Espectro de Respuesta aceleración de un sitio base,  $Y_k(\omega)$  como el Espectros de Respuesta de aceleración del sitio que se quiere estimar (donde no se tiene un registro de aceleración),  $N_i(\omega)$  como el espectro de Fourier de velocidad de microtemblores del lugar donde se tiene un registro de aceleración (estación base),  $N_k(\omega)$  como el espectro de Fourier de velocidad de microtemblores del lugar donde se quiere estimar  $Y_k(\omega)$ . Estos autores calcularon la Función de Transferencia (FT) entre el Espectro de Respuesta de aceleración y el espectro de Fourier de velocidad de microtemblores del mismo punto (realizando el cociente:

$$Y_i(\omega) / N_i(\omega)$$

Con ésta FT se podía estimar  $Y_k(\omega)$ , en cualquier otro sitio ( $k$ ), con solo obtener el espectro de Fourier de velocidad del mismo sitio de microtemblores y así calcular  $A_k(\omega)$ ; esto es:

$$Y_k(\omega) = [ Y_i(\omega) / N_i(\omega) ] * N_k(\omega)$$

Kobayashi et al, obtuvieron una FT promedio para la Zona de Lomas a partir de las FT obtenidas en las estaciones acelerográficas de la UNAM, TACUBAYA y VIVEROS DE COYOACAN. También obtuvieron una FT promedio para toda la Zona del Lago con

las FT obtenidas en las estaciones de CENTRAL DE ABASTOS y SCT.

Con estas FT promedio, estimaron en varios sitios del Valle de México Espectros de Respuesta con solo multiplicar la FT de la zona seleccionada por el espectro de Fourier de velocidad de microtemblores de un punto en particular de la misma zona.

Lermo et al. (1988-a) repitiendo la técnica propuesta por Kobayashi, en lugares donde no se tenían registros de aceleración cuando Kobayashi et al. realizaron su experimento, compararon los Espectros de Respuesta estimados con los reales. Se observaron diferencias notables entre ellos concluyéndose que esta técnica necesitaba un número mayor de experimentos y pruebas a realizar para poder asegurar que esta técnica fuera válida para todo el Valle de México.

#### IV.2. VALIDACION DEL METODO.

De un estudio realizado por Singh, S.K., (1986) para ver si la técnica de microtemblores, propuesta por lo japoneses, era válida para el Valle de México, se tiene lo siguiente:

Supóngase que se tiene un registro de ruido ambiental, el cual es constante en el D.F. Si asignamos como  $N(\omega)$  al espectro de Fourier de este ruido (puede ser desplazamiento, velocidad o aceleración) y en un sitio  $j$ , obtenemos  $N_j(\omega)$ . Este espectro  $N_j(\omega)$ , es  $N(\omega)$  pasado a través de un filtro lineal  $H_j(\omega)$ , que sería la función de transferencia de este sitio. Entonces:

$$N(\omega) \longrightarrow H_j(\omega) \longrightarrow N_j(\omega) .$$

$$N_j(\omega) = N(\omega) \cdot H_j(\omega) \quad (1)$$

Ahora supongamos que se registra un sismo en algunos sitios del D.F. Haciendo  $A(\omega)$  al espectro de Fourier de este sismo

(puede ser también desplazamiento, velocidad o aceleración) y considerándolo razonablemente constante en el D.F., entonces el espectro obtenido en el sitio  $i$  ( $A_i(\omega)$ ), que es  $AC(\omega)$  pasado por una función de transferencia lineal  $G_i(\omega)$ . Entonces:

$$AC(\omega) \longrightarrow G_i(\omega) \longrightarrow A_i(\omega)$$

$$A_i(\omega) = AC(\omega) \cdot G_i(\omega) \quad (2)$$

Si suponemos que en un mismo sitio  $i$  se puede considerar válida la relación:

$$H_i(\omega) = G_i(\omega)$$

por lo tanto se tiene de 1 y de 2 que:

$$N_1(\omega) = NC(\omega) \cdot H_1(\omega)$$

$$N_2(\omega) = NC(\omega) \cdot H_2(\omega)$$

$$" \quad " \quad "$$

$$" \quad " \quad "$$

$$N_j(\omega) = NC(\omega) \cdot H_j(\omega)$$

y

$$A_1(\omega) = AC(\omega) \cdot H_1(\omega)$$

$$A_2(\omega) = AC(\omega) \cdot H_2(\omega)$$

$$" \quad " \quad "$$

$$" \quad " \quad "$$

$$A_i(\omega) = AC(\omega) \cdot H_i(\omega)$$

entonces

$$\frac{A_1(\omega)}{N_1(\omega)} = \frac{A_2(\omega)}{N_2(\omega)} = \frac{A_i(\omega)}{N_i(\omega)} = \frac{AC(\omega)}{NC(\omega)}$$

nos queda que:

$$\frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} = \frac{N_2(\omega)}{N_1(\omega)} = \frac{A_1(\omega)}{A_1(\omega)} = \frac{N_1(\omega)}{N_1(\omega)} \quad (3)$$

Esto nos dice que la función de transferencia de los espectros de aceleración  $A_1(\omega)$  y  $A_2(\omega)$  de 2 sitios debidos a un sismo es igual a la función de transferencia de los espectro de ruido  $N_1(\omega)$  y  $N_2(\omega)$  de los mismos sitios.

De ésto se concluye que la ecuación 3 solo será válida si los niveles de amplitud de los espectros de microtemblores se conservan.

Por último de la ecuación 3 en un sitio k donde no se tenga el espectro de Fourier  $A_k(\omega)$  (que puede ser desplazamiento, velocidad o aceleración), pero si este disponible el espectro de ruido ambiental  $N_k(\omega)$ , se puede estimar:

$$A_k(\omega) = \frac{N_k(\omega)}{N_1(\omega)} \cdot A_1(\omega) \quad (4)$$

Por lo tanto el propósito de este trabajo es reevaluar la técnica propuesta por los japoneses con las siguientes consideraciones: i) obtener registros de microtemblores al mismo tiempo en el sitio base como en el punto donde se quiere estimar (punto móvil), con el objeto de disminuir la variación temporal de éstos y ii) que los sitios seleccionados tengan un periodo dominante similar ( $T = \pm 0.5$  s), con lo que se reduce las diferencias en cuanto a las propiedades dinámicas del suelo. Con lo que se pretende hacer válida la condición de la ecuación 3

A diferencia de la técnica de Kobayashi, en este trabajo se obtienen las FT a partir de registros de microtemblores de los dos sitios seleccionados (punto base y punto móvil), se estima el espectro de aceleración en el punto móvil multiplicando el espectro de aceleración de la base por la FT (siguiendo la ecuación 4) y se compara con el observado.



#### IV.3. OBTENCION DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.

El 8 de Febrero de 1988 se originó en la costa del Pacifico, un sismo a las 13h51m29s (tiempo de Greenwich), localizado a 17.50° latitud N y 101.14° longitud W, a una profundidad de 20 km y magnitud  $M_s = 5.8$  (Quass et al., 1988). Este sismo fue el primero en ser registrado por la nueva red acelerográfica del Valle de México, que actualmente consiste de aproximadamente 80 acelerógrafos que tienen a su cargo tres instituciones: 1) Instituto de Ingeniería, UNAM (II); 2) Fundación ICA (FICA) y 3) Fundación J. Barros Sierra (FBS). Con el objeto de aplicar las consideraciones mencionadas, se utilizaron 7 registros de aceleración de este temblor, obtenidos por la red acelerográfica de FICA y FBS (Ref. 3 y 4).

##### IV.3.1. ANALISIS DEL PRIMER GRUPO DE ESTACIONES.

En primer término se procesaron los registros de velocidad del primer grupo, los cuales se registraron durante el día (de las 13 a las 17 horas aproximadamente).

Para el cálculo de las funciones de transferencia (FTD), la señal registrada se corrigió por línea base y se le aplicó un suavizado cosenoidal del 5% en la parte inicial y final de la ventana seleccionada. Para este estudio se utilizó una ventana de 80 segundos para tener aproximadamente el mismo número de puntos que los registros de aceleración. A continuación se calcularon los espectros de Fourier de velocidad, los cuales se suavizaron calculando el promedio de las amplitudes, para la estación base en una banda de 1/3 de octava y para las estaciones móviles en una banda de 1/12 de octava (esto último con el objeto de enfatizar las características locales del suelo). Por último éstos se corrigieron por la curva de magnificación correspondiente al sistema de adquisición de datos utilizados (figura 8).

Una vez obtenidos los espectros de amplitud de velocidad tanto, en el punto fijo ( $N_f(\omega)$ ) como en el punto móvil ( $N_k(\omega)$ ), se procedió a realizar el cociente:

$$N_k(\omega) / N_f(\omega)$$

Con el objeto de observar si las Funciones de Transferencia (FT) de los espectros de aceleración y los espectros de velocidad de los microtemblores son similares (ver ecuación 3), se obtuvieron los espectros de amplitud de Fourier de aceleración de las mismas estaciones donde se registraron microtemblores. Los espectros de Fourier de aceleración fueron suavizados a 1/12 de octava de banda, obteniéndose las FT de acuerdo a:

$$A_k(\omega) / A_f(\omega)$$

De la figura 9 a la 12 se muestran tanto las FT de los espectros de aceleración (línea continua), como las FT de los espectros de velocidad de los microtemblores (línea discontinua) de este primer grupo. En estas figuras se observa un intervalo de frecuencias aproximadamente entre 0.3 y 1.5 Hz. donde las amplitudes de las dos FT son similares. Fuera de este intervalo se observa una gran diferencia en las amplitudes, causados probablemente por el periodo natural del los sismómetros que se utilizaron para registrar los microtemblores (Tabla 1, figura 6). Por lo tanto la estimación de espectros de Fourier de aceleración es confiable dentro de este intervalo para las estaciones analizadas.

#### IV.3.2. ANALISIS DEL SEGUNDO GRUPO DE ESTACIONES.

Analizando ahora el segundo grupo cuyos registros de microtemblores se obtuvieron durante la madrugada (1 a 4 horas aproximadamente). Para el cálculo de las FT se procesaron los registros de velocidad, de la misma manera que el grupo anterior y se efectua el cociente entre los espectros obtenidos.

Al comparar las FT de los espectros de Fourier de aceleración

y de espectros de Fourier de velocidad de los microtemblores (figuras 13 y 14), se observa una discrepancia en las amplitudes, para el mismo intervalo analizado. Esta diferencia se debe a la falta de fuentes generadoras de microtemblores en especial las originadas por causas artificiales porque las condiciones del tráfico local y de actividad humana son mínimas.

#### IV.4. ESTIMACION DE ESPECTROS DE ACELERACION.

Una vez observado el parecido que existe entre las FT de los microtemblores y las FT de aceleración, dentro de las frecuencias antes mencionadas, se procedió a estimar espectros de Fourier de aceleración en los puntos móviles basándose en la ecuación 4. Realizando el producto de la FT obtenida a partir de los microtemblores con el espectro de Fourier de aceleración de la estación base Alameda (ver figura 15, para el caso de primer grupo), se puede obtener el espectro de Fourier estimado de aceleración en el punto móvil correspondiente. Para el segundo grupo se realizó el mismo procedimiento, pero ahora se tomó como estación base la del Multifamiliar Juárez (figura 16), obteniéndose los espectros de Fourier de aceleración estimados para las estaciones.

En las figuras 17 a la 22 se muestran los espectros de Fourier de aceleración estimados (línea discontinua), como los observados (línea continua) para los puntos de los dos grupos seleccionados.

#### IV.5. ESTIMACION DE ESPECTROS DE RESPUESTA.

Aprovechando la semejanza entre el espectro de Fourier de aceleración estimado y el real, se procede a estimar el Espectro de Respuesta (ER). En el siguiente inciso se muestra en forma breve, la definición de un ER, como se calcula y el método que se utilizó para el cálculo de estos.

#### IV.5.1 BREVE DEFINICIÓN DE UN ESPECTRO DE RESPUESTA Y UN MÉTODO DE CÁLCULO.

Si sometemos un oscilador elemental con frecuencia  $\omega_1$  y amortiguamiento  $\eta_1$  a una determinada excitación  $x_0$ , la respuesta de la estructura será en general distinta a la señal excitadora tanto en amplitud, como en el contenido de periodos y en la duración del movimiento. En algún instante esta respuesta alcanzará un valor máximo de amplitud  $r_{max_1}$  que la estructura debe resistir para evitar la falla elástica.

Si se somete otro oscilador elemental a la misma excitación y con el mismo amortiguamiento pero con  $\omega = \omega_2$ , su respuesta será sensiblemente diferente y en general con un valor máximo  $r_{max_2}$  también diferente. Si se siguen obteniendo diversas respuestas ante la misma excitación y el mismo amortiguamiento variando únicamente la frecuencia natural y se grafica  $\omega_1$  contra  $r_{max_1}$ , se tendrá finalmente una curva que se denomina espectro de respuesta que definiremos formalmente como: "la curva máximo absoluto de la respuesta que alcanza estructuras de comportamiento lineal con un grado de libertad y amortiguamiento viscoso, cuando se les somete a un movimiento del terreno presentado en función del periodo o frecuencia natural de las estructuras" (Reinoso, E. 1988). En la figura 23 se muestra en forma esquemática el procedimiento general para obtener espectros de respuesta.

Los métodos que han adquirido más auge para la determinación del ER son los basados en la obtención de espectros de Fourier a través de la transformada rápida de Fourier. Esta última es un algoritmo optimizado para obtener la transformada discreta de Fourier cuya expresión es:

$$A(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} a(t_n) \exp(-i2\pi\omega_k t_n) \quad k = 0, N-1 \quad (5)$$

Se sabe que la respuesta de un oscilador lineal en el dominio de la frecuencia está dada por:

$$Y(\Omega, \omega) = A(\omega) \times H(\Omega, \omega) \quad (6)$$

en donde  $A(\omega)$  es el espectro de Fourier de la señal excitadora y  $H(\Omega, \omega)$  es la función de transferencia de desplazamiento de dicho oscilador dada por:

$$H(\Omega, \omega) = -1 / ( \Omega^2 [ 1 - (\omega/\Omega)^2 + 2i\zeta(\omega/\Omega)^2 ] ) \quad (7)$$

Una vez realizado este producto, se le aplica la transformada inversa de Fourier en su forma discreta:

$$y_n(t_n) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} Y(\Omega, \omega_k) \exp(i2\pi nk/N) \quad , \quad n = 0, N-1 \quad (8)$$

regresando así al dominio del tiempo, en donde  $y_n(t)$  es la respuesta en desplazamiento del oscilador ante la señal excitadora. Tomando el valor máximo se obtendrá un punto del espectro de respuesta correspondiente a la frecuencia  $\Omega$ . Para obtener otros puntos más del espectro de respuesta se calcula  $Y(\Omega, \omega)$  variando sólo  $H(\Omega, \omega)$ , ya que el espectro de Fourier  $A(\omega)$  no cambia al no estar en función de  $\Omega$ .

#### IV.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACION DEL ER.

Ya que para el cálculo del ER en la ecuación 6 se requiere del espectro de Fourier de aceleración en forma compleja ( $A(\omega)$ ), de una señal excitadora (en esta caso aceleración), y observando los resultados obtenidos en el inciso IV.4, donde se estimaron espectros de amplitud de aceleración, se procedió a estimar el espectro de Fourier de aceleración en forma compleja. Primero obtenemos las funciones de transferencia en forma compleja, a partir de registros de microtemblores, una vez corregidos por instrumento tanto la fase como el módulo de la señal. Luego esta

función se multiplica por el espectro complejo de aceleración de la estación base (ecuación 4). Con este espectro complejo de aceleración estimado, se procede a calcular el espectro de respuesta utilizando el método de la Transformada Rápida de Fourier ya mencionada. En este trabajo, todos los espectros de respuesta estimados y calculados son para un amortiguamiento del oscilador ( $\zeta$ ) del 5 %.

Los espectros de respuesta (ER) reales (línea continua) y los estimados (línea discontinua), para los dos grupos seleccionados, se muestran de las figuras 24 a la 29.

## V RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

### V.1. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.

Las funciones de transferencia (FT) obtenidas a partir de registros de microtemblores durante el día (primer grupo), son confiables en el intervalo de frecuencias de 0.3 a 1.5 Hz, donde las amplitudes de estas son similares a las reales calculadas con registros de aceleración. Mientras que para las FT obtenidas durante la noche (segundo grupo), muestran una discrepancia en las amplitudes para el mismo intervalo analizado.

### V.2. ESPECTROS DE FOURIER DE ACELERACION.

Al comparar los espectros de Fourier de aceleración estimados con los reales, se observa que la estimación es aceptable dentro del rango de frecuencias de 0.3 a 1.5 Hz en promedio debido a que es donde existe, para la mayoría de las estaciones, una mejor similitud en las amplitudes así como en la forma. Los espectros de aceleración mejor estimados son los de las estaciones CI05 y D58 (figuras 24 y 25) ambas del primer grupo de estaciones, con periodos dominantes de 2.0 y 2.3 s, alejadas de su estación base Alameda 2900 y 1700 m, respectivamente. El espectro de Fourier de aceleración que menos se ajustó al observado fue la estación RE45 (figura 29) perteneciente al segundo grupo de estaciones, con periodo dominante de 2.5 s. y alejado a 2150 m de su estación base Multifamiliar Juárez.

### V.3. ESPECTROS DE RESPUESTA.

En los Espectros de Respuesta (ER) estimados se puede

observar que la forma de estos es parecida al compararse con los reales en casi todas las estaciones menos en las que pertenecen al segundo grupo.

La mejor estimación del ER es en la estación CI05 que es la que se encuentra más alejada de su estación base pero ambas tienen el mismo periodo dominante de 2 s, mientras que la estación más cercana a esta estación base es la D62 que se encuentra a 600 m, con periodo dominante de 2.4 s, pero su estimación del ER no fue muy confiable.

Los ER estimados de segundo grupo resultaron con grandes diferencias tanto en amplitud como en la forma si se comparan con los ER reales, debido a la falta de fuentes excitadoras del suelo (tráfico, actividad humana, etc.).

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- 1.-La mejor definición de amplitudes de los registros de microtemblores son los que se obtienen durante el día cuando el tráfico local es abundante.
- 2.-El rango de frecuencias donde existe una mejor estimación tanto en FI como en espectros de Fourier de aceleración es de 0.3 a 1.5 Hz.
- 3.-De la primera consideración que se tomó en cuenta para la elaboración de este trabajo, se puede limitar que las estaciones o zonas donde se quiera estimar el ER deben de tener un periodo (T) dominante similar en  $\pm 0.3$  segundos.



- 4.- Los registros de microtemblores no necesariamente se tienen que realizar simultáneamente, como lo indica la segunda consideración, pero si se deben de realizar durante el día ya que el nivel del tráfico no varía significativamente para lograr una buena estimación.
- 5.- La distancia entre la estación móvil y la base es independiente para el cálculo del ER.

## REFERENCIAS.

- 1.-Allan, A. and Shima, E. "An Investigation into the Nature of Microtremors.", Bulletin of the Earthquake Research Institute. Vol 45 (1987), pp. 43-59.
- 2.-Brune, J., Oliver, J., (1959). "The seismic noise of the earth's surface", Bulletin of the Seismological Society of America. vol. 49, No. 4, pp. 349-353.
- 3.-Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C.. Fundación Javier Barros Sierra, A.C.. "Sismo del 8 de Febrero de 1988".
- 4.-Fundación ICA (1988) El sismo del 8 de Febrero de 1988 en la Ciudad de México, vol 1 y 2, México D.F..
- 5.-González, M. (1985). "Curvas de respuesta de los sistemas de adquisición de datos sísmicos en el Instituto de Ingeniería, UNAM", Tesis Profesional, ESIA, IPN México.

- 6.-Kobayashi, H., K. Seo, 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 microzoning studies of the Mexico earthquake of september 19, 1985. The Graduate School of Nagatsuta. Tokio Institute of Technoloty, Yokohama Japan.
- 7.-Lermo, J., y M. Rodriguez. "Microzonificación de México, D.F., usando microtemblores". (Primer informe técnico). Informe del Instituto de Ingeniería de la UNAM para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Proyecto 8745, mayo 1987.
- 8.-Lermo, J., H. Mijares y E. Nava (1987). "Calibración de un sistema de adquisición de señales de microtemblores". Reporte interno en preparación, Instituto de Ingeniería, UNAM México.
- 9.-Lermo, J., M. Rodriguez y S.K. Singh (1988-a). "Observaciones de microtemblores y su aplicación en la Ingeniería Sísmica". Revista Geofísica IPGH, Nro. 28, Enero-Junio 1988, pp 123-143.
- 10.-Lermo, J., M. Rodriguez, and S.K. Singh (1988-b). "Natural period of sites in the Valley of México from microtremor measurements", Earthquake Spectra, November 4-4, pp 805-814.
- 11.-Masaki, K., et al. "Measurement of shear wave velocity

of subsurface in Mexico City by board banging method and tripartite observation of microtremor.", 9th WCEE, A09-11, Tokyo-Kyoto, 1988.

12.-Guaas, R. et al. "Accelerograms from the Guerrero array for the Mexico earthquake of february 8, 1988 ( $M_s=5.8$ ): A preliminary report.", Report:GAA-4. Serie gris del Instituto de Ingenieria UNAM, Febrero 15, 1988.

13.-Reinoso, E. (1988). "Un algoritmo para el cálculo aproximado de espectros de respuesta sísmica basado en la teoría de vibraciones casuales", Tesis Profesional, UNAM México.

14.-Singh, S.K., R. Castro and E. Mena (1986). "Some notes on microtremors and microzonation", Reporte Instituto de Ingenieria, UNAM, vol II, SIS-3, 10p.

15.-Seo, Kazuoh (1987). "A primary Report. on the Investigation Research in the Institute of Engineering, UNAM", Reporte para el Instituto de Ingenieria, UNAM.

16.-Vidal, J.A. (1981). "Calibración de sismómetros empleando ruido binario pseudoraleatorio". Tesis Profesional, ESIA, IPN México.

TABLA 1.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS  
DE ADQUISICION DE DATOS

EQUIPO FIJO

Sismómetro (Kinemétrico)	# serie	To (seg)	hs	G (v/a/m)
SV-1 (vertical)	172	5.7	0.7	250
SH-1 (norte-sur)	245	5.2	0.7	202
SH-1 (este-oeste)	242	4.8	0.69	169

---

Registrador (Sprengnether) (DR-100)	# serie	ganancias	muestras/seg
	8018	54 db	100

EQUIPO MOVIL

Sismómetro (Kinemétrico)	# serie	To (seg)	hs	G (v/a/m)
SV-1 (vertical)	123	5.15	0.61	298
SH-1 (norte-sur)	244	5.0	0.69	193
SH-1 (este-oeste)	243	4.5	0.66	164

---

Registrador (Sprengnether) (DR-100)	# serie	ganancias	muestras/seg
	8021	54 db	100

(To) periodo natural del sensor  
(hs) amortiguamiento del sensor  
(G) constante del motor

TABLA 2

ESTACIONES DONDE SE TIENEN REGISTROS DE ACELERACION  
Y DE MICROTREMBORES.

1er. Grupo.

Estaciones donde se obtuvieron los registros de microtemblores durante día.

Clave: AL01 (ESTACION BASE)

Estación: Parque Alameda Central

Ubicación: Dr. Mora entre Av. Hidalgo y Av. Juárez, Centro

Periodo: 2.0 s

Clave: C105

Estación: Escuela Primaria Alberto Correa

Ubicación: Calle Colima entre Medellín y Oro

Periodo: 2.0 s

Distancia de la base: 2900 metros

Clave: D58

Estación: Escuela Secundaria Diurna # 23

Ubicación: Liverpool 40, Juárez entre Dinamarca y Berlin

Periodo: 2.3 s

Distancia de la base: 1700 metros

Clave: D62

Estación: Escuela Secundaria Técnica # 2, Corregidora de  
Queretaro

Ubicación: Eje Central 10, Centro

Periodo: 2.4 s

Distancia de la base: 600 metros

Clave: RE45  
Estación: Escuela Primaria Centro Revolución  
Ubicación: Calle Arcos de Belen y Niños Héroes, Col. Doctores.  
Periodo: 2.5 s  
Distancia de la base: 1250 metros

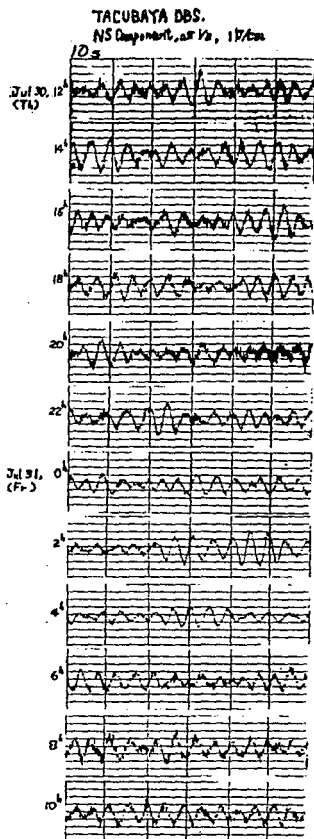
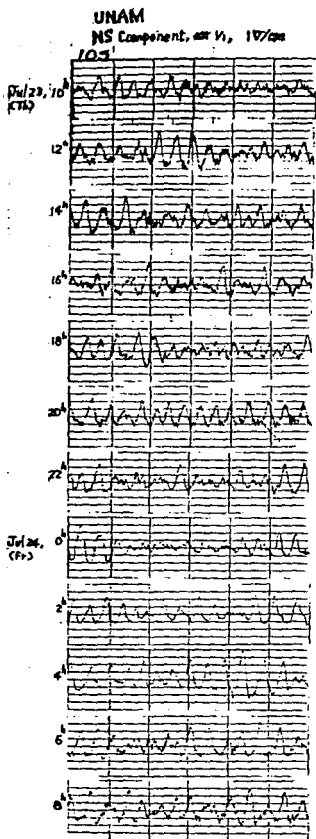
#### 2do. Grupo.

Estaciones donde se obtuvieron los registros de microtembores durante la madrugada.

Clave: D04 CESTACION BASED  
Estación: Multifamiliar Juarez  
Ubicación: Antonia M. Anza y Orizaba, Col Roma  
Periodo: 2.3 s

Clave: D48  
Estación: Escuela Primaria Rodolfo Menendez  
Ubicación: Loreto y Sn. Idelfonso, Centro  
Periodo: 2.3 s  
Distancia de la base: 6300 metros

Clave: RE45  
Estación: Escuela Primaria Centro Revolución  
Ubicación: Calle Arcos de Belen y Niños Héroes, Col. Doctores.  
Periodo: 2.5 s  
Distancia de la base: 2150 metros

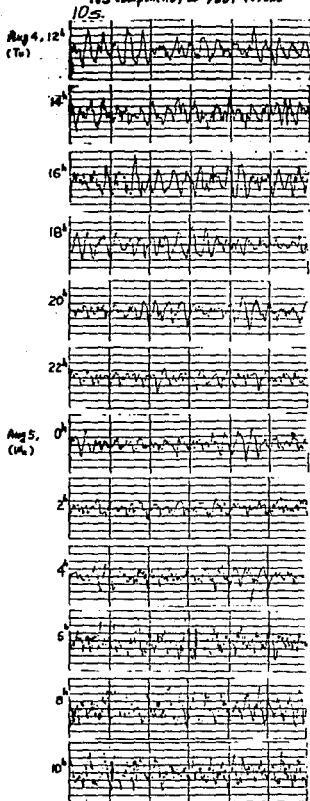


Observaciones de registros de microtemblores, realizados por Sep. durante 24 horas en la Zona de Lomas. Se puede observar que la señal de periodo corto desaparece durante la noche. La señal de periodo largo se conserva aún durante las horas de la madrugada.

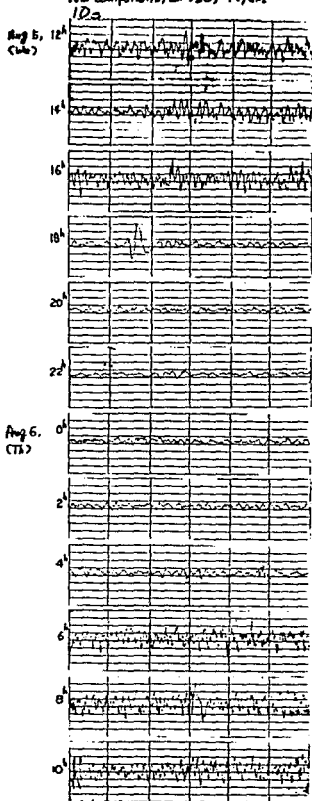
Figura 1



CENTRAL DE ABASTOS (DEICINA)  
NS Component, en V<sub>50</sub>, 10/cm



CENTRAL DE ABASTOS (FRIGORIFICO)  
NS Component, en V<sub>50</sub>, 10/cm



Observaciones de registros de microtemblores, realizados por Seo. en la Zona del Lago. Se observa que la señal de periodo largo desaparece durante la noche.

Figura 2

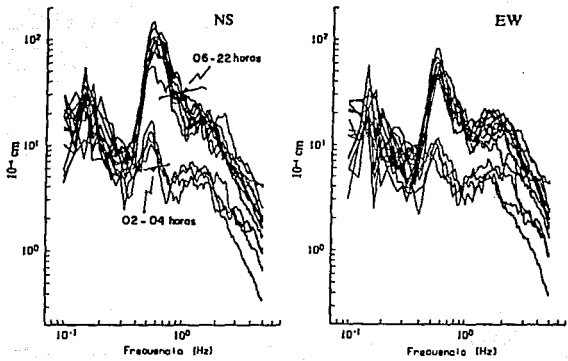


Figura 3

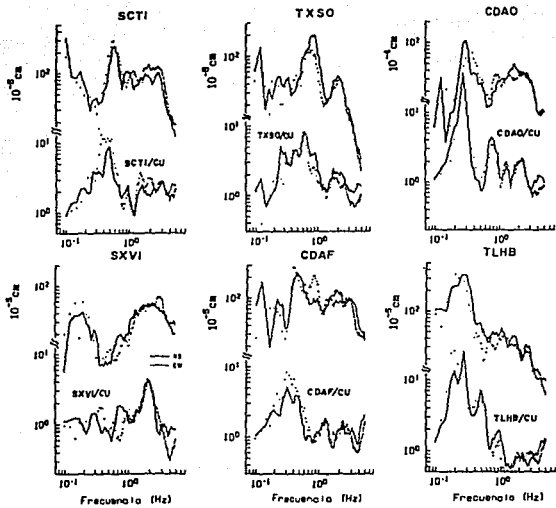
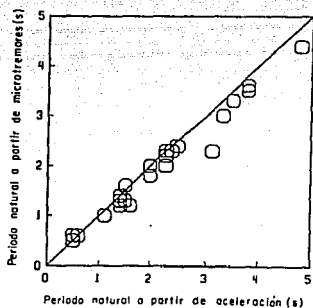


Figura 4



Periodo natural estimado a partir de espectros de microtemblores contra el periodo natural obtenido a partir de espectros de aceleración.

Figura 5

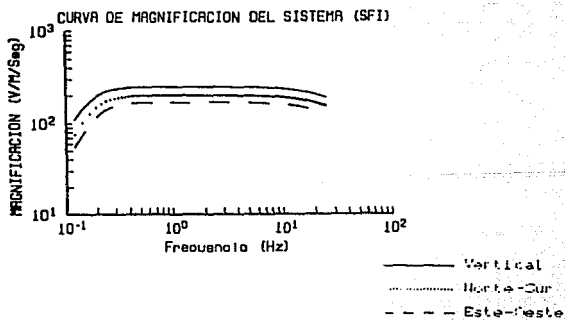
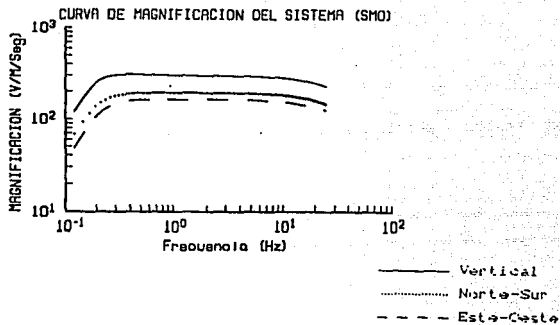
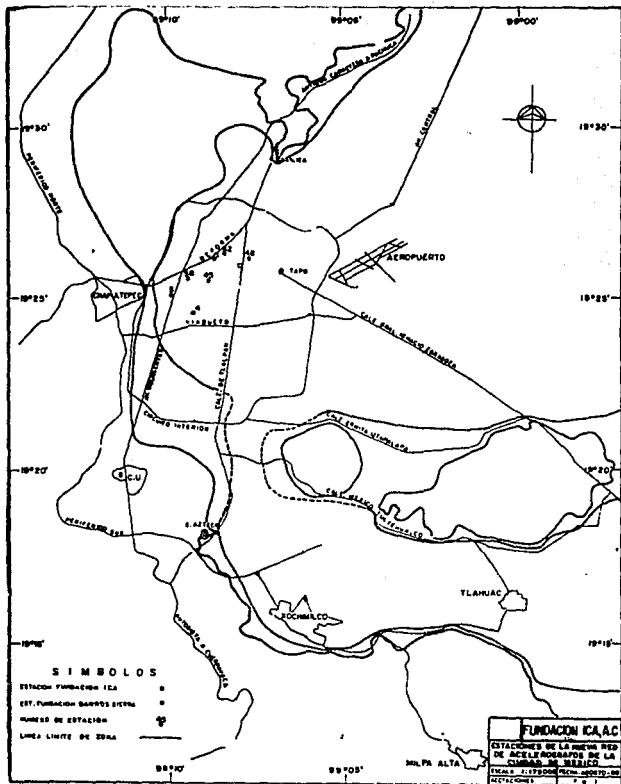
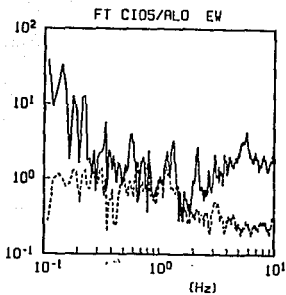
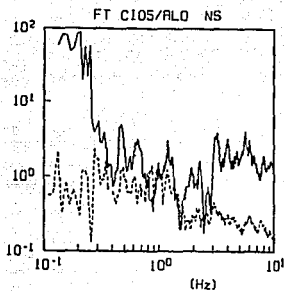


Figura 6



Estaciones acelerograficas seleccionadas, donde se realizaron registros de microtembleres.  
 Figura 7



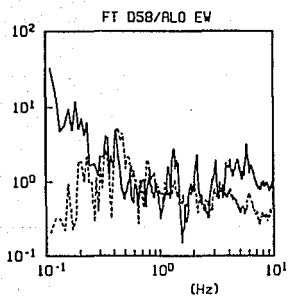
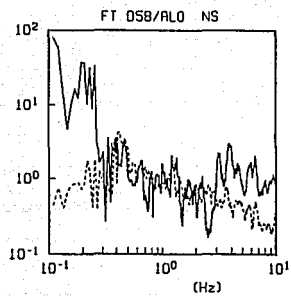


Estación C105

Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

Figura 9

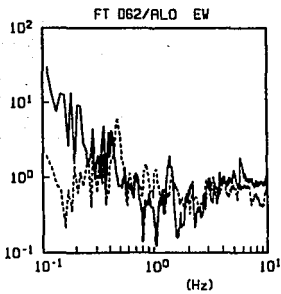
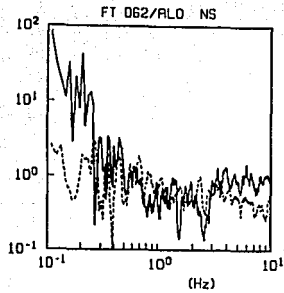




Estación 058

Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

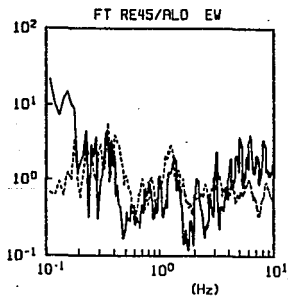
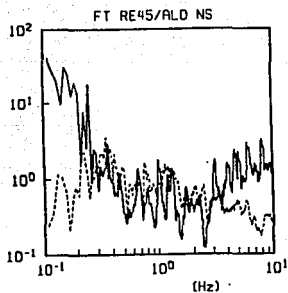
Figura 10



Estación 062

Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

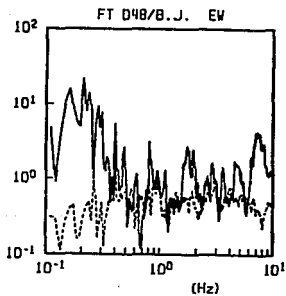
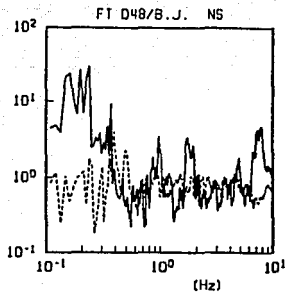
Figura 11



Estación PE45

Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

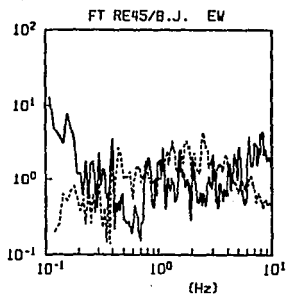
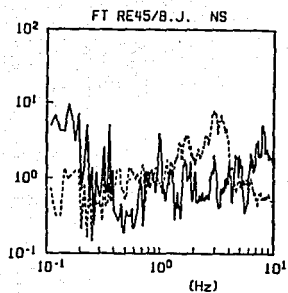
Figura 12



Estación D48

Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

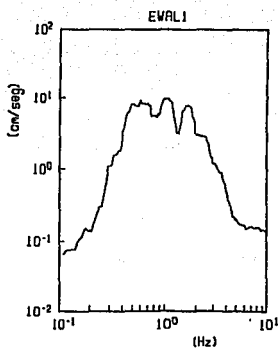
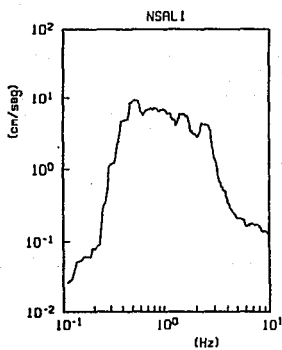
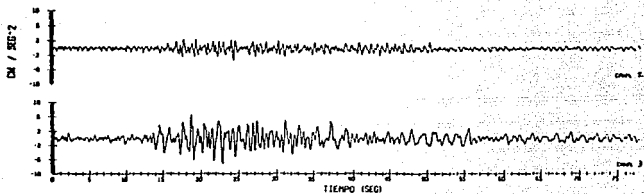
Figura 13



Estacion PE45

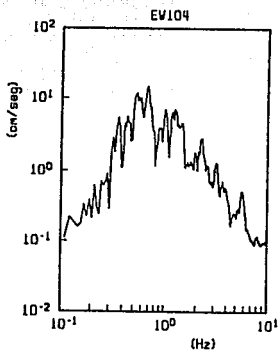
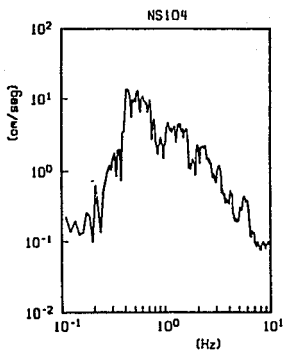
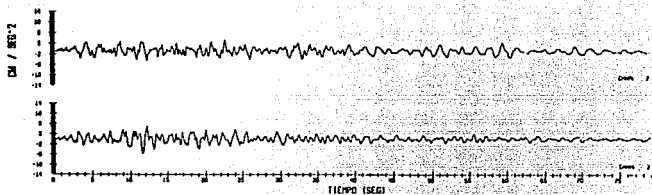
Comparación de FT obtenidas a partir de acelerogramas (línea  
continua) y de registros de microtemblores (línea punteada)

Figura 14



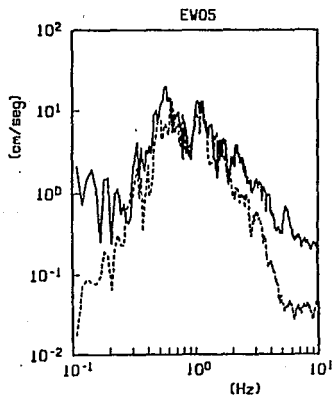
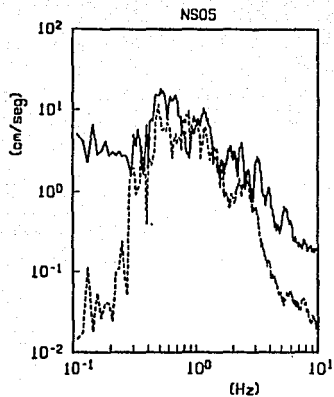
Registros de aceleración de la estación base (del 1er. grupo):  
Alameda y sus espectros de Fourier correspondientes.

Figura 15



Registros de aceleración de la estación base (del 2do. grupo) Multifamiliar Juárez y sus espectros de Fourier correspondientes.

Figura 16

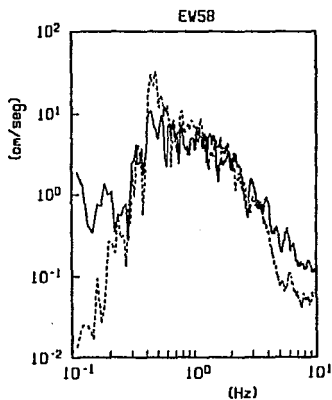
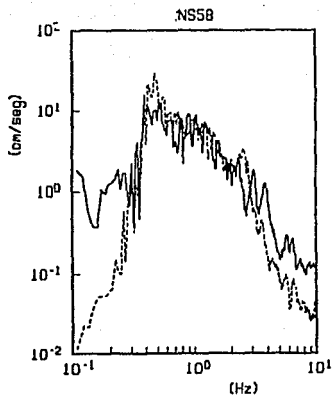


Estación CI05

Comparación entre el espectro de Fourier de aceleración real  
(línea continua) y el estimado (línea punteada)

Figura 17

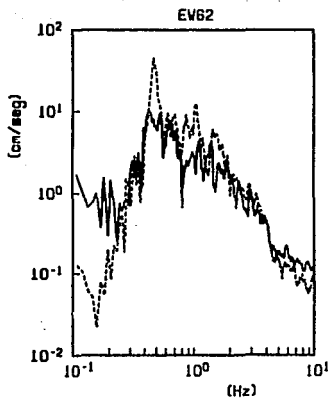
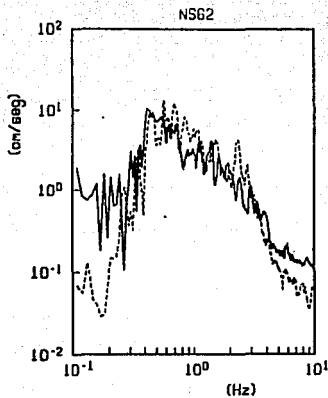




Estación E66

Comparación entre el espectro de Fourier de aceleración real  
(línea continua) y el estimado (línea punteada)

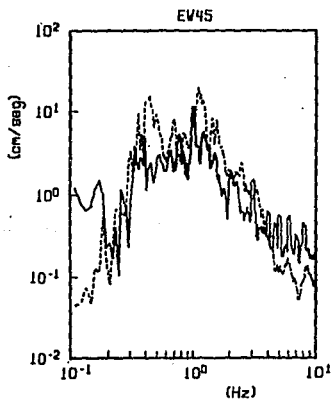
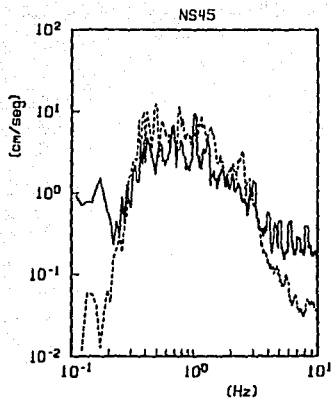
Figura 18



Estacion 062

Comparación entre el espectro de Fourier de aceleración real  
(línea continua) y el estimado (línea punteada)

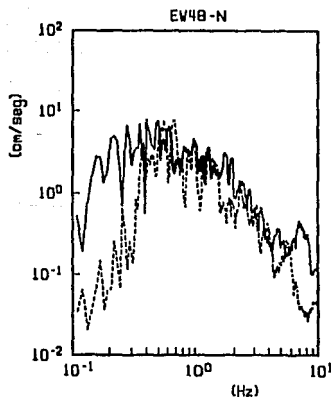
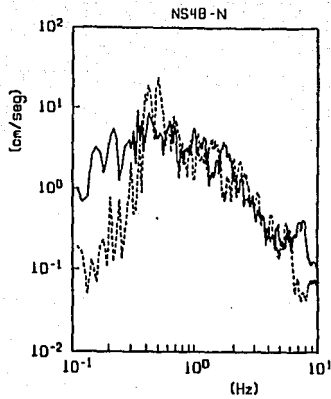
Figura 19



Estacion PE45

Comparacion entre el espectro de Fourier de aceleracion real  
(línea continua) y el estimado (línea punteada)

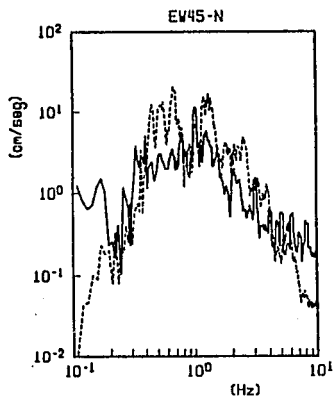
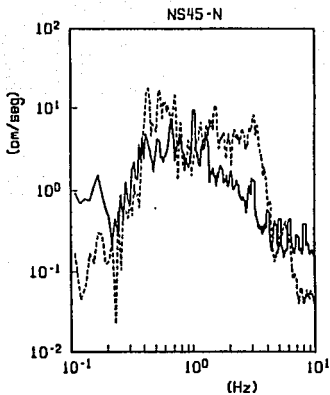
Figura 20



Estación D48

Comparación entre el espectro de Fourier de aceleración real (línea continua) y el estimado (línea punteada)

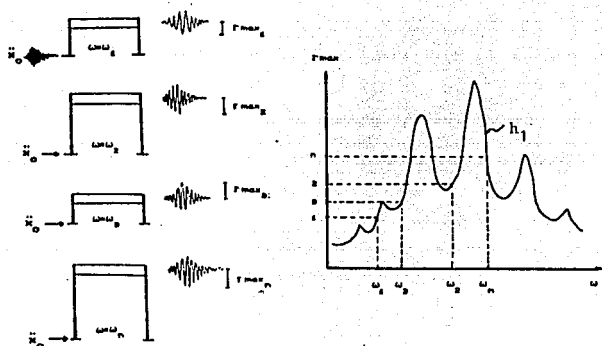
Figura 21



Estación EE45

Comparación entre el espectro de Fourier de aceleración real  
(línea continua) y el estimado (línea punteada)

Figura 22

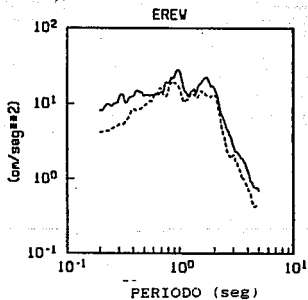
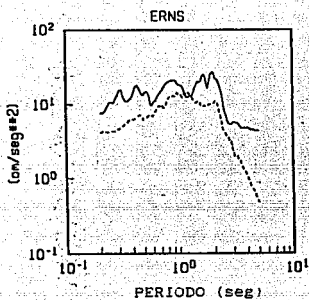


(Tomado de Reinoso et al., 1988)

Obtención esquemática de un espectro de respuesta para

$h = h_1$  para un  $\ddot{x}_0$  dado.

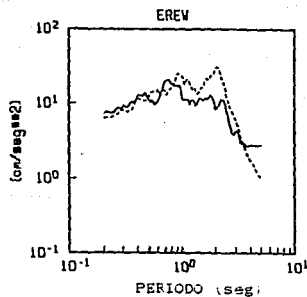
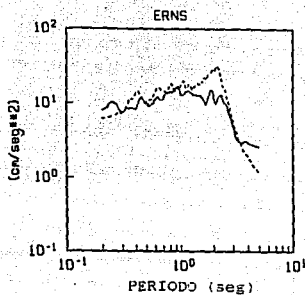
figura 23



Estación CIOS

Comparación entre el EP real (línea continua) y el EP estimado, obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

Figura 24

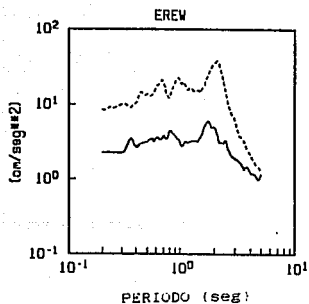
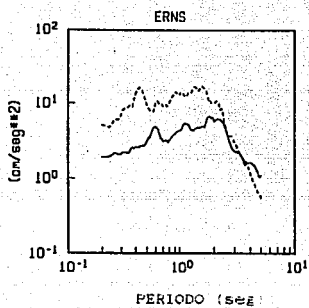


Estacion D58

Comparación entre el ER real (línea continua) y el ER estimado, obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

Figura 25

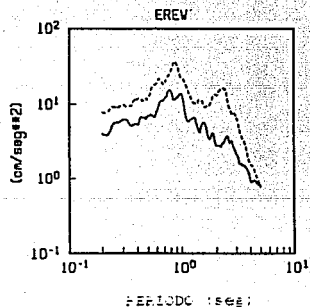
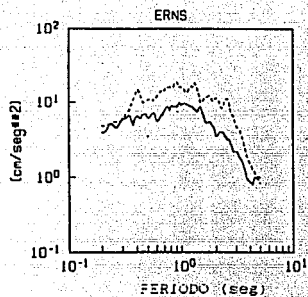




Estación 062

Comparación entre el ER real (línea continua) y el ER estimado, obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

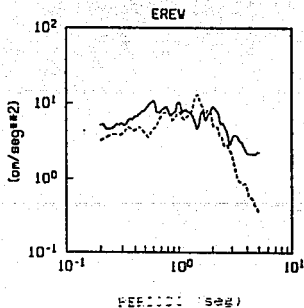
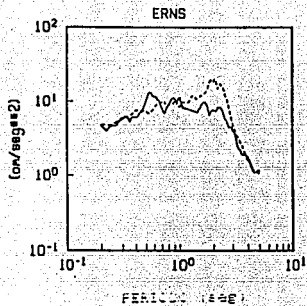
Figura 26



Estación PE45

Comparación entre el EP real (línea continua) y el EP estimado: obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

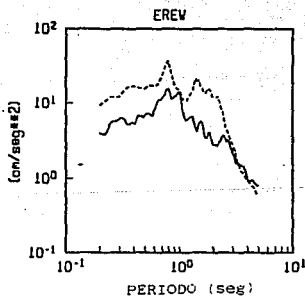
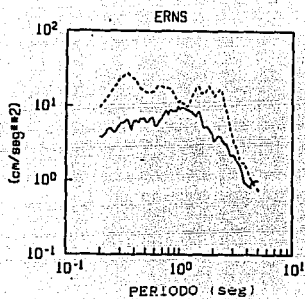
Figura 27



Estación D48

Comparación entre el ER real (línea continua) y el ER estimado, obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

Figura 28

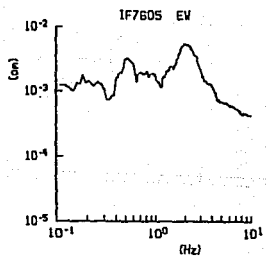
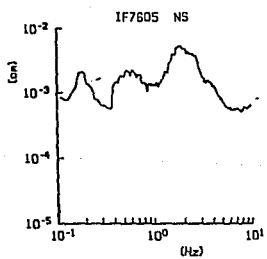
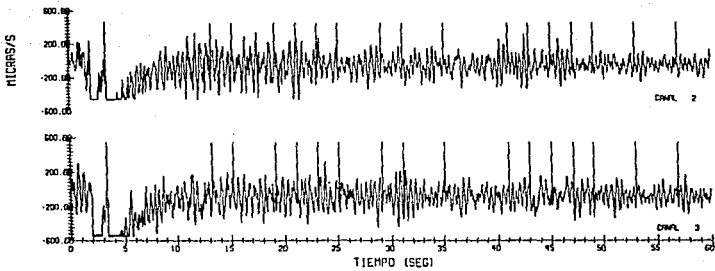


Estación RE45

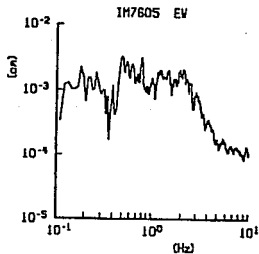
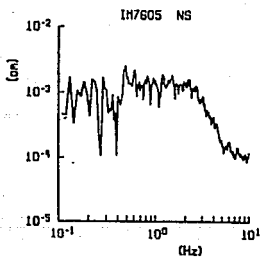
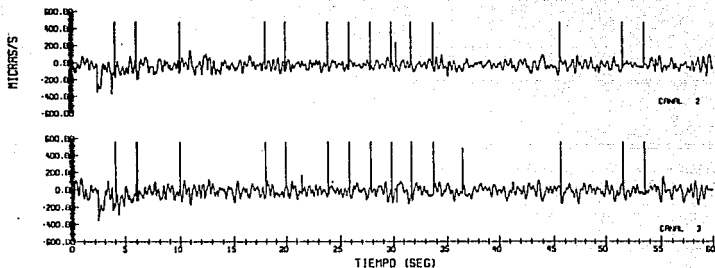
Comparación entre el ER real (línea continua) y el ER estimado, obteniendo primero el espectro de Fourier de aceleración complejo (línea punteada).

Figura 29

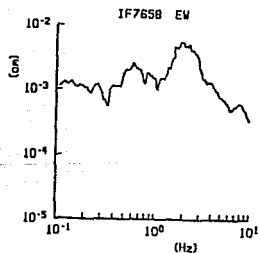
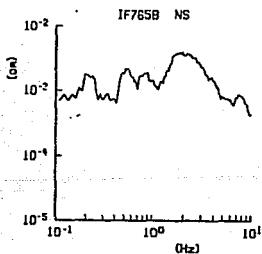
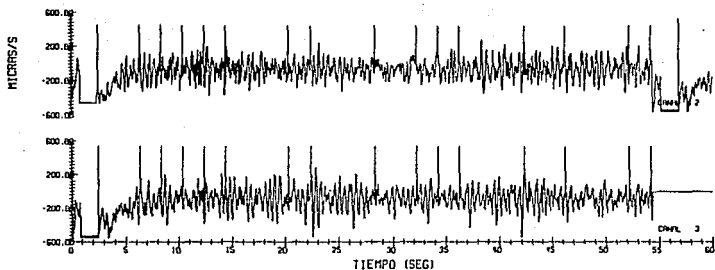
## APENDICE A



Estación ALO1  
 Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
 de Fourier correspondientes (estación base).  
 Figura A-1.1



Estación CIOS  
 Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
 de Fourier correspondientes (estación móvil).  
 Figura A-1.2

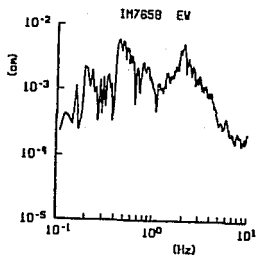
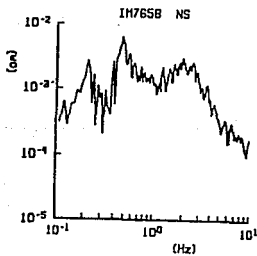
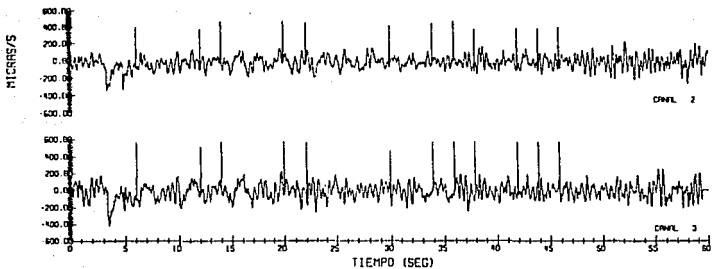


Estacion ALO1  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
de Fourier correspondientes (estacion base).

Figura A-2.1

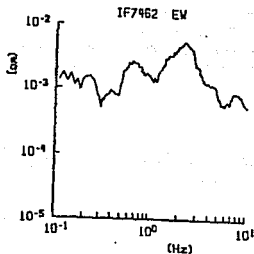
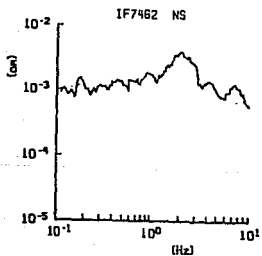
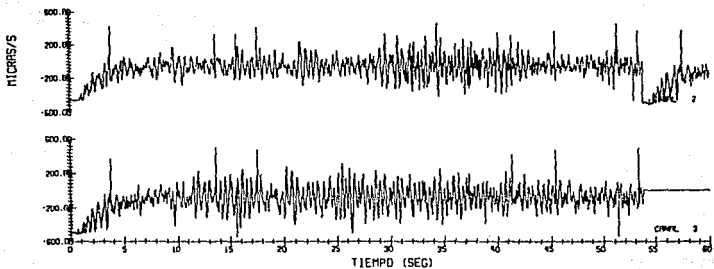
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA





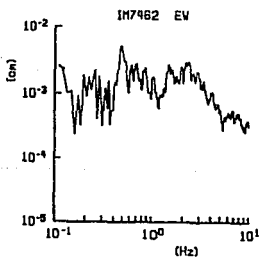
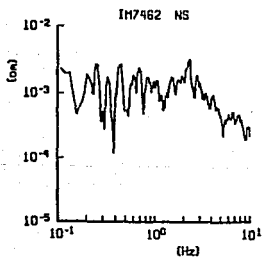
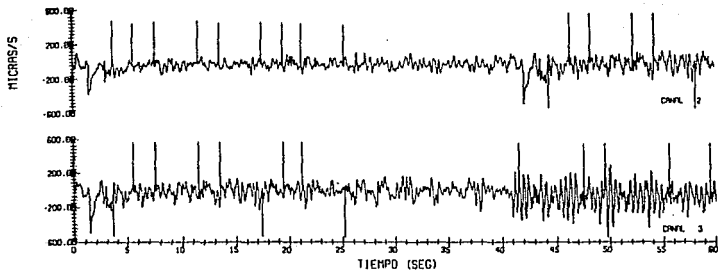
Estación D58  
 Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
 de Fourier correspondientes Estacion movi10.

Figura A-2.2



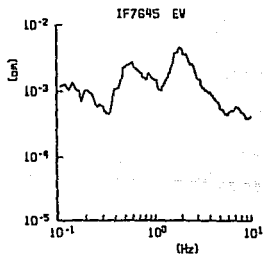
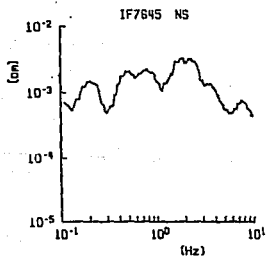
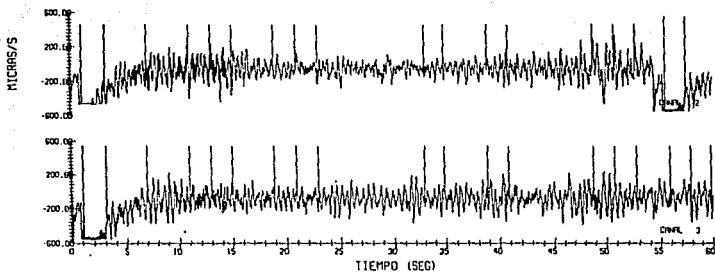
Estación ALO1  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
de Fourier correspondientes (estación base).

Figura A-3.1



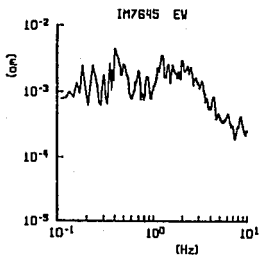
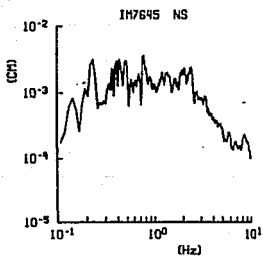
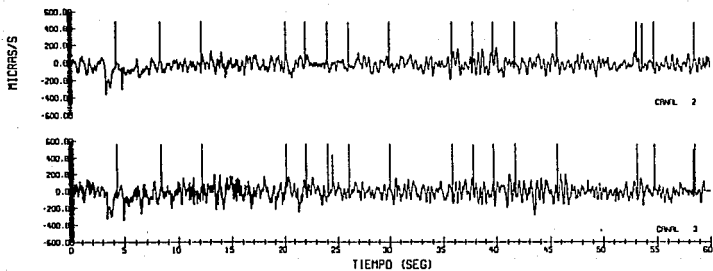
Estación 062  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
de Fourier correspondientes (estación móvil).

Figura A-3.2



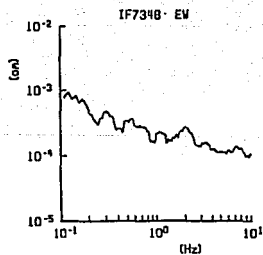
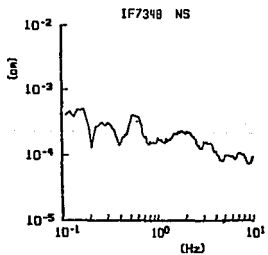
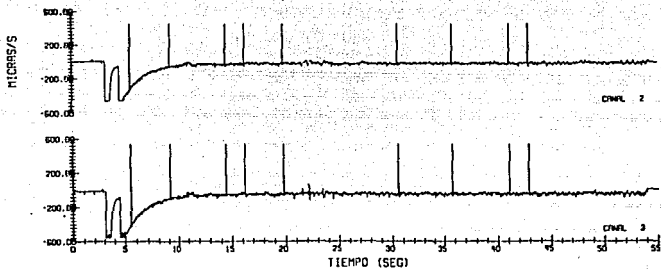
Estación AL01  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
de Fourier correspondientes (estación base).

Figura A-4.1



Estación PE45  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
de Fourier correspondientes (estación móvil).

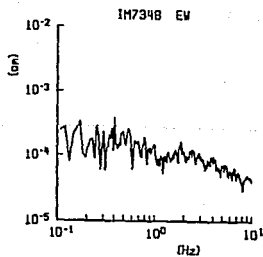
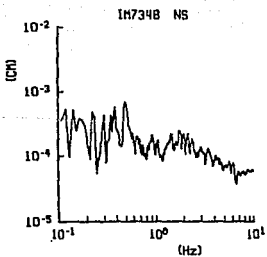
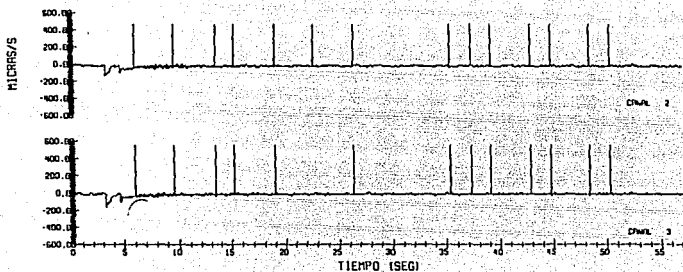
Figura A-4.2



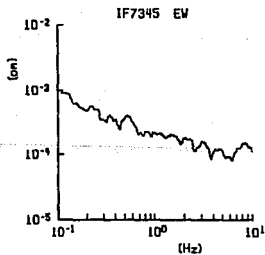
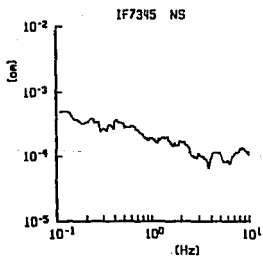
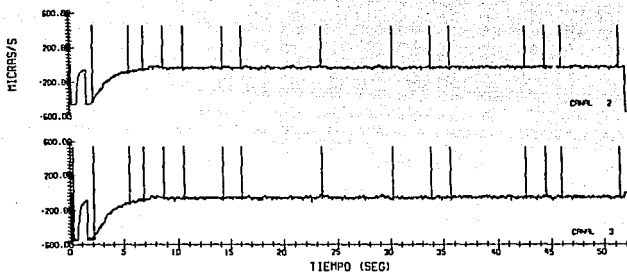
Estacion D04

Registros de velocidad de microtemblores v su espectros  
de Fourier correspondientes (estacion base).

Figura A-5.1



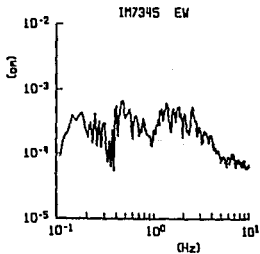
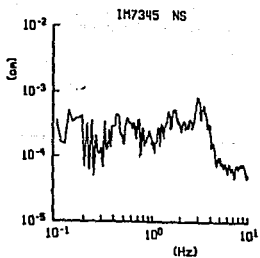
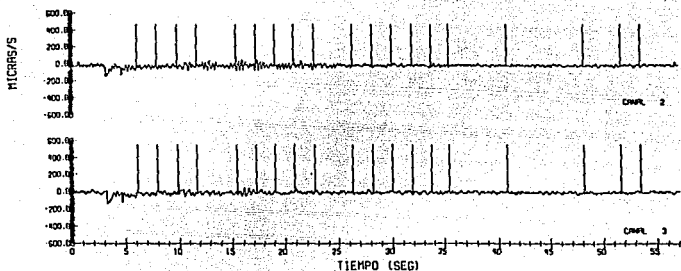
Estación D48  
 Registros de velocidad de microtemblores y su espectros  
 de Fourier correspondientes (estacion móvil).  
 Figura A-5.2



Estacion D04  
 Registros de velocidad de microtemblores y su espectro  
 de Fourier correspondientes (Estación base).

Figura A-8.1





Estación RE45  
Registros de velocidad de microtemblores y su espectro  
de Fourier correspondientes (estación móvil).

Figura A-B.2