

13
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"AMPLIFICACION RELATIVA DE LOS
MOVIMIENTOS EN ACAPULCO, GRO..
ANTE EVENTOS SISMICOS"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

ELISA ANDRADE OCADIZ



**TESIS CON
VALIA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1991.



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.

INDICE

I	INTRODUCCION	2
II	ESTACIONES ACELEROGRAFICAS EN LA CIUDAD DE ACAPULCO	6
II.1	Importancia de la red acelerográfica en Acapulco, Gro.	
II.2	Aspectos geológicos de la bahía.	
II.3	Localización de las estaciones acelerográficas.	
III	REGISTROS DE ACELERACION OBTENIDOS	28
III.1	Registro de eventos sísmicos.	
III.2	Procesamiento de los registros.	
IV	AMPLIFICACION RELATIVA OBSERVADA RESPECTO A SITIOS EN ROCA	48
IV.1	Aspectos generales.	
IV.2	Periodos dominantes de los sitios.	
IV.3	Funciones de transferencia.	
IV.4	Análisis de los resultados.	
V	ESPECTROS DE RESPUESTA	86
V.1	Registros incluidos.	
V.2	Análisis de los espectros de respuesta.	
VI	CONCLUSIONES	107
	REFERENCIAS	110
	ANEXO A	115
	ANEXO B	130

I. INTRODUCCION

La localización de nuestro país dentro de una zona con un elevado potencial sísmico, provocado por la interacción de la placa de Cocos con la de Norteamérica, ha sido preocupación y tema de estudio de numerosas investigaciones.

En las costas del Pacífico existen varios tramos de quietud, en los cuales no se ha registrado un gran sismo, siendo de mayor importancia los de Tehuantepec y Guerrero. A este último se le asigna una elevada probabilidad de tener un terremoto de magnitud igual o mayor a la del 19 de septiembre de 1985.

Debido a que el puerto de Acapulco se ubica en una región de alto riesgo sísmico y a la gran actividad turística que se tiene en él, se instalaron desde 1965 estaciones de registro de aceleración para estudiar las características de los sismos y el comportamiento de las estructuras ante las sollicitaciones de los mismos. A partir de 1985 la instrumentación se densificó realizando una mejor cobertura de los suelos existentes.

Actualmente se cuenta con nueve estaciones a lo largo de toda la bahía. Ocho de ellas son operadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la otra, por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

El objetivo principal del trabajo es determinar la amplificación relativa del movimiento, de los diversos tipos de suelo en los que se localizan las estaciones acelerográficas, con respecto al registrado en roca, así como conocer las características dinámicas en cada uno de ellos.

En el capítulo II se mencionan los aspectos geológicos del puerto de Acapulco y la localización de las estaciones acelerográficas definiendo, con base en la información proporcionada por perfiles cercanos, las principales propiedades de los sitios estudiados. Se enlistan también algunas características de estaciones, que aunque no son motivo de análisis de este trabajo sirven para comparar los resultados obtenidos.

Para fines ingenieriles, el registro de eventos sísmicos se hace empleando instrumentos que midan aceleraciones. Dicho registro puede ser en forma analógica o digital. Las particularidades de cada tipo de aparato, captura, transmisión, corrección y filtrado de la información se explica en el tercer capítulo. La obtención de los espectros de respuesta y de las funciones de transferencia es comentada también en este capítulo.

El análisis de las funciones de transferencia para conocer la amplificación relativa del movimiento y sus características en frecuencia es tratado en el capítulo cuatro. Dicho análisis se hizo para cada una de las estaciones con respecto a las ubicadas en terreno firme.

Los espectros de respuesta son analizados en el capítulo cinco. Para esto se utilizaron solamente aquellos eventos considerados importantes, ya sea por el nivel de las aceleraciones alcanzadas o por los daños que ocasionaron. Se eligieron de las tres componentes ortogonales, la que tuviera los mayores valores espectrales, comparándolos con los espectros de diseño del Reglamento de Construcciones vigente para el estado de Guerrero.

Finalmente, en el capítulo seis, se presentan las conclusiones del trabajo.

II. ESTACIONES ACELEROGRAFICAS EN LA CIUDAD DE ACAPULCO.

II.1 IMPORTANCIA DE LA RED ACELEROGRAFICA EN ACAPULCO, GRO.

México se localiza en una zona de intensa actividad sísmica, como se observa en el mapa de sismicidad (Fig. 2.1) elaborado con datos epicentrales calculados para un intervalo de tiempo relativamente corto. En él se aprecia una concentración de epicentros a lo largo de franjas que indican la división de la corteza terrestre en una serie de áreas o placas. Las principales placas tectónicas que conforman la totalidad de la superficie del planeta se muestran en la Fig. 2.2. Estas son consideradas rígidas y capaces de almacenar energía de deformación. Se mueven en relación a las placas adyacentes sobre la astenósfera¹.

Durante el movimiento se generan esfuerzos en el material rígido de la corteza con la consiguiente acumulación de energía. Cuando los esfuerzos rebasan la resistencia de la roca se produce una ruptura violenta y se libera energía en forma de ondas que se propagan en todas direcciones. La liberación no es continua sino episódica y es lo que denominamos sismo (Ref. 1).

¹ Parte del manto superior caracterizada por velocidades sísmicas bajas, la cual se supone parcialmente fundida, pudiendo fluir plásticamente.

El movimiento relativo de las placas puede ser de separación, colisión frontal, deslizamiento lateral paralelo a la falla que separa las placas o de subducción. Este último es el que se presenta en las costas del Pacífico, en donde la placa de Cocos se sumerge en la de Norteamérica, originando la profundidad oceánica conocida como "Trinchera de Acapulco". La velocidad de subducción de esta zona se estima aproximadamente de 7.5 cm/año (Ref. 2).

El fenómeno de subducción es el responsable de prácticamente la totalidad de la actividad sísmica de la parte suroeste del país.

Se denomina trazo de quietud o brecha sísmica al segmento de falla activa en el cual, para un lapso relativamente largo, no ha existido deslizamiento entre placas. Debido a la carencia de eventos sísmicos en esta zona, se espera en algún momento, la liberación de la energía que ha estado acumulándose durante todo este tiempo.

En nuestro país se tienen varias brechas como son: la de Jalisco, Michoacán, Ometepec, Tehuantepec y Guerrero siendo estas dos últimas las de mayor importancia (Fig. 2.3). A la brecha de Guerrero se le asigna una alta probabilidad de tener un sismo de magnitud comprendida entre 7.9 y 8.4 (Ref. 3) ya que durante los últimos 75 u 80 años no se han registrado eventos importantes. Debido a esto, se llevó a cabo el proyecto de instalar, operar y dar mantenimiento a una red acelerográfica a lo largo de todo el estado de Guerrero.

Las estaciones de registro acelerográfico (ERA) que constituyen la Red Acelerográfica de Guerrero (Ref. 4) se presentan en la tabla 2.1, en la cual se proporcionan los siguientes datos: nombre de la estación, clave asignada, localización geográfica, tipo de terreno en donde está ubicada e institución patrocinadora.

Adicionalmente se ha instalado entre Guerrero y el D.F. la red llamada Línea de Atenuación (Ref. 5), con la que se pretende conocer la forma en que se propagan las ondas sísmicas desde su origen hasta la Cd. de México, la amplificación que sufre el movimiento así como su repercusión en las construcciones. Las características de las ERA que forman parte de dicha Línea se muestran también en la tabla 2.1.

Por otra parte, Acapulco es uno de los puertos de mayor importancia para el país, debido entre otras cosas, a su intensa actividad turística, por lo que se ha registrado un crecimiento importante en la construcción de estructuras, que requieren para su diseño de disposiciones reglamentarias que tomen en consideración los factores anteriormente mencionados.

Específicamente para la bahía de Acapulco, se instalaron estaciones acelerográficas en los tipos de suelo más representativos de la ciudad. Se tienen ERA patrocinadas por la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF): ACAN y VNTA, y por el Instituto de Ingeniería de la UNAM: ACAC, ACAD, ACAP, ACAR, ACAS Y ACAZ.

A principios de 1990 se instaló una ERA en el predio ocupado por TELMEX la cual es operada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación, sin embargo, al momento de realizar este trabajo no se contaba aún con registros en ella.

II.2 ASPECTOS GEOLOGICOS DE LA BAHIA.

En la ciudad de Acapulco aflora uno de los tres bloques graníticos más importantes de la región, rodeado por rocas metamórficas del Complejo Xolapa fechado en 97 millones de años, con una extensión de aproximadamente 100 Km² (Ref. 2).

Se han realizado estudios morfológicos del bloque granítico los cuales proponen una división de 5 unidades con emplazamientos de sedimentos metamórficos. Se supone que el magma emergió a la corteza superior a través de una debilidad originada por una antigua cabalgadura en el complejo.

Tomando como base las secciones geológicas y datos geotécnicos suministrados (Ref. 6 y 7), tales como información de cono eléctrico, penetración estándar y descripción de muestras, se han logrado establecer nuevas secciones (Fig. 2.4) que permiten diferenciar los depósitos aluviales y lagunares que cubren el granito a lo largo de la costa de la bahía y predecir la distribución fuera de ella.

Otro de los aspectos regionales importantes a considerar es la existencia de cuatro fallas o lineamientos tectónicos (Fig. 2.5):

- a) Sistema El Aguacate dirigido al NW.
- b) Sistema El Veladero dirigido al NE.
- c) Sistema El Limón dirigido al NNW.
- d) Sistema La Venta dirigido al NNE.

Los sistemas La Venta y El Limón son los más antiguos pues afectan rocas metamórficas no así al granito. El sistema El Veladero afecta a rocas metamórficas, al granito y desplaza al sistema La Venta. Este a su vez es emplazado por el sistema El Aguacate por lo que se considera que es el más joven.

De manera general, se han definido cinco zonas en la región, en relación al origen de los suelos:

Bahía de Acapulco. Se identifican 3 valles en los cuales los suelos están constituidos por depósitos de rellenos aluviales formados por la degradación del granito arrastrado hacia las zonas bajas de la bahía, con intercalaciones de turba y arcilla orgánica compresible, originadas en los últimos milenios por transgresiones y regresiones del nivel del mar.

Zona de barras. Se localizan entre las lagunas de Coyuca, Tres Palos y el mar. Los suelos de esta zona fueron formados por transporte eólico y arrastre de las olas de mar.

Zona de deyección del río La Sabana. En esta zona los suelos, arenas finas y medias, se formaron por depósito y arrastre del material en las márgenes del río. Se extiende a los poblados de La Venta, Tres Palos y Llano Largo.

Zona de roca alterada. Localizada al pie de los taludes naturales. En esta zona se forman capas poco profundas de suelos granulares con fragmentos de granito alterado de gran tamaño.

Zona de topografía escarpada. Se tienen afloramientos de granito y rocas metamórficas, tales como las penínsulas de Caleta y Puerto Marqués, la Quebrada y Pie de la Cuesta, aunque pueden encontrarse suelos someros de espesor variable debidos a la degradación del granito.

En relación a las propiedades de los suelos, podemos hacer mención de lo siguiente (Ref. 8):

1) PROPIEDADES INDICE.

La mayor parte de los suelos de la bahía son arenas limosas con contenido variable de arcilla a excepción de los de la sub-bahía de Icacos y la península de Caleta en las que se tienen arcillas orgánicas y turbas compresibles.

El contenido natural de humedad para los suelos arenosos varía de 5 a 40 por ciento y la relación de vacíos entre 0.5 para aquellos con bajos porcentajes de finos, a aproximadamente 1.0. En los suelos arcillosos orgánicos estos valores son de 250 y 10 por ciento respectivamente.

Para los suelos granulares con diferente contenido de finos, los índices de plasticidad varían entre 10 y 60 por ciento . En las turbas lagunares son mayores de 200 por ciento.

11) PROPIEDADES MECANICAS.

La información con que se cuenta hasta el momento es escasa, pues la mayor parte de los estudios geotécnicos son sondeos de penetración estándar, lo cual sólo nos da en forma aproximada los rangos de valores de los parámetros, de los cuales se tiene que: la resistencia a la compresión no confinada para suelos areno-limosos varía

entre 14 y 18.4 t/m², el ángulo de fricción entre 26 y 42°; para arcillas lagunares la resistencia oscila entre 7.6 y 12.4 t/m².

En cuanto a las propiedades dinámicas existe una gran carencia de datos, pues sólo en casos muy específicos dentro de la depresión granítica se cuenta con ellos. Aún cuando se han desarrollado expresiones para caracterizar a los suelos a partir de estos datos y así establecer una microzonificación sísmica, el avance logrado hasta el momento es pequeño.

II.3 LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES ACELEROGRAFICAS.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM instaló en 1965 la primera ERA en el cerro de La Inalámbrica; cinco años después se colocó otro aparato en el predio de la entonces Secretaría de Obras Públicas (Ref. 9). Fue hasta 1985 que la instrumentación se densificó y actualmente se cuenta con 8 estaciones a lo largo de toda la bahía. En la tabla 2.2 se incluyen y proporcionan algunos datos como el nombre de la estación, clave asignada a cada una de ellas, localización geográfica y algunas otras características que se comentarán en capítulos posteriores.

En este estudio se utilizó la información obtenida de estas ERA, cuya localización se muestra en la Fig. 2.6.

Para definir las características geológicas de los sitios estudiados, se utilizó la información proporcionada por los perfiles con los que se cuenta dentro de la bahía (Ref. 2), así como los sondeos próximos a las ERA. A continuación se da la ubicación de cada una de ellas:

ACAC. Acapulco Centro Cultural. Se localiza en la Av. Costera Miguel Alemán cerca de la playa de Icacos, en el Centro Cultural Guerrerense. Se cuenta con una sección geológica próxima a este sitio. Es aquí donde se tienen los mayores espesores de relleno. En la Fig. 2.7 se muestra el perfil correspondiente a dicha sección, en la cual se ve la existencia de depósitos aluviales con espesores entre 6 y 20 m; la capa superior es una secuencia de depósitos lagunares con grava, arenas y limos arcillosos alcanzando espesores de 20 a 23 m. En esta sección el granito se encuentra en algunos puntos hasta los 40 m.

ACAD. Acapulco Diana. Esta estación se localiza en la Escuela Secundaria Federal No.1 cerca de la Diana sobre arenas, arcillas y limos con espesores entre 15 y 20 m. En la parte oriental de la sección aflora el granito alterado que alcanza profundidades hacia el poniente de 16 a 24 m. Bajo esta capa se encuentra el granito sano. Para este sitio se cuenta con la información de un perfil geológico cercano. Se aprecia en la Fig. 2.8 un relleno lacustre que se acuña en los extremos de la sección.

ACAN. Acapulco La Salle. Localizada en el colegio del mismo nombre sobre roca de granito alcalino con feldespatos. Por ser la ERA más reciente, instalada en mayo de 1989 (Ref. 10), no se cuenta con información más precisa.

ACAP. Acapulco Pellandini. Se ubica en el cerro de La Inalámbrica a 60 m sobre el nivel del mar, desplantada sobre granito alterado. En esta ERA se tienen actualmente instalados dos aparatos: uno analógico y el otro digital.

ACAR. Acapulco Renacimiento. Localizada en Cd. Renacimiento en el Centro de Estudios Tecnológicos y Sociales. En este sitio se tienen sedimentos fluvio-aluviales del río La Sabana depositados sobre granito alterado.

ACAS. Acapulco SOP. Se sitúa en el predio ocupado por la Dirección de Policía y Tránsito. La fig. 2.9 muestra el perfil geológico de esta zona. En él se observa un depósito de arena arcillosa con profundidades entre 4 y 10 m sobre granito alterado con espesor de aproximadamente 8 m. Este cubre al granito sano el cual varía su profundidad entre 12 y 16 m.

ACAZ. Acapulco La Zanja. Se encuentra localizada en el ejido La Zanja. El perfil estratigráfico de esta zona es de depósitos de barra consistente en una sección de arenas finas a muy finas con limo o material arcilloso. Es muy poco lo que se conoce de las zonas de barra en la región, por lo que la profundidad solamente se estima mayor de 20 m.

VNTA. La Venta. Esta estación se localiza en el poblado de La Venta fuera del bloque granítico de la bahía, sobre rocas metamórficas, aproximadamente a 2 Km de Cd. Renacimiento.

NOMBRE DE ERA	CLAVE	LOCALIZACION		TIPO DE TERRENO	OPERA
		Lat(N)	Long(W)		
Acapulco La Salle	ACAN	16.866	99.863	Granito alterado	NSF ¹
Arteaga	ARTG	18.356	102.293	Granodiorita	NSF
Atoyac	ATYC	17.211	100.431	Granodiorita	NSF
Caleta de Campos	CALE	18.073	102.755	Brecha volcánica	NSF
Cañon del Zopilote*	CAZO	17.801	99.453	Roca	IDEI ²
Cayaco	CAYA	17.045	100.266	Grava arenosa suelta	NSF
Cerro de Piedra	CPDR	16.769	99.633	Gneiss	NSF
Copala	COPL	16.605	98.974	Roca	NSF
Coyuca	COYC	16.968	100.084	Gneiss	NSF
El Balcón	BALC	18.011	101.216	Andesita	NSF
El Paraíso	PARS	17.344	100.214	Diorita	NSF
El Suchil	SUCH	17.226	100.642	Granodiorita	NSF
Filo de Caballo	FICA	17.652	99.842	Andesita	IDEI
La Comunidad	COMD	18.124	100.507	Andesita	NSF
La Llave	LLAV	17.346	100.792	Granito	NSF
La Unión	UNIO	17.982	101.805	Brecha volcánica	NSF
La Venta	VNTA	16.923	99.816	Gneiss-granítico	NSF
Las Mesas	MSAS	17.007	99.456	Gneiss	NSF
Las Vigas	VIGA	16.757	99.236	Cuarzo monzonita	NSF
Los Magueyes	MAGY	17.377	100.577	Andesita	IDEI
Ocotillo	OCLL	17.038	99.875	Roca	NSF
Ocotito	OCTT	17.250	99.511	Monzonita	NSF
Papanao	PAPN	17.328	101.040	Diques Leucocráticos	NSF

¹ Fundación Nacional para la Ciencia, USA.

² Instituto de Ingeniería, UNAM.

* Estaciones que forman parte de la Línea de Atenuación.

Tabla 2.1 Características de las estaciones de registro
acelerográfico de la Red de Guerrero.

NOMBRE DE ERA	CLAVE	LOCALIZACION		TIPO DE TERRENO	OPERA
		Lat(N)	Long(W)		
Petatlán	PETA	17.542	101.271	Cuarzo diorita	NSF ¹
Petaquillas *	PTQL	17.466	99.453	Roca	IDEI ²
Platanillo *	IGUP	18.387	99.502	Roca	IDEI
San Luis	SLUI	17.272	100.891	Roca	NSF
San Marcos	SMR2	16.803	99.395	Suelo aluvial	IDEI
Teacalco	TEAC	18.618	99.453	Toba	NSF
Tonalapa	TNLP	18.098	99.559	Roca	NSF
Villita	VILE	18.016	102.205	Tonalita	NSF
Xaltiangulis	XALT	17.095	99.720	Tonalita	NSF
Zihuatanejo	AZIH	17.603	101.455	Tonalita	NSF

¹ Fundación Nacional para la Ciencia, USA.

² Instituto de Ingeniería, UNAM.

* Estaciones que forman parte de la Línea de Atenuación.

Tabla 2.1 Características de las estaciones de registro
acelerográfico de la Red de Guerrero (Cont.).

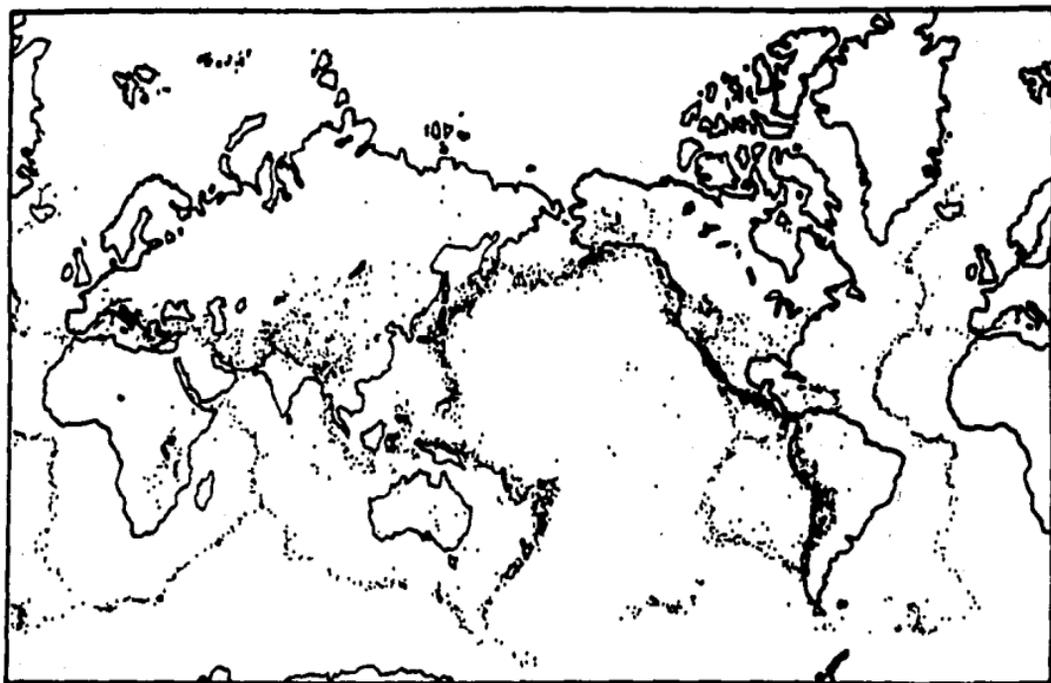
NOMBRE DE ERA	CLAVE	LOCALIZACION		TIPO DE TERRENO	fo	OPERA
		Lat(N)	Long(W)			
Acapulco Centro Cultural	ACAC	16.848	99.851	Arena limo arcillosa	2.0	IDEI ¹
Acapulco Diana	ACAD	16.867	99.880	Limo arenoso	3.5	IDEI
Acapulco La Salle	ACAN	16.866	99.863	Granito alterado	6.0	NSF ²
Acapulco Pellandini	ACAP	16.840	99.910	Roca	11.0	IDEI
Acapulco Renacimiento	ACAR	16.899	99.827	Suelo aluvial	3.5	IDEI
Acapulco SOP	ACAS	16.858	99.894	Suelo aluvial	7.0	IDEI
Acapulco La Zanja	ACAZ	16.787	99.789	Depósito de barra	1.0	IDEI
La Venta	VNTA	16.923	99.816	Roca	8.0	NSF

fo = frecuencia del sitio

¹ Instituto de Ingeniería, UNAM.

² Fundación Nacional para la Ciencia, USA.

Tabla 2.2 Características de las estaciones de registro
acelerográfico en Acapulco, Gro.



• Epicentros

Fig. 2.1 Localización mundial de epicentros (Ref. 1)



← Desplazamiento relativo de las placas

▲▲▲ Zona de subducción

Fig. 2.2 Placas Tectónicas (Ref. 1)

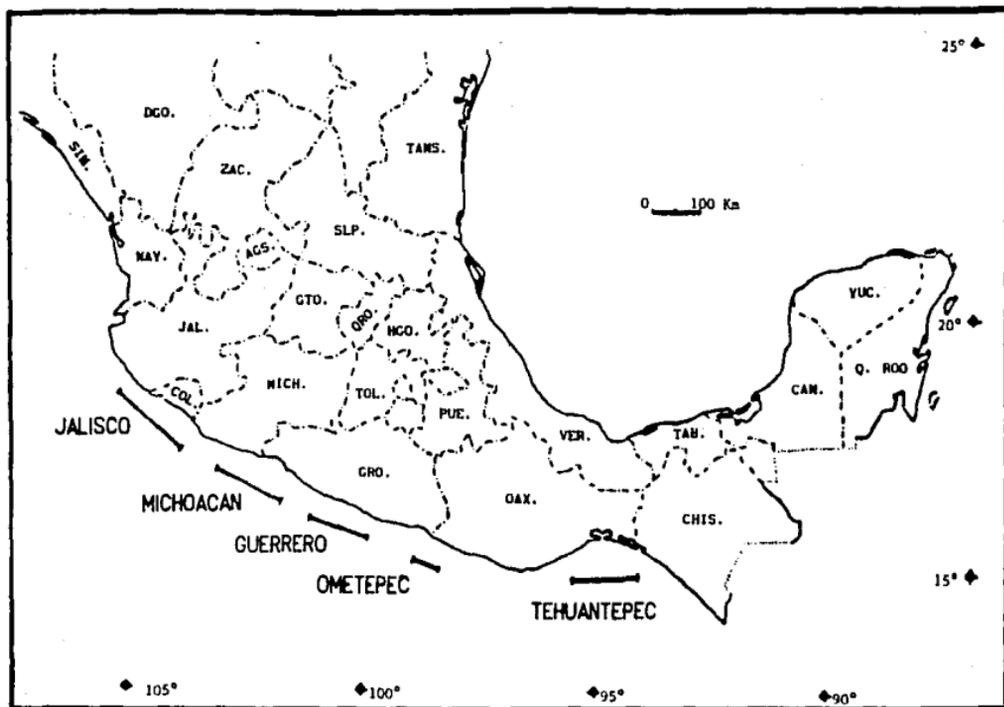


Fig. 2.3 Localización de las brechas sísmicas (Ref. 3)

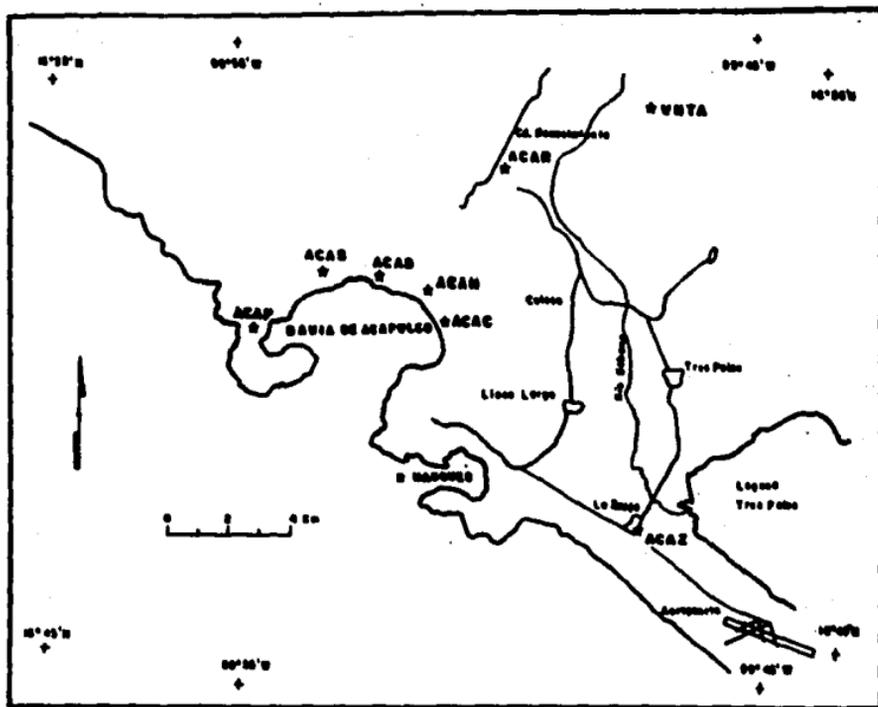


Fig. 2.6 Localización de las estaciones de registro acelerográfico

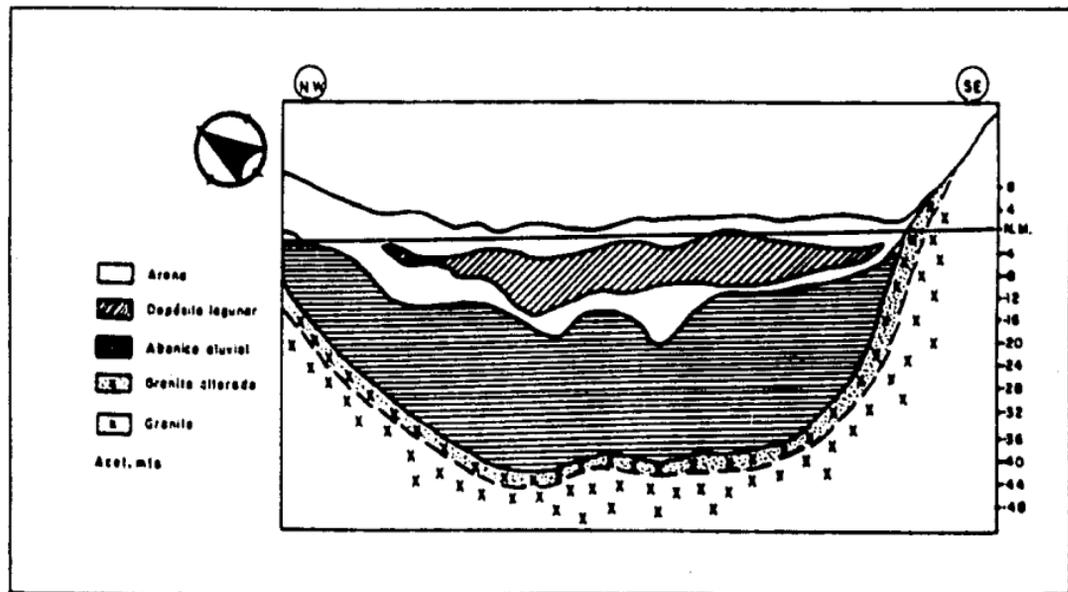


Fig. 2.7 Perfil geológico en la estación ACAC (Ref. 2)

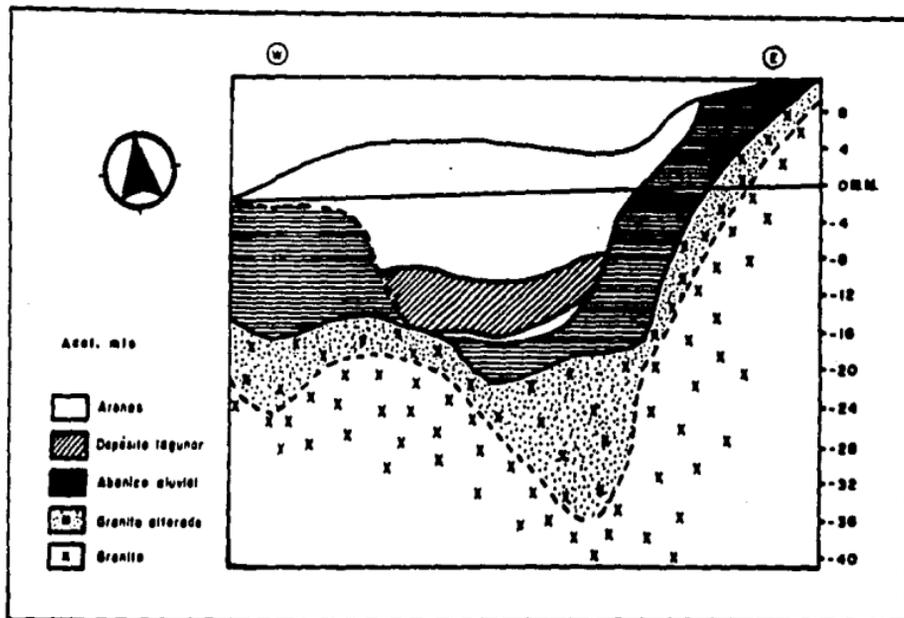


Fig. 2.8 Perfil geológico en la estación ACAD (Ref. 2)

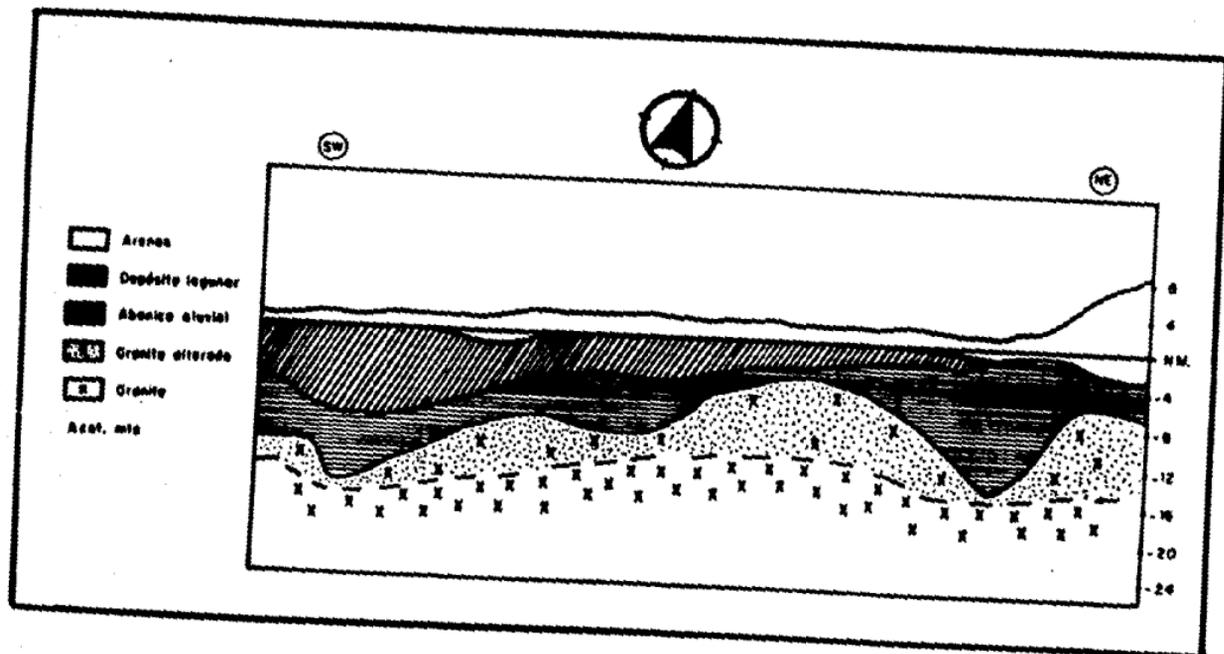


Fig. 2.9 Perfil geológico en la estación ACAS (Ref. 2)

III. REGISTROS DE ACELERACION OBTENIDOS.

III.1 REGISTRO DE EVENTOS SISMICOS.

En el capítulo anterior se hizo mención de la gran actividad sísmica de nuestro país y de las estaciones acelerográficas instaladas en la región analizada en este trabajo, es por ello que el Instituto de Ingeniería cuenta hasta la fecha con un considerable número de registros de eventos ocurridos desde hace varios años.

Particularmente para la bahía de Acapulco se cuenta con registros desde 1965. En la tabla 3.1 se muestran las características de los sismos de los que se dispone de información tales como: fecha, hora, coordenadas geográficas del epicentro, magnitud y profundidad.

Para el estudio de fenómenos sísmicos ha sido necesario construir aparatos que registren los movimientos del terreno con una precisión que permita obtener información cuantitativa sobre las características de éstos. Los instrumentos que actualmente se usan para este fin pueden clasificarse en dos grupos: sismógrafos y acelerógrafos. Los primeros, que registran desplazamientos en función del tiempo, son de gran sensibilidad y se emplean para estudiar, entre otras cosas, la propagación de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra y en las capas superficiales; para determinar la dirección, la distancia y la profundidad a la que se ha originado el movimiento y para el estudio de temblores lejanos.

El acelerograma es un registro de la historia de las aceleraciones que provoca un sismo en una dirección determinada. Sirve

para caracterizar el movimiento que se produce en el sitio al ocurrir un temblor.

Entre las aplicaciones más importantes de los acelerogramas se pueden señalar: observaciones de campo del comportamiento de estructuras durante sismos estableciendo una relación entre causa y efecto; pruebas de modelos, prototipos o componentes con excitación sísmica; simulación de temblores; estudios de sismicidad y riesgo sísmico; relaciones de atenuación; análisis dinámico de toda clase de estructuras; estudio de mecanismos focales y los cambios de esfuerzos que se producen en el terreno.

Las características de los acelerógrafos actuales son, en términos generales, las que han prevalecido entre los diversos aparatos que se utilizaron en un principio para el registro de movimientos fuertes. A diferencia de los sismógrafos que registran continuamente, los acelerógrafos cuentan con un arrancador que los pone en marcha al rebasarse cierto nivel de aceleración en el suelo previamente establecido.

Existen dos formas de registro acelerográfico de los eventos sísmicos: analógica y digital.

Los acelerógrafos analógicos emplean película fotográfica para registrar las trazas de tres componentes de aceleración ortogonales entre sí, generalmente una vertical, y dos trazas de tiempo base; tienen una

frecuencia natural del orden de 30 Hz; la sensibilidad típica del arrancador es de 5 gals, pudiendo ajustarse según las necesidades; amortiguamiento de 60 por ciento del crítico e intervalo de trabajo de ± 1 g. Utilizan como alimentación baterías de 12 V con cargador a la línea.

Los acelerógrafos digitales tienen diferentes medios de registro como son: cinta magnética (DCA-310, DCA-333, DSA-1, PDR-1, AD11) y memoria de estado sólido (DCA-333R, IDS-3602, SSA-1, SMAC-MD). El AD11 es un prototipo fabricado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y actualmente se encuentra en producción.

En la estación acelerográfica ACAS se tiene instalado un aparato analógico del tipo SMA-1; en ACAP se cuenta con un analógico del mismo tipo y un DCA-333 digital.

En las demás ERA son digitales del tipo DCA-333 y DSA-1 los cuales tienen una velocidad de captura de 100 y 200 muestras por segundo por canal, respectivamente. Cuentan con una memoria de pre-evento de 4 segundos, que evita perder el principio de la señal al actuar el arrancador interno, y una de post-evento de 15 segundos.

Estos instrumentos registran automáticamente al rebasarse cierto nivel de aceleración denominado umbral de disparo, el cual puede ser ajustado según las características del sitio. Los sensores que utiliza son servoacelerómetros, con amortiguamiento del orden de 0.7 respecto al crítico y frecuencia natural de 30 Hz. Además tienen reloj interno de

alta precisión, alimentación por medio de baterías automotrices en flotación y rango de trabajo de ± 1 g.

En la tabla 3.2 se enlistan las características de registro en cada una de las estaciones tales como: fecha del evento, clave de la estación donde se registró, aceleración máxima de cualquiera de las tres componentes, distancia entre el epicentro y la estación, clave del aparato registrador.

III.2 PROCESAMIENTO DE LOS REGISTROS.

a) Registros analógicos. Ya que se tiene registrado el evento en la película es necesario amplificar tres veces su tamaño original, para posteriormente convertirlo a una función discreta en el tiempo.

Esta conversión se hace empleando aparatos semiautomáticos y cuyo procedimiento, en forma general, es el siguiente:

La amplificación de la película se coloca en una mesa digitizadora que consta de una base de acrílico opaco y una lente con retícula mediante la cual se van tomando las muestras a lo largo de toda la señal. Dichas muestras son almacenadas en una microcomputadora.

b) Registros digitales. En este caso el evento sísmico es registrado en cinta magnética (cassette), empleando conversores análogo-digitales automáticos antes de la grabación en el cassette (Ref. 11).

Después de haber capturado, almacenado y corregido los datos, se transmiten a la computadora PRIME-550 para posteriormente filtrarlos y obtener una señal corregida y representativa del evento real.

Para todo el proceso se cuenta con un paquete de programas llamado TERRE, desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. El sistema fue diseñado en forma estructurada y programado modularmente en FORTRAN y FORTRAN-77, empleando las ventajas que proporciona el equipo PRIME-550 para aumentar la velocidad de ejecución (Ref. 12).

Corrección de línea base y filtrado.

El manejo de la información analógica y su posterior conversión a datos discretos introduce perturbaciones a la señal original reduciendo su calidad. Para su depuración se emplean diversos procedimientos que se basan principalmente en filtros y/o ajustes por mínimos cuadrados.

El método que se aplicó es el desarrollado en el Instituto Tecnológico de California, CALTECH (Ref. 13), el cual realiza el filtrado de altas y bajas frecuencias producto de la contaminación de la señal, ya sea por ruido sísmico o por el ruido propio de los instrumentos (Ref. 14).

La selección y definición de los parámetros de filtrado depende de la configuración de los espectros de Fourier de amplitud de velocidad y aceleración (anexo A). El proceso que se sigue es iterativo: se realiza un primer intento de filtrado con los datos sin corregir; los siguientes se apoyarán en los resultados anteriores repitiendo la secuencia hasta encontrar el filtro óptimo.

Cálculo de espectros de respuesta.

Cuando la señal ha sido filtrada, se calculan los espectros de respuesta empleando el método Beta de Newmark (anexo B). Se obtienen para 98 periodos comprendidos entre 0.04 y 16 segundos y para amortiguamientos de 0, 2, 5, 10 y 20 por ciento del crítico, pudiendo ser calculados para periodos y amortiguamientos específicos.

Adicionalmente se calculan los espectros de velocidad y desplazamiento relativos así como el de pseudovelocidad relativa (Fig. 3.1). Este último permite obtener directamente las aceleraciones y desplazamientos espectrales. En la abscisa se grafica el periodo natural

y en la ordenada la amplitud del espectro de velocidad, ambos ejes siguen una escala logarítmica. Tanto el desplazamiento como la aceleración se leen en ejes inclinados 45° y 135° respecto a la abscisa (Fig. 3.2).

Funciones de transferencia.

La Función de Transferencia (FT) consiste en obtener el cociente del módulo de los espectros de Fourier de aceleración de la señal registrada en dos ERA.

En este trabajo se utilizaron los espectros de Fourier de aceleración corregidos los cuales se suavizaron, empleando para ello, promedios móviles de $1/3$ de octava de ancho de banda, para reducir la varianza de la función estimada y tener así mayor facilidad en el análisis.

Para simplificar los resultados se elaboró un programa de computadora que obtuviera el promedio del módulo del espectro de Fourier de aceleración suavizado de las dos componentes horizontales, para calcular después la FT.

FECHA	HORA*	EPICENTRO		MAGNITUD	PROFUNDIDAD
		Lat(N)	Long(W)		
AAAA DD	HHMMSS			(Ms)	(Km)
650624	034543	17.000	99.600	4.6	51
651101	095419	17.000	99.700	4.4	58
651209	062448	17.300	100.000	6.0	54
661104	060228	17.000	99.600	4.8	33
670420	140457	16.800	99.500	4.4	65
670607	070633	17.100	99.900	4.4	47
680103	205937	17.100	99.500	4.3	33
680203	053615	16.700	99.400	5.7	9
680702	034459	17.600	100.300	5.9	41
680802	140644	16.600	97.700	6.3	40
710905	101937	17.087	99.811	5.1	50
711010	---	-----		-	--
720221	072455	16.800	99.000	4.4	33
730411	125100	16.912	100.262	4.9	33
730716	181257	17.300	100.700	5.6	44
730828	095038	18.267	96.598	6.8	84
740527	050111	17.300	98.900	5.3	50
740612	134641	16.800	99.200	5.0	49
740812	212718	17.600	100.400	5.1	73
741006	170935	16.800	99.800	5.0	51
741117	225740	17.000	100.100	4.7	33
741118	002730	16.500	100.200	4.5	33
750213	202920	15.900	98.800	4.2	33
750222	004721	17.400	100.500	5.3	40
750930	065503	16.778	99.335	4.4	66
751029	045400	17.229	99.507	5.2	35

* Hora del meridiano de Greenwich.

Tabla 3.1 Características más importantes de los sismos.

FECHA	HORA*	EPICENTRO		MAGNITUD	PROFUNDIDAD
		Lat(N)	Long(W)		
AAHHDD	HHMMSS			(Ms)	(Km)
760427	181419	16.400	99.700	4.9	33
760607	142639	17.400	100.600	6.1	45
780319	013914	17.026	99.735	5.8	36
790314	110716	17.813	101.276	6.5	49
800905	060009	16.670	100.225	4.7	33
800905	200141	16.556	100.024	4.8	33
801024	145335	18.440	98.130	6.4	72
801219	124502	16.261	92.549	4.1	33
810311	051140	17.069	98.225	4.5	89
810413	065120	17.343	100.242	4.1	82
810917	095032	16.800	99.429	5.4	22
810917	100405	16.640	99.856	3.7	24
810917	100931	16.192	99.666	4.2	33
810917	101228	16.365	99.768	4.7	33
820114	104814	18.185	101.496	4.1	33
821001	085922	16.294	98.606	4.3	33
830723	050738	17.023	99.945	4.7	33
840128	192330	17.455	100.062	4.9	72
840714	210344	17.339	99.660	5.0	43
850919	131749	18.140	102.710	8.1	16
850921	013712	17.620	101.820	7.6	20
860124	092641	17.186	100.050	3.8	33
860201	033134	16.844	100.170	4.0	34
860218	135950	16.818	99.262	4.0	32
860318	111428	17.575	101.210	4.5	86
860616	055050	16.125	100.207	4.3	33

* Hora del meridiano de Greenwich.

Tabla 3.1 Características más importantes de los sismos.

(Cont.)

FECHA	HORA*	EPICENTRO		MAGNITUD	PROFUNDIDAD
		Lat(N)	Long(W)		
AAWWDD	HHMMSS			(Ms)	(Km)
860910	121303	16.500	94.759	3.6	90
860922	210621	16.944	99.856	3.4	33
861014	143238	16.801	100.373	3.6	30
870314	150814	16.982	100.408	3.4	33
870326	130709	17.061	100.244	3.5	33
870326	183821	16.644	100.240	4.7	32
870326	164455	16.702	100.145	3.9	32
870326	185245	16.625	100.261	3.6	33
870326	191833	16.747	100.352	3.4	31
870326	192619	16.525	100.225	4.0	33
870401	233805	16.985	100.048	3.3	30
870402	160149	16.602	99.854	4.0	33
870501	064815	16.585	98.470	4.9	24
880208	135130	17.500	101.140	5.8	20
890309	101031	17.000	100.057	4.4	33
890313	032518	16.786	99.924	4.3	33
890424	135141	16.279	99.680	3.8	33
890425	142959	16.579	99.462	6.8	15
890502	093014	16.411	99.547	5.2	10
890817	005454	16.768	100.094	4.4	33
890821	093328	16.536	100.566	4.3	33
890912	021732	16.399	100.225	4.4	33
891008	223239	17.141	100.190	4.1	35
891025	035919	16.777	99.592	4.4	33
891028	170115	16.639	99.816	4.8	44

* Hora del meridiano de Greenwich.

Tabla 3.1 Características más importantes de los sismos.

[Cont.]

FECHA	HORA ^o	EPICENTRO		MAGNITUD	PROFUNDIDAD
		Lat(N)	Long(W)		
AAHHDD	HHMMSS			(Ms)	(Km)
891109	083644	17.043	99.463	4.1	57
891205	083759	16.432	99.292	4.2	33
900113	020727	16.826	99.509	5.0	28
900306	225843	16.350	99.438	4.0	8
900321	152422	16.482	99.415	3.3	33
900404	170000	16.671	99.373	4.0	33
900404	170818	16.611	99.422	4.3	33
900511	234346	17.071	100.943	5.0	20
900512	232906	16.363	99.517	3.8	8
900531	073527	17.143	100.717	5.8	20

^o Hora del meridiano de Greenwich.

Tabla 3.1 Características más importantes de los sismos.

(Cont.)

FECHA	ESTACION	ANAX	DISTANCIA	APARATO
AAMNDD	(CLAVE)	(Gal)	(Km)	(CLAVE)
650624	ACAP	141.00	38	-
651101	ACAP	79.00	26	-
651209	ACAP	228.00	52	-
661104	ACAP	101.00	38	-
670420	ACAP	46.00	45	-
670607	ACAP	64.00	29	-
680103	ACAP	40.00	53	-
680203	ACAP	63.00	60	-
680702	ACAP	88.00	95	-
680802	ACAP	11.00	248	-
710905	ACAS	230.23	27	SMD157
711010	ACAS	39.12	--	SMD157
720221	ACAP	16.00	107	-
730411	ACAP	23.97	39	ARO102
730411	ACAS	88.57	41	SMD157
730716	ACAS	29.00	101	-
730828	ACAS	26.43	350	SMD157
740527	ACAS	43.48	119	SMD157
740612	ACAS	38.00	78	-
740812	ACAS	42.24	98	SMD157
741006	ACAS	529.60	12	SMD157
741117	ACAS	126.71	27	SMD157
741118	ACAS	87.17	52	SMD157
750213	ACAS	22.04	83	SMD157
750222	ACAP	12.32	89	ARO102
750930	ACAP	11.55	63	ARO102
751029	ACAP	89.17	62	ARO102
751029	ACAS	62.38	59	SMD157

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica.

FECHA A A N N D D	ESTACION (CLAVE)	ANAX (Gal)	DISTANCIA (Km)	APARATO (CLAVE)
760427	ACAP	36.00	52	-
760427	ACAS	48.00	53	-
760607	ACAP	41.00	102	-
760607	ACAS	56.00	103	-
780319	ACAP	315.08	28	AR0102
780319	ACAS	744.54	28	SMD157
790314	ACAP	34.31	180	AR0102
790314	ACAS	42.32	180	SMD157
800905	ACAS	40.23	42	SMD157
800905*	ACAS	47.14	36	SMD157
801024	ACAS	19.52	259	SMD157
801219	ACAS	46.43	162	SMD157
810311	ACAS	17.91	184	SMD157
810413	ACAS	25.38	66	SMD157
810917	ACAS	207.24	51	SMD157
810917*	ACAS	41.40	24	SMD157
810917*	ACAS	37.76	77	SMD157
810917*	ACAS	113.37	39	SMD157
820114	ACAS	28.02	228	SMD157
821001	ACAS	47.66	154	SMD157
830723	ACAS	44.51	19	SMD157
840128	ACAS	41.41	69	SMD157
840714	ACAP	109.15	62	SM2618
840714	ACAS	154.44	61	SMD157
850919	ACAP	27.72	294	SM2618
850919	ACAS	25.17	293	SMD157
850919	VNTA	20.07	343	DS-252
850921	ACAP	26.37	258	SM2618

* Eventos posteriores. Ver tabla 3.1

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica (Cont.)

FECHA AARRDD	ESTACION (CLAVE)	ANAX (Gal)	DISTANCIA (Km)	APARATO (CLAVE)
850921	ACAS	35.77	260	SM0157
850921	VNTA	17.53	232	DS-252
860124	ACAP	22.24	41	D3-123
860201	ACAP	38.73	28	D3-123
860218	ACAP	5.41	71	D3-123
860318	ACAD	23.90	165	D3-143
860616	ACAD	71.93	90	D3-143
860910	ACAD	26.31	562	D3-121
860922	ACAD	18.45	9	D3-121
861014	ACAD	15.83	54	D3-121
870314	ACAD	14.28	59	D3-121
870326	ACAD	17.13	43	D3-121
870326 [*]	ACAD	100.47	47	D3-121
870326 [*]	ACAD	21.66	34	D3-121
870326 [*]	ACAD	10.36	50	D3-121
870326 [*]	ACAD	17.94	53	D3-121
870326 [*]	ACAD	18.97	53	D3-121
870401	ACAD	13.09	23	D3-121
870402	ACAD	63.81	29	D3-121
870402	ACAP	48.39	27	SM4484
870402	ACAS	139.61	29	SM0157
880208	ACAD	36.73	154	D3-120
890309	ACAC	14.35	28	D3-123
890309	ACAD	26.63	24	D3-167
890309	ACAP	22.71	24	D3-121
890309	ACAR	37.76	28	D3-143
890313	ACAC	13.26	102	D3-123

* Eventos posteriores. Ver tabla 3.1

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica (Cont.).

FECHA A A H M D D	ESTACION (CLAVE)	A _{MAX} (G _{al})	DISTANCIA (Km)	APARATO (CLAVE)
890313	ACAD	18.65	105	D3-167
890313	ACAP	11.40	108	D3-121
890313	ACAR	13.65	100	D3-143
890424	ACAD	26.28	70	D3-167
890424	ACAP	14.70	68	D3-121
890424	ACAR	17.84	71	D3-143
890424	ACAZ	21.15	58	D3-114
890425	ACAC	108.80	54	D3-123
890425	ACAD	330.52	58	D3-167
890425	ACAP	102.07	59	D3-121
890425	ACAR	105.45	57	D3-143
890425	ACAS	139.62	59	SMD157
890425	ACAZ	148.13	45	D3-114
890425	VNTA	61.10	58	DS-248
890502	ACAC	52.90	57	D3-123
890502	ACAD	72.94	60	D3-167
890502	ACAZ	39.85	49	D3-114
890817	ACAC	17.18	86	D3-207
890817	ACAD	78.03	26	D3-167
890817	ACAP	36.34	22	D3-121
890817	ACAZ	22.50	34	D3-114
890817	VNTA	20.02	35	DS-248
890821	ACAP	19.83	79	D3-121
890912	ACAC	4.34	64	D3-123
890912	ACAD	33.75	64	D3-167
890912	ACAP	9.88	60	D3-121
890912	ACAZ	8.98	64	D3-114
891008	ACAC	14.13	49	D3-123
891008	ACAD	48.04	45	D3-167

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica (Cont.)

FECHA	ESTACION	AMAX	DISTANCIA	APARATO
AAHHDD	(CLAVE)	(Gal)	(Km)	(CLAVE)
891008	ACAN	28.08	47	DS-247
891008	ACAP	17.07	45	D3-121
891008	ACAZ	24.13	59	D3-114
891025	ACAD	29.30	33	D3-167
891025	ACAP	12.54	35	D3-121
891025	ACAZ	51.88	22	D3-114
891028	ACAD	58.89	26	D3-167
891028	ACAP	18.98	24	D3-121
891028	ACAZ	17.42	17	D3-114
891109	ACAD	94.13	50	D3-167
891109	ACAN	35.62	48	DS-247
891109	ACAP	89.59	54	D3-121
891109	ACAZ	144.17	45	D3-114
891109	VNTA	48.56	41	D3-248
891205	ACAD	12.42	80	D3-167
900113	ACAD	167.98	41	D3-167
900113	ACAN	63.94	39	DS-247
900113	ACAP	74.52	44	D3-121
900113	ACAZ	184.78	31	D3-114
900306	ACAC	41.04	71	D3-145
900306	ACAD	47.56	75	D3-167
900306	ACAR	32.75	74	D3-201
900306	ACAZ	17.77	62	D3-114
900306	VNTA	19.66	76	DS-248
900321	ACAC	11.88	63	D3-145
900321	ACAD	18.65	66	D3-167
900321	ACAR	9.61	64	D3-201
900321	ACAZ	17.10	53	D3-114
900404	ACAC	18.91	56	D3-145

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica (Cont.)

FECHA	ESTACION	ANAX	DISTANCIA	APARATO
AANNDD	(CLAVE)	(Gal)	(Km)	(CLAVE)
900404	ACAD	15.11	60	D3-167
900404	ACAR	6.08	56	D3-201
900404	ACAD	49.11	58	D3-167
900404	ACAP	10.18	59	D3-121
900404	ACAR	13.74	55	D3-201
900511	ACAC	10.35	122	D3-145
900511	ACAR	10.01	123	D3-201
900511	ACAZ	6.25	130	D3-144
900511	ACAC	10.74	65	D3-145
900512	ACAD	13.43	68	D3-167
900512	ACAP	22.40	68	D3-121
900512	ACAR	15.41	68	D3-201
900531	ACAC	27.46	100	D3-145
900531	ACAD	26.85	96	D3-167
900531	ACAP	10.95	94	D3-121
900531	ACAR	18.26	101	D3-201
900531	ACAZ	19.04	109	D3-114

• Eventos posteriores. Ver tabla 3.1

Tabla 3.2 Características de registro en cada estación
acelerográfica (Cont.)

SISTMO	GUERRERO	REGISTRO	ACRS78231911.T	METODO	CORRECCION
DATA	POE	ESTA	ACRS	CM TECH.	
FEC-AR	780319	INST	SM0157	FILTRO	0.500 0.530 45 0 47.0
HORA	1:39:14	COMP	NOBE	DT	0.010
EPIC	17.026 99.725	HORA	1:39:14	MAX ACEL	479.95 -744.54
#	5.0	DUR	23.65	MAX VEL	11.45 -9.70
#	36	DIS1	28	MAX DESP	0.71 -0.67

ESPECTRO DE RESPUESTA AMORT (α) 0.2.5.10.20

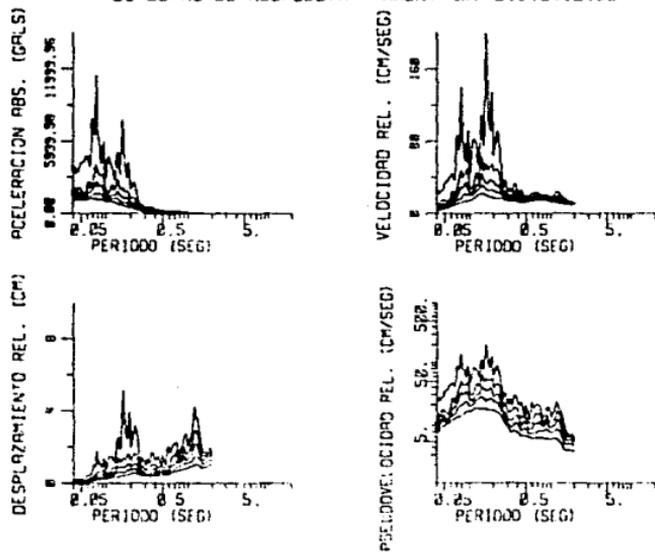


Fig. 3.1 Gráfica de 4 espectros de respuesta

SISTO		QUERARO	REGISTRO	ACNS7BR31011.T	CORRECCION
CHIS	AB	ES14	NAME	METODO	CR16CM
FECH	700310	1M61	SND157	FILTRO	0.500 0.500 45.0 47.0
HECH	1:39:14	COMP	NAME	Δt	0.010
EPIC	17.026 99.735	HECH	1:39:14	PMI ACCL	479.35 -746.54
PI	5.0	ORA	23.55	PMI VEL	11.45 -9.70
PI	26	DIST	20	PMI DESP	0.71 -0.67

ESPECTRO DE RESPUESTA RPORT (X) 0.2.5.10.20

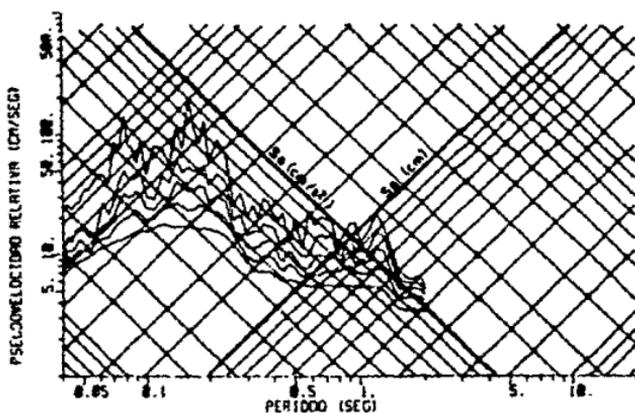


Fig. 3.2 Espectro de pseudovelicidad

IV. AMPLIFICACION RELATIVA OBSERVADA RESPECTO A SITIOS EN ROCA

IV.1 ASPECTOS GENERALES.

Las características de los temblores que pueden esperarse en un sitio dado son de gran interés para el diseño sísmico de obras civiles (Ref. 15). Estas dependen de diversos factores, variables en tiempo y espacio, que pueden ser asociados ya sea al mecanismo generador del temblor o fuente sísmica, o bien a la trayectoria de las ondas sísmicas.

Dentro del primer caso, los de mayor importancia por su influencia en las características del movimiento son: la cantidad de energía liberada, geometría y orientación de la superficie de falla y la dirección y sentido de propagación de la ruptura.

En sismología, los eventos sísmicos son tratados como una radiación de ondas elásticas, llamadas de cuerpo y superficiales, que se propagan en el interior de la tierra y en la superficie respectivamente. Estas ondas, en su recorrido, sufren un decremento en su amplitud debido a: refracciones y reflexiones, ampliación del frente de onda y atenuación que además provoca una variación en el contenido de frecuencias, las altas frecuencias se atenúan más rápidamente con la distancia, que las componentes de bajas frecuencias.

La naturaleza del subsuelo en los últimos cientos de metros de la trayectoria que las ondas recorren desde el origen hasta un punto dado de la superficie, en algunos casos, determina las características de movimiento, teniendo menor influencia los factores relacionados con el mecanismo de falla y con la trayectoria anterior a esta etapa.

Uno de los fenómenos locales más importantes, dentro de la ingeniería sísmica, es el de amplificación o deamplificación del movimiento en un punto dado en relación con el que se tiene en otro distinto ubicado en la misma región (Ref. 16), pero asociado a características topográficas y geológicas distintas entre sí.

Las diferencias que se presentan son en las amplitudes máximas de aceleración, velocidad y desplazamiento así como en el contenido de frecuencias del movimiento.

Se han empleado varios criterios para predecir los fenómenos de amplificación en términos de las condiciones locales del sitio, sin embargo, no han conducido a resultados enteramente satisfactorios, ya sea por la falta de proximidad de las condiciones idealizadas con las reales o por limitaciones de tipo técnico y económico como en el caso de los análisis tridimensionales.

En este trabajo la evaluación del fenómeno de amplificación relativa, en la bahía de Acapulco y áreas cercanas, se hizo utilizando los registros de temblores reales. Existen algunos estudios previos (Ref. 17), que han empleado un número menor de registros.

IV.2 FRECUENCIAS DOMINANTES DE LOS SITIOS.

Basándose en los acelerogramas de temblores moderados y grandes, se han determinado las frecuencias dominantes de los sitios considerados

en este estudio. Una de las principales aplicaciones de los espectros de Fourier, en ingeniería sísmica, es precisamente la obtención de tan importante parámetro (Ref. 18).

Al analizar los espectros de Fourier para los diferentes eventos de los que se dispone de información en cada ERA, se observa que las mayores amplitudes ocurren para aproximadamente la misma frecuencia. Dicha frecuencia es la que se considera como la dominante en el sitio.

En las Figs. 4.1 a 4.8 se tienen las gráficas de los espectros de Fourier de aceleración en los cuales se observa en forma clara la frecuencia dominante (f_0) de los sitios analizados. Las frecuencias asociadas a cada una de las ocho estaciones localizadas en la bahía de Acapulco se encuentran listadas en la tabla 2.2.

Cabe hacer notar que para definir esta frecuencia, es necesario contar con un número considerable de registros para poder discriminar la influencia de la fuente del sismo, la cual se manifiesta en el espectro de Fourier con una amplitud grande asociada a frecuencias donde la radiación fue con mayor energía (Ref. 17).

En el caso de la ERA ubicada en la escuela La Salle, ACAN, se cuenta hasta este momento con apenas tres eventos registrados, y en ellos no se define bien la frecuencia dominante. En la Fig. 4.3 se observan dos picos, uno en 2 Hz y otro en 6 Hz aproximadamente. Basándose en las curvas de isoperíodos elaboradas con la técnica de microteablos (Ref. 19) se considerará que el valor de 6 Hz es el asociado a dicha frecuencia.

En las frecuencias dominantes obtenidas para las estaciones de Diana, Renacimiento y La Zanja, podría haber una disminución, si se presentase comportamiento no lineal del suelo, debido al fenómeno de licuación (Ref. 20). Hasta el momento no se tiene conocimiento de que haya ocurrido, a pesar de que se registraron aceleraciones de más de la mitad de la aceleración de la gravedad. Como se puede ver en la tabla 3.2 el evento para el cual se presentaron estas aceleraciones fue el de marzo 19 de 1978 y para esta fecha no se tenían instalados equipos en tales sitios por lo que se desconoce el valor de las aceleraciones, pero se supone que debieron haber superado las registradas en ACAS.

IV.3 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.

Para conocer la amplificación o deamplificación relativa de los sitios en los que se ubican las ERA de Acapulco se calcularon las FT tomando como referencia las localizadas sobre roca.

Como se mencionó en el capítulo II, la estación Pellandini se encuentra ubicada en terreno firme, por lo que las FT se realizaron preferentemente con ella. Sin embargo, en algunos casos, se refirieron los cocientes a La Venta, por no contarse con registros de los eventos en ACAP.

IV.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

El análisis de los resultados se hizo para cada una de las ERA poniendo mayor énfasis en un rango de frecuencias entre 0.04 y 25 Hz que son importantes desde el punto de vista de ingeniería sísmica, ya que prácticamente los periodos de todas las estructuras están incluidas en él.

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAP.

En la estación ubicada en el Centro Cultural Guerrerense, se presentan amplificaciones con respecto a ACAP entre 3 y 10 veces para frecuencias de aproximadamente 2 Hz que es la frecuencia considerada como dominante del sitio y para la que se tiene la máxima amplificación de las razones espectrales calculadas. Se observa, en general, amplificación en una banda de 0.8 a 5 Hz (Figs. 4.9 y 4.10).

En el caso de la FT obtenida con la VNTA, la mayor amplificación varía entre 2 y 18 veces (Fig 4.11).

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAD.

En este sitio se tienen amplificaciones, con respecto a Pellandini, para la frecuencia dominante del sitio ($f_0=3.5$ Hz), entre 2 y

7 veces. La máxima amplificación es del orden de 13 veces y se encuentra en frecuencias muy próximas a 4 Hz. Ver Figs. 4.12 a 4.15.

Analizando los resultados obtenidos de los cocientes referidos a La Venta se observa, para la frecuencia de 3.5 Hz, una amplificación relativa, variando en un rango semejante al encontrado en ACAP. Sin embargo, el máximo valor de amplificación asociado a una frecuencia de 5.3 Hz es de 22 veces aproximadamente. En las Figs. 4.16 y 4.17 se muestran las FT calculadas para esta ERA.

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAN.

Localizada en la escuela La Salle, presenta deamplificaciones relativas, considerando como referencia a ACAP, del orden de 1.5 veces para la frecuencia de 2 Hz, mientras que para la de 6 Hz se tiene una amplificación cercana a 2 veces.

Para esta ERA, se cuenta con pocos registros, por lo que los resultados obtenidos deben considerarse un tanto preliminares mientras no se tenga mayor información.

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAR.

Los valores obtenidos de amplificación para el sitio, varían entre 2 y 6 veces para frecuencias de aproximadamente 3.5 Hz que es la dominante de esta zona y para la que se presenta también la máxima amplificación, todo esto referido a Pellandini. Ver Figs. 4.20 y 4.21.

Con referencia a La Venta se tienen amplificaciones mayores, del orden de 10 veces , para frecuencias cercanas a la dominante como se puede apreciar en la Fig. 4.22.

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAS.

En esta estación se tiene instalado un equipo analógico, y debido al proceso que se sigue en la recuperación de los datos, los resultados tienen una mayor dispersión.

La única información que se puede obtener es el hecho de que se presentan amplificaciones, para el caso de cocientes con ACAP, del orden de 2 veces para frecuencias de 7 Hz aproximadamente, ver Figs. 4.23 y 4.24; la amplificación para la relación ACAS/VNTA es de 5 veces (Fig. 4.25).

FUNCION DE TRANSFERENCIA EN ACAZ.

En este caso se presenta **amplificación** para toda la banda de frecuencias analizada. Para frecuencias muy cercanas a 1.0 Hz se tienen en algunos registros, las **amplificaciones máximas** del orden de 13 veces, todo esto con respecto a la estación ACAP, como puede observarse en las Figs. 4.26 a 4.28.

Respecto a La Venta (Figs 4.29 y 4.30), para la frecuencia dominante se tienen **amplificaciones** entre 3 y 8 veces, mostrando cierta **reducción** para frecuencias más altas.

FUNCION DE TRANSFERENCIA ACAP/VNTA.

Se obtuvieron también las FT de Pellandini con respecto a la Venta, para posteriormente utilizar los resultados en el análisis de las otras razones espectrales.

Al analizar los cocientes se observa una **amplificación máxima** de 7 veces para Pellandini, en frecuencias cercanas a 11 Hz. Ver Figs 4.31 y 4.32.

Dicha amplificación es debida en parte a las condiciones topográficas existentes en la estación ACAP, pues las irregularidades del suelo pueden alterar el movimiento que éste tendría si fuera horizontal (Ref. 15). La magnitud de los efectos depende de la relación entre la longitud de las ondas sísmicas y las características topográficas. En los casos en que la longitud es mucho mayor que la altura de las anomalías, la influencia resulta despreciable.

En las FT anteriormente analizadas se observa, en general, que para eventos sísmicos pequeños las amplificaciones son mayores que para temblores de magnitudes superiores a 5. Este comportamiento se puede deber ya sea al mecanismo generador del temblor o bien por el efecto que el nivel de las aceleraciones provoca al realizar el cociente espectral.

SIGNO	CAN	REGISTRO	ACRONS/IMPUL.T	CONEXION
01/20	101	1310	1000	REVISO CAL. REC.
02/20	101	1311	1000	FIL. REC. 0.700 0.0 0.0 0.0
03/20	101	1312	1000	AL
04/20	101	1313	1000	REV. REC.
05/20	101	1314	1000	REV. REC.
06/20	101	1315	1000	REV. REC.
07/20	101	1316	1000	REV. REC.
08/20	101	1317	1000	REV. REC.
09/20	101	1318	1000	REV. REC.
10/20	101	1319	1000	REV. REC.
11/20	101	1320	1000	REV. REC.
12/20	101	1321	1000	REV. REC.

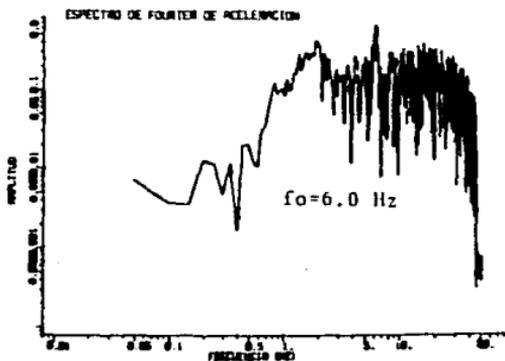


Fig. 4.3 Frecuencia dominante en ACAN.

SIGNO	CAN	REGISTRO	ACRONS/IMPUL.T	CONEXION
01/20	101	1310	1000	REVISO CAL. REC.
02/20	101	1311	1000	FIL. REC. 0.700 0.0 0.0 0.0
03/20	101	1312	1000	AL
04/20	101	1313	1000	REV. REC.
05/20	101	1314	1000	REV. REC.
06/20	101	1315	1000	REV. REC.
07/20	101	1316	1000	REV. REC.
08/20	101	1317	1000	REV. REC.
09/20	101	1318	1000	REV. REC.
10/20	101	1319	1000	REV. REC.
11/20	101	1320	1000	REV. REC.
12/20	101	1321	1000	REV. REC.

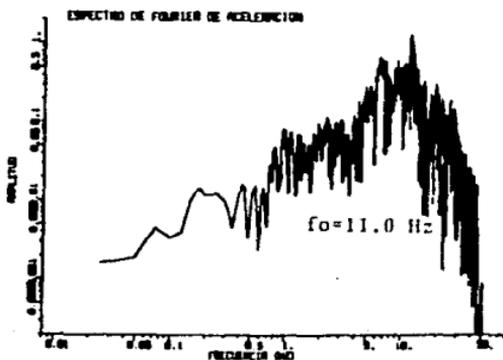


Fig. 4.4 Frecuencia dominante en ACAP.

SISEP		REGISTRO		CORRECCION	
GRUPO	GRU	ESTAD	VENTA	NO TEND	CON. NICH.
FECHA	1975	1975	02	FILTRADO	0.750 0.750 0.0 0.0 0.0
EPIC	10.000	10.000	00	NO. FILT.	0.000
N	12	0101	00	NO. CANAL	1.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000

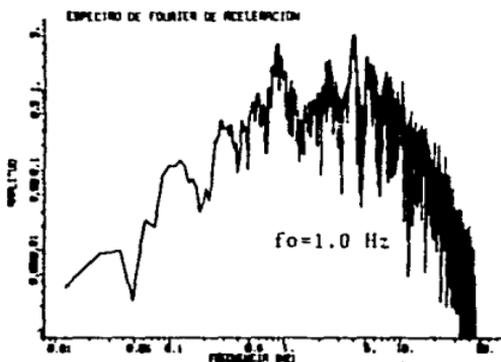


Fig. 4.7 Frecuencia dominante en ACAZ.

SISEP		REGISTRO		CORRECCION	
GRUPO	GRU	ESTAD	VNTA	NO TEND	CON. NICH.
FECHA	1975	1975	02	FILTRADO	0.750 0.750 0.0 0.0 0.0
EPIC	10.700	10.700	00	NO. FILT.	0.000
N	12	0101	00	NO. CANAL	1.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000
				NO. FILT.	0.000

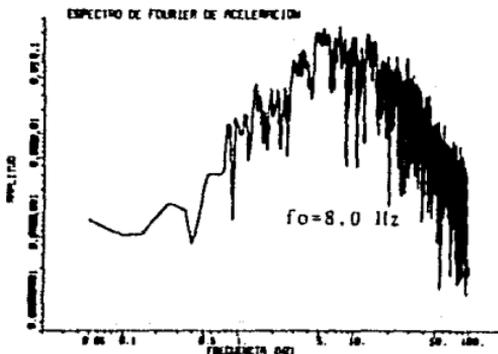


Fig. 4.8 Frecuencia dominante en VNTA.

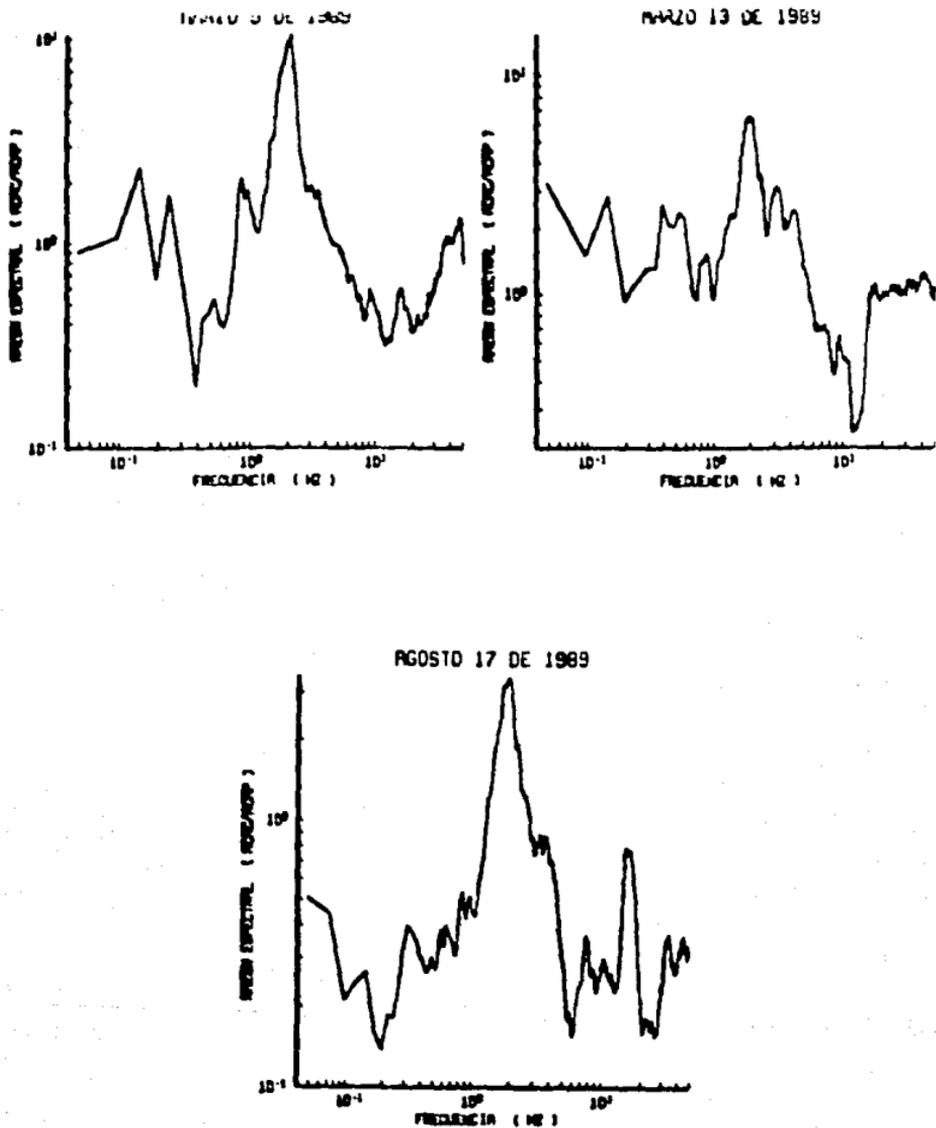


Fig. 4.9 Función de Transferencia en ACAC con respecto al sitio ACAP.

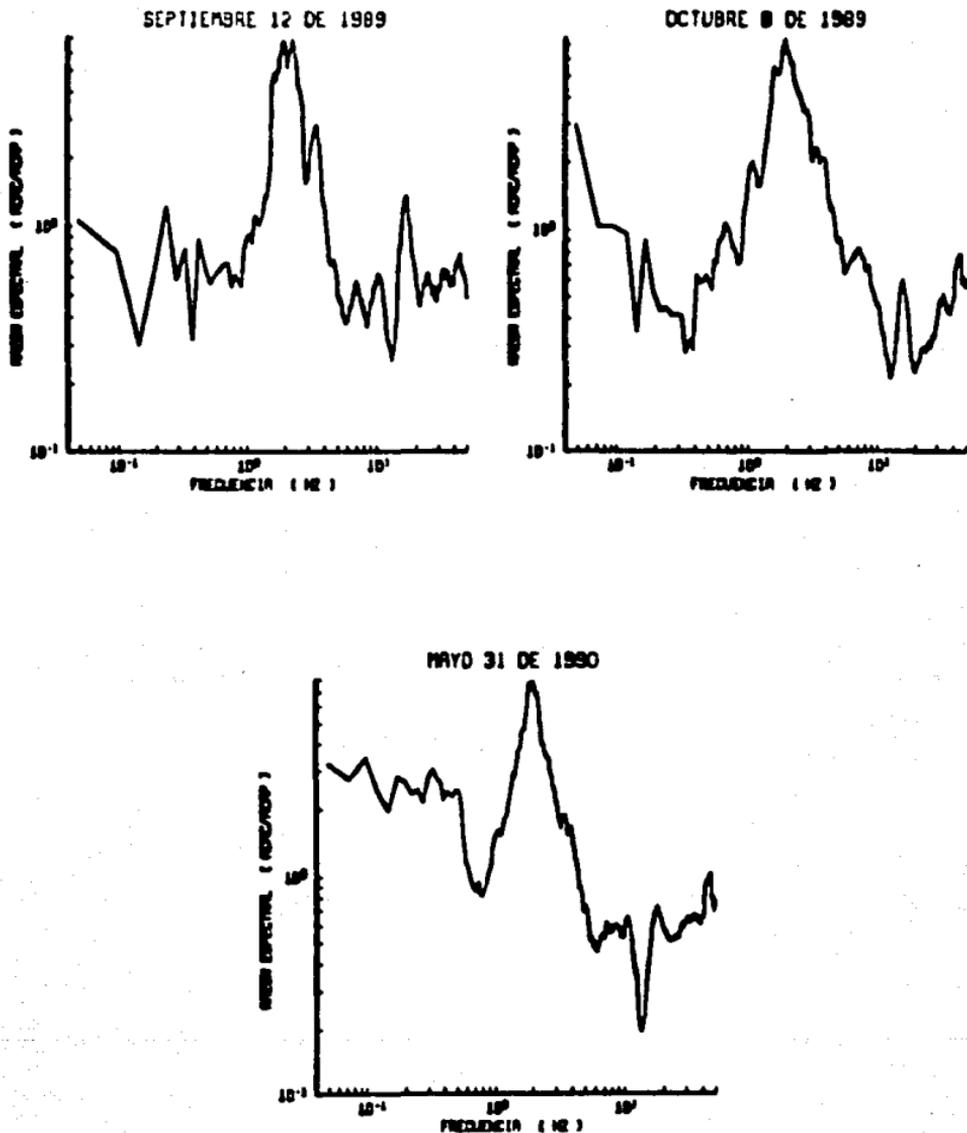


Fig. 4.10 Función de Transferencia en ACAC con respecto al sitio ACAP

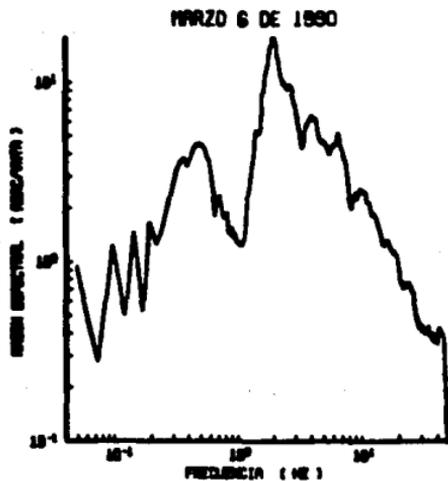
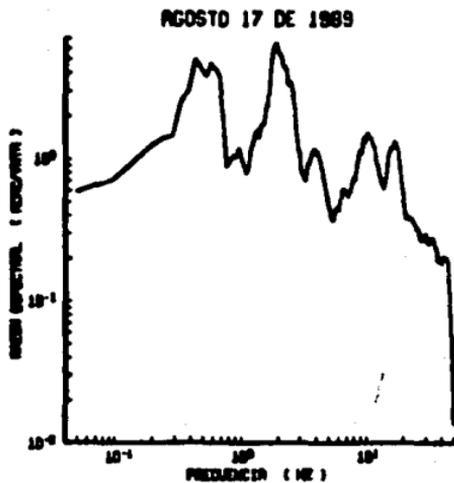
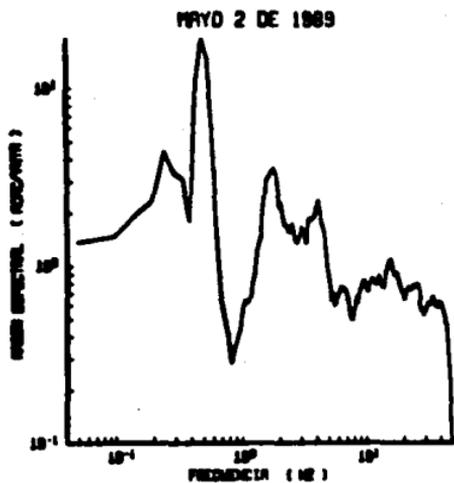


Fig. 4.11 Función de Transferencia en ACAC con respecto al sitio VNTA.

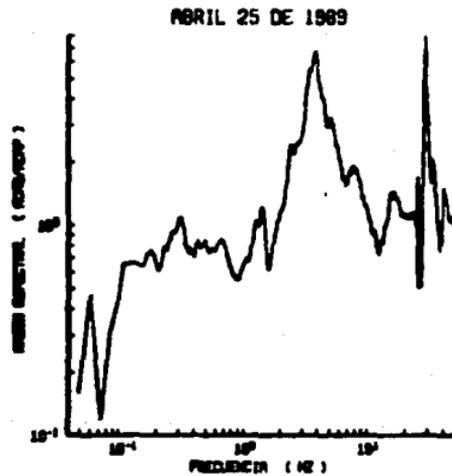
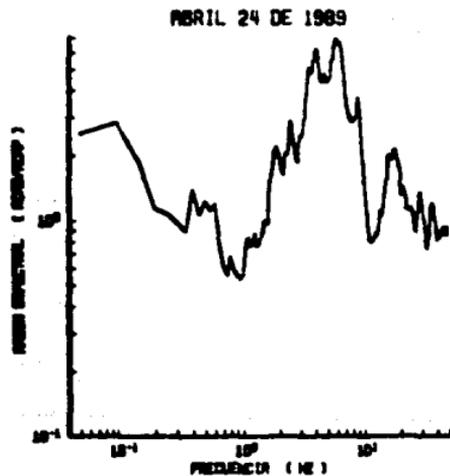
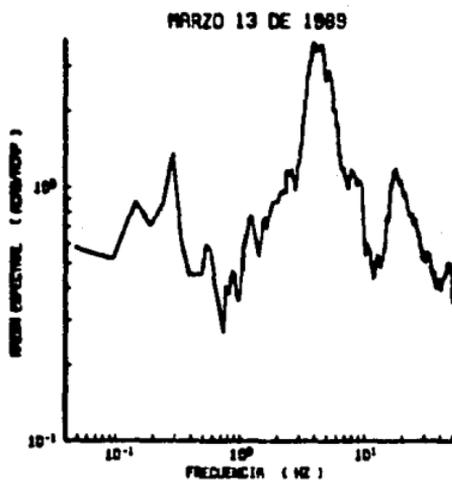
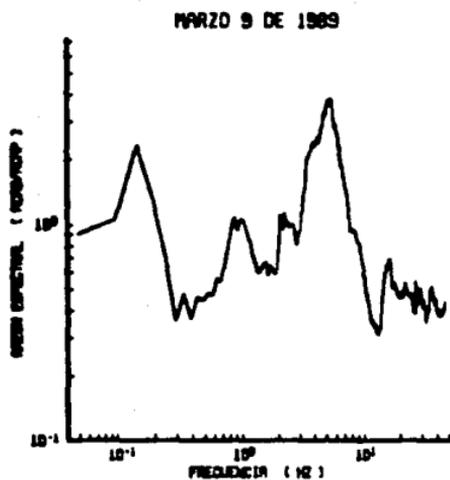


Fig. 4.12 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio ACAP.

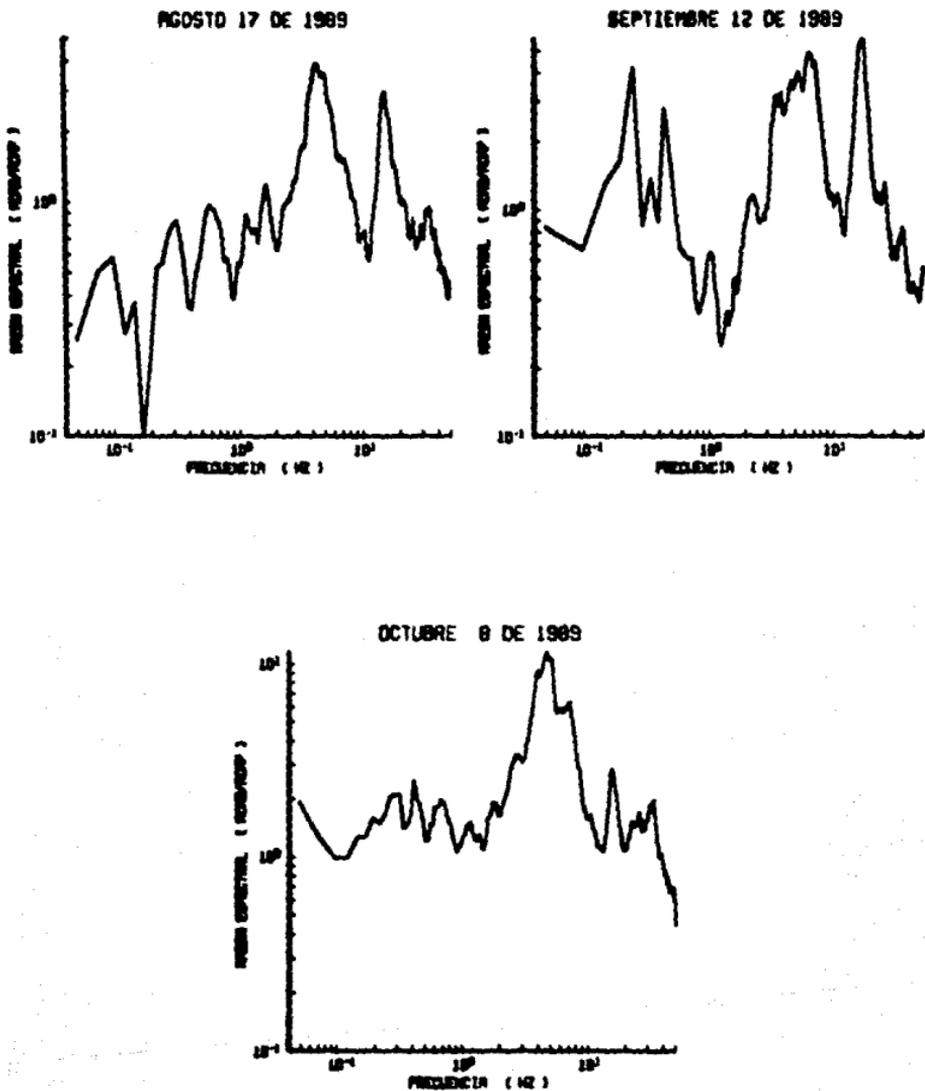


Fig. 4.13 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio ACAP.

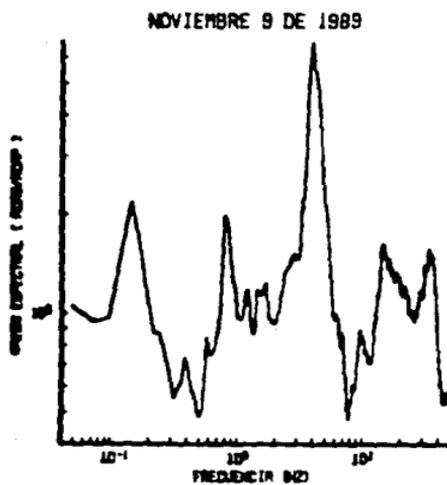
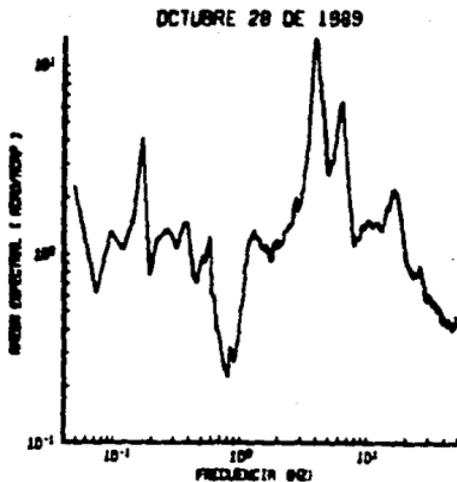
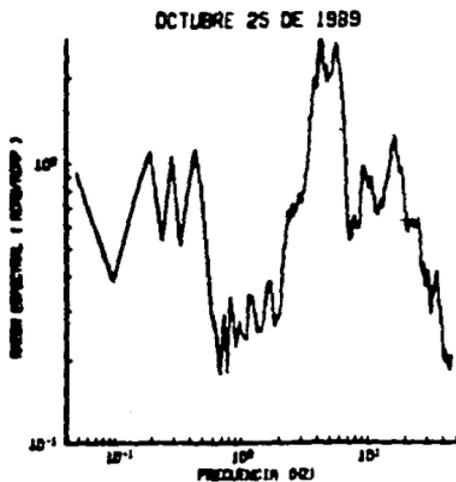


Fig. 4.14 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio ACAP.

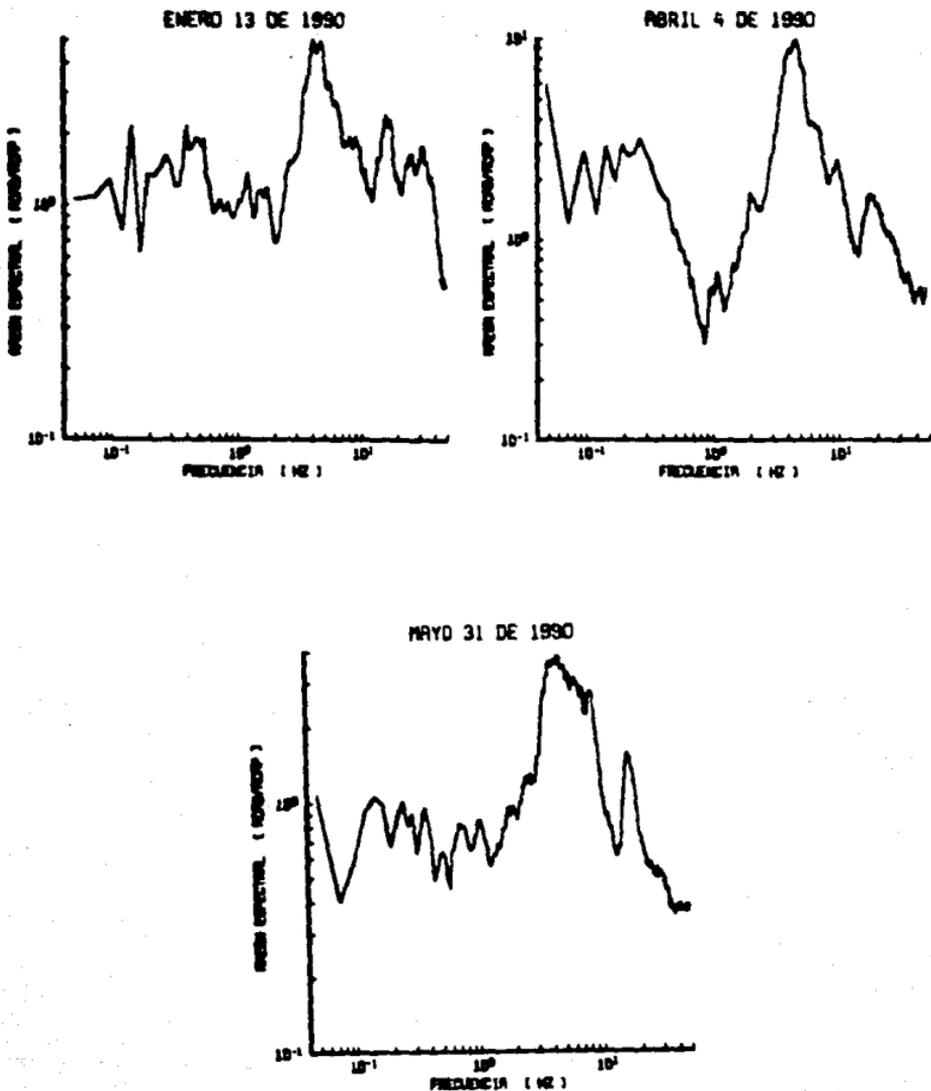


Fig. 4.15 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio ACAP.

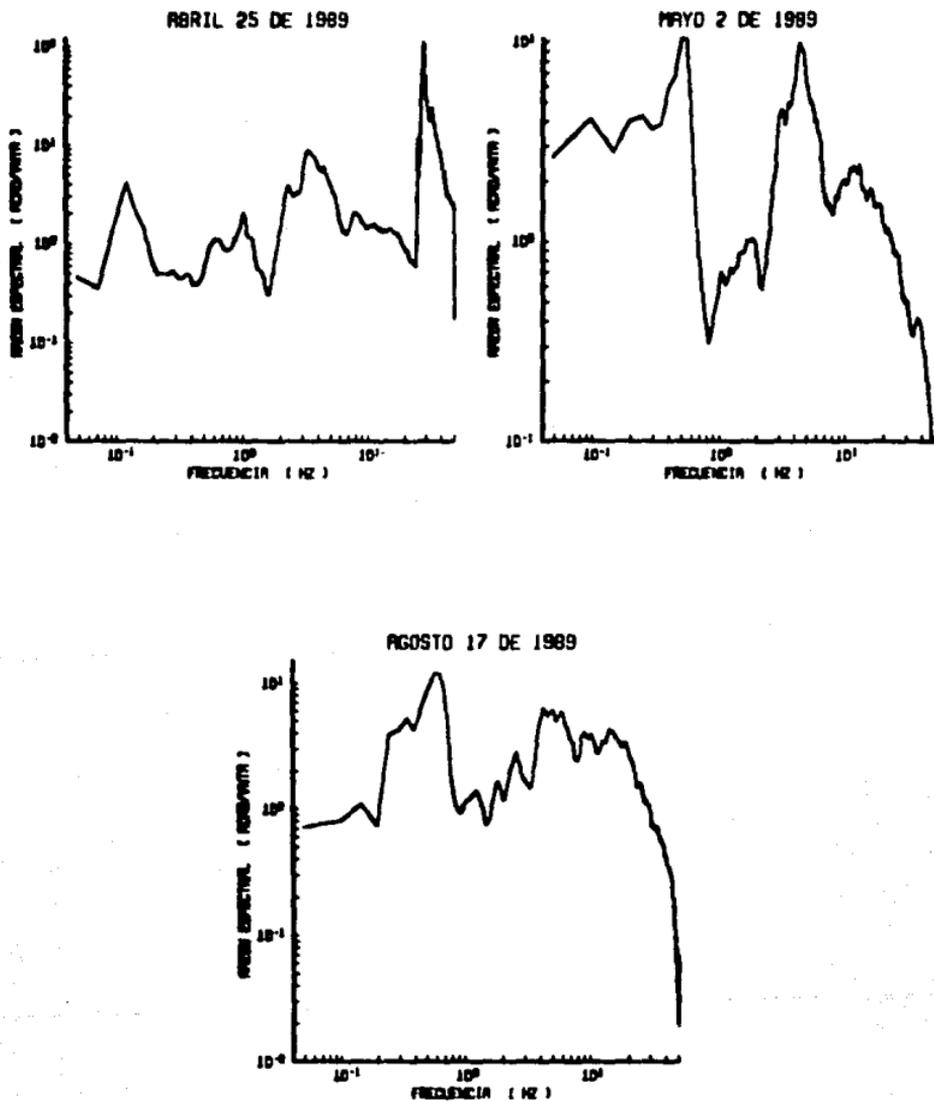


Fig. 4.16 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio VNTA.

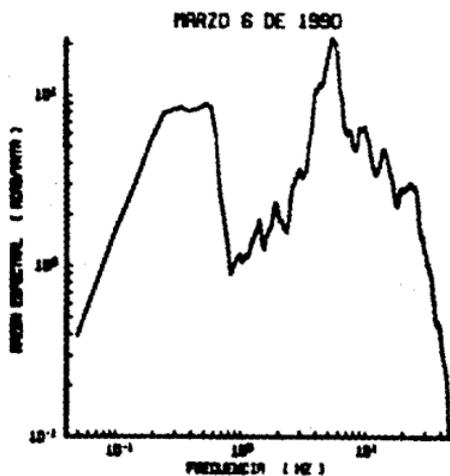
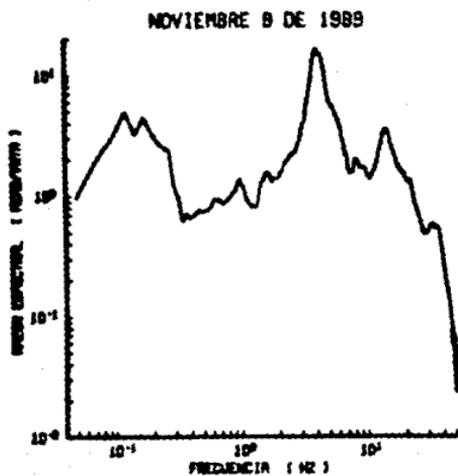


Fig. 4.17 Función de Transferencia en ACAD con respecto al sitio VNTA.

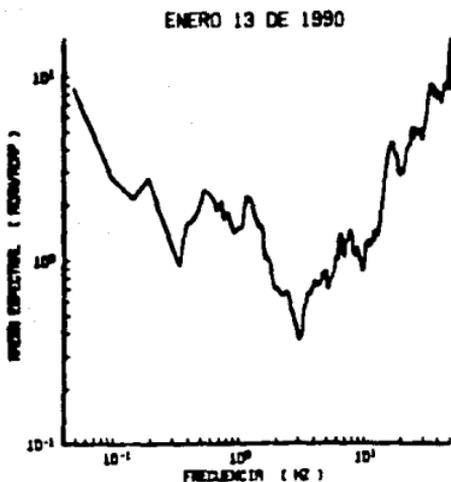
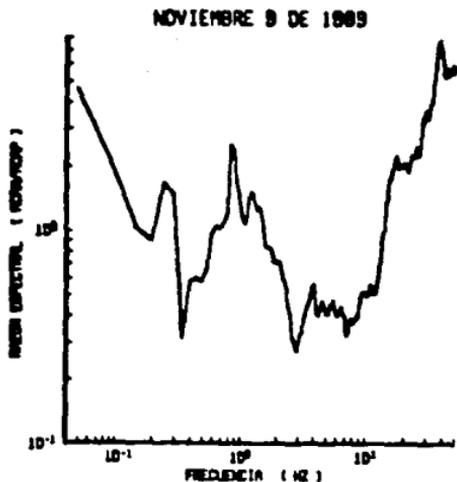
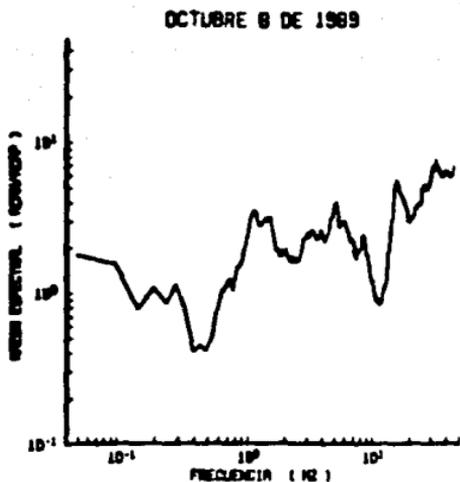


Fig. 4.18 Función de Transferencia en ACAN con respecto al sitio ACAP.

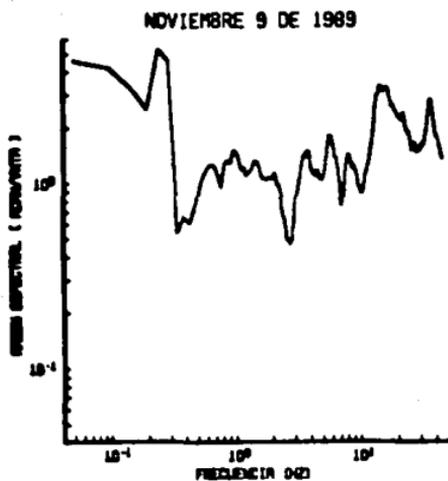


Fig. 4.19 Función de Transferencia en ACAN con respecto al sitio VNTA.

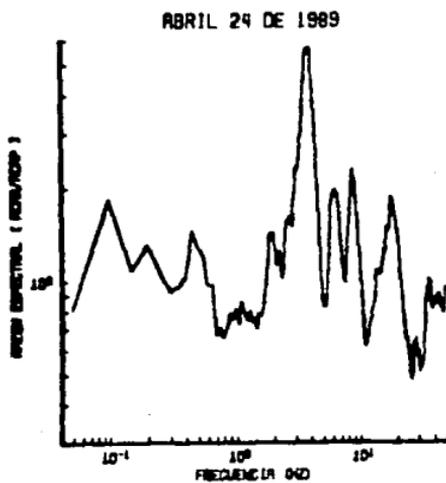
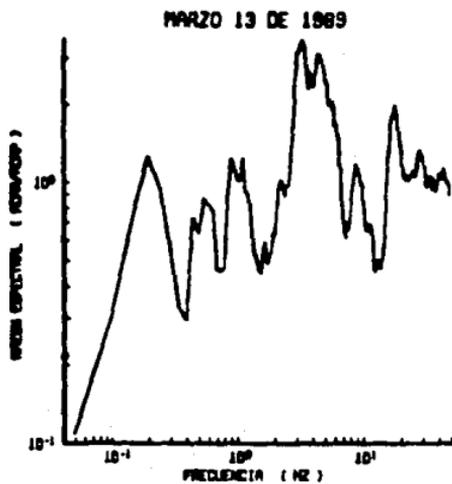
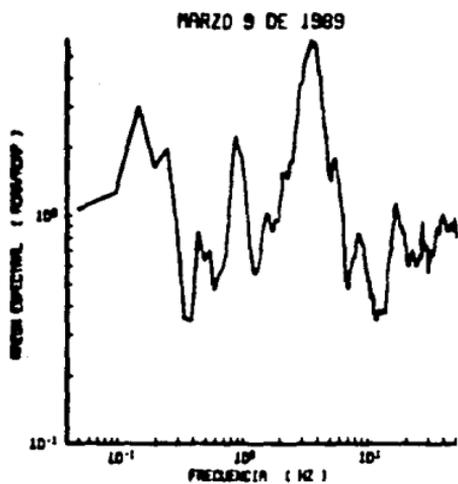
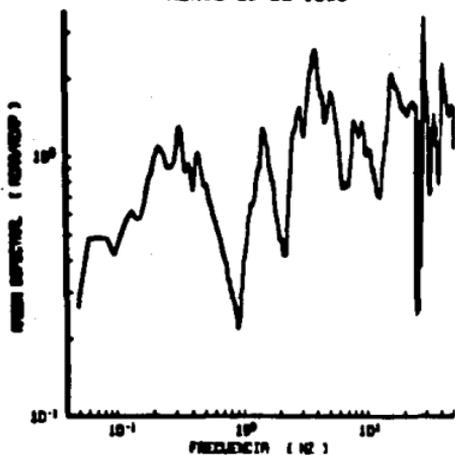
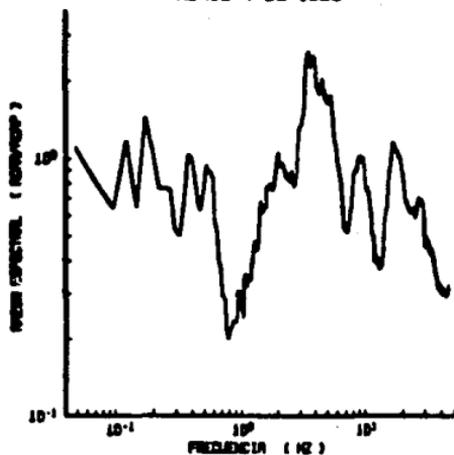


Fig. 4.20 Función de Transferencia en ACAR con respecto al sitio ACAP.

ABRIL 25 DE 1989



ABRIL 4 DE 1990



MAYO 31 DE 1990

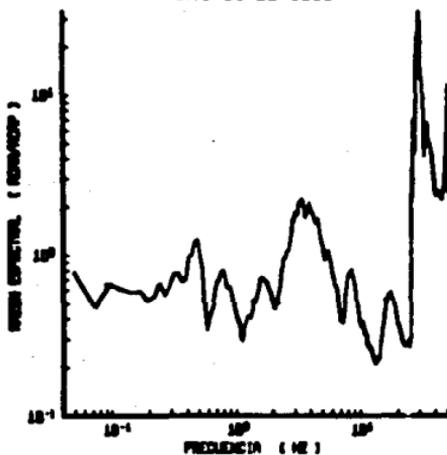


Fig. 4.21 Función de Transferencia en ACAR con respecto al sitio ACAP.

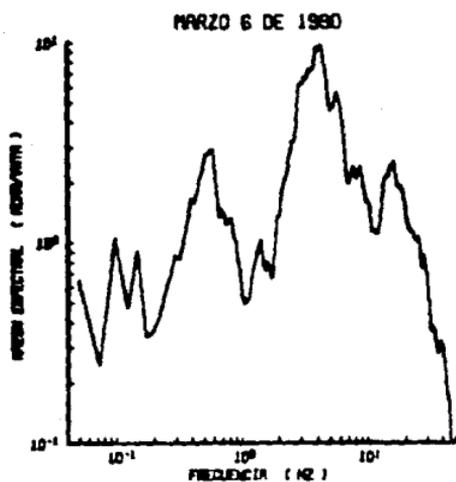
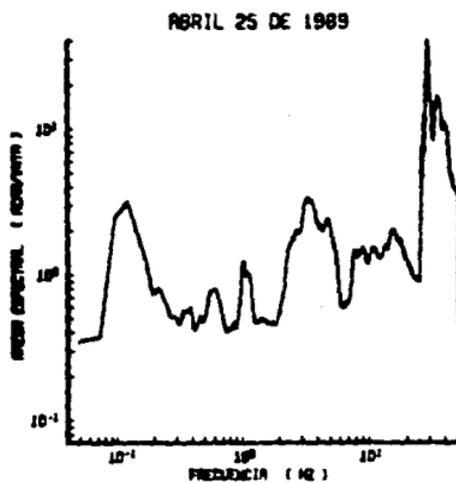


Fig. 4.22 Función de transferencia en ACAR con respecto al sitio VNTA.

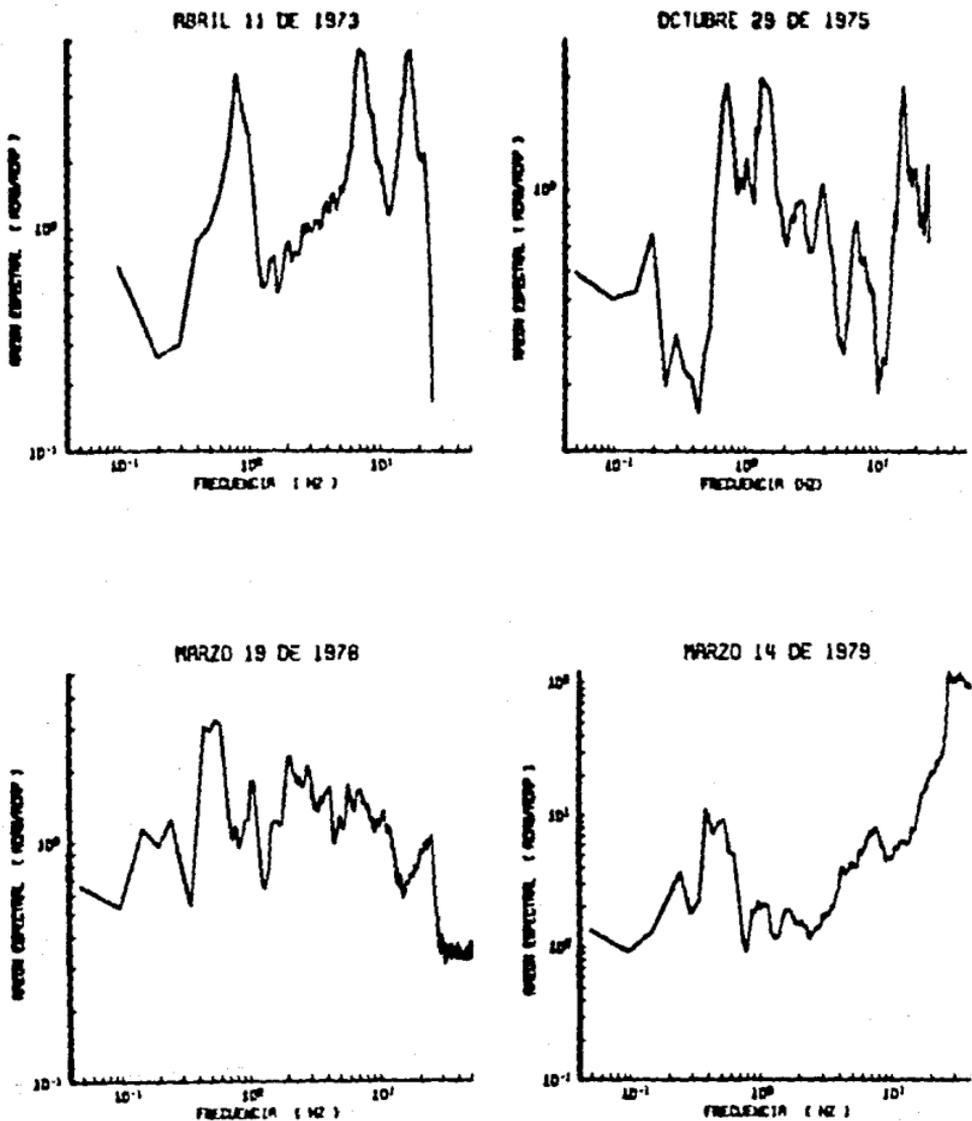


Fig. 4.23 Función de Transferencia en ACAS con respecto al sitio ACAP.

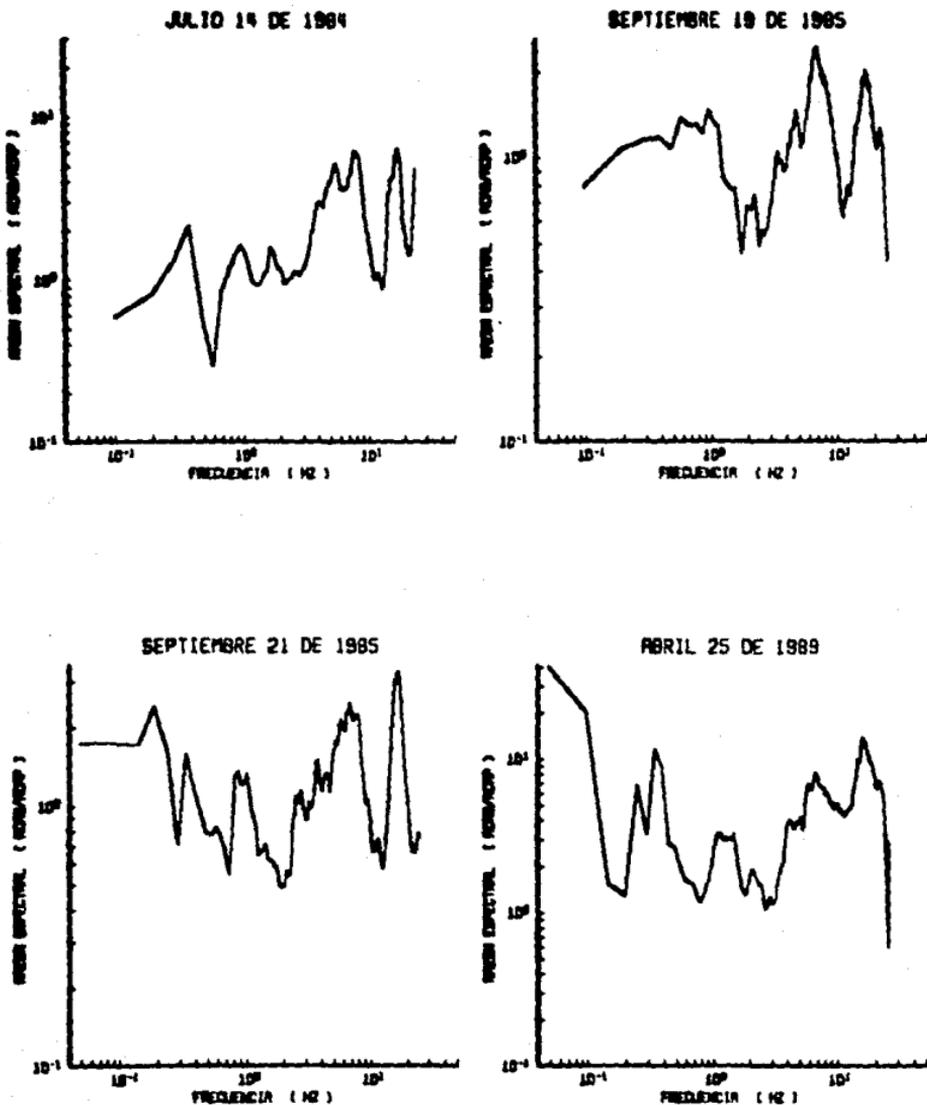


Fig. 4.24 Función de Transferencia en ACAS con respecto al sitio ACAP.

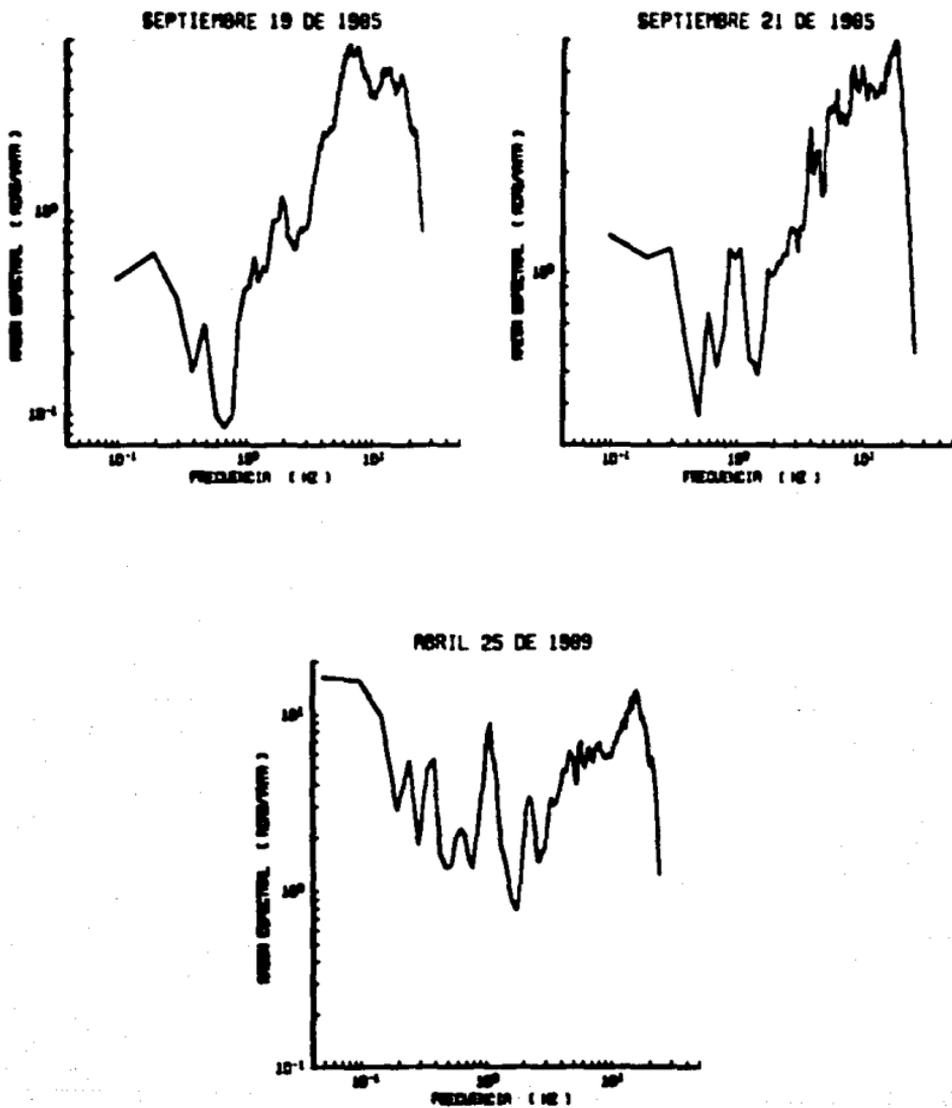
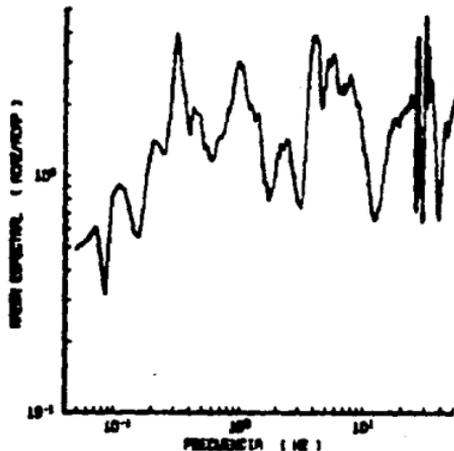
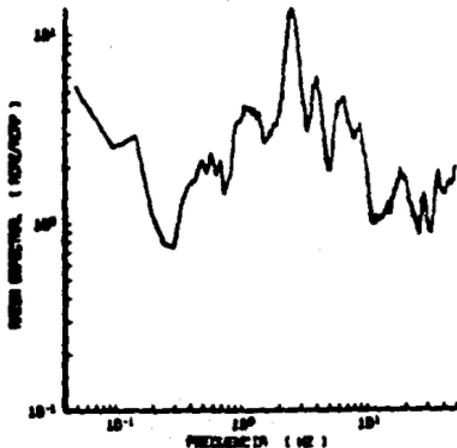


Fig. 4.25 Función de Transferencia en ACAS con respecto al sitio VNTA.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ABRIL 24 DE 1989

ABRIL 25 DE 1989



AGOSTO 17 DE 1989

SEPTIEMBRE 12 DE 1989

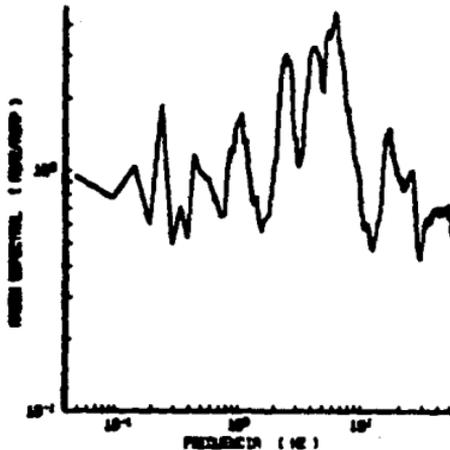
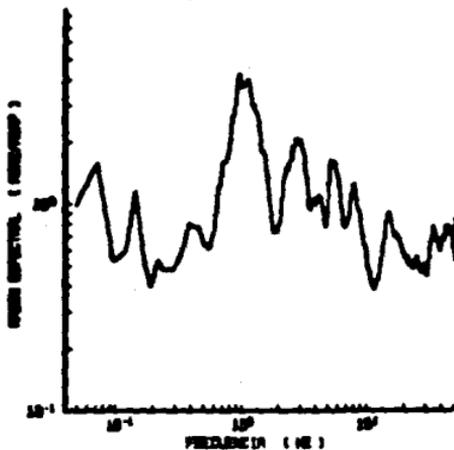


Fig. 4.26 Función de Transferencia en ACAI con respecto al sitio ACAP.

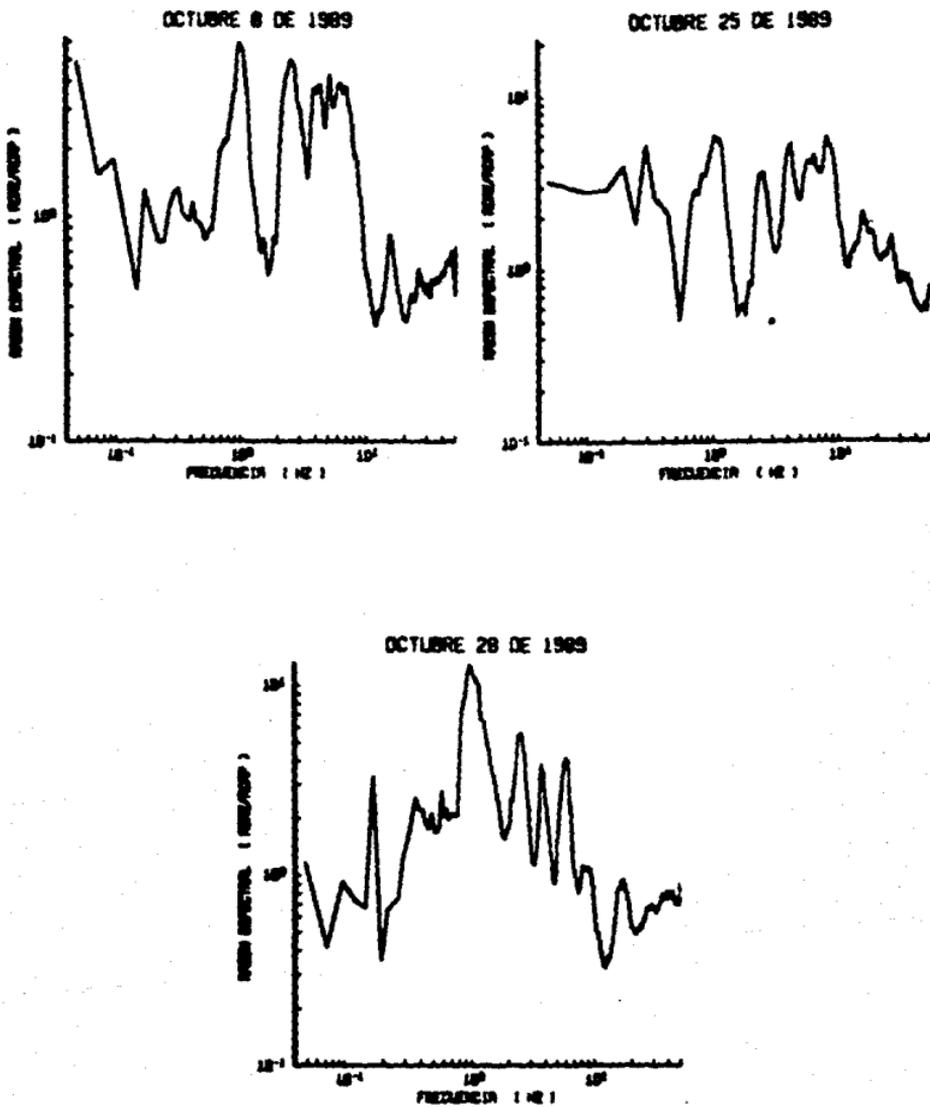


Fig. 4.27 Función de Transferencia en ACAZ con respecto al sitio ACAP.

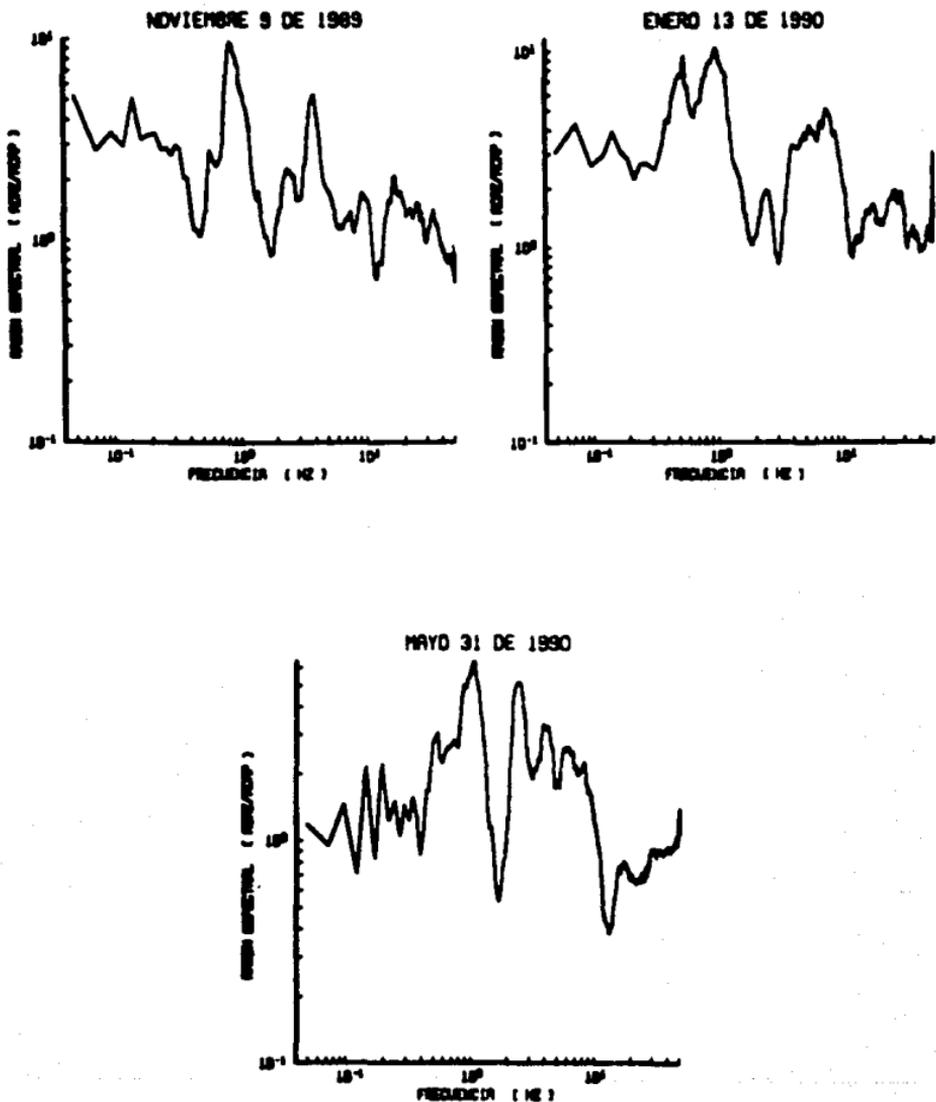
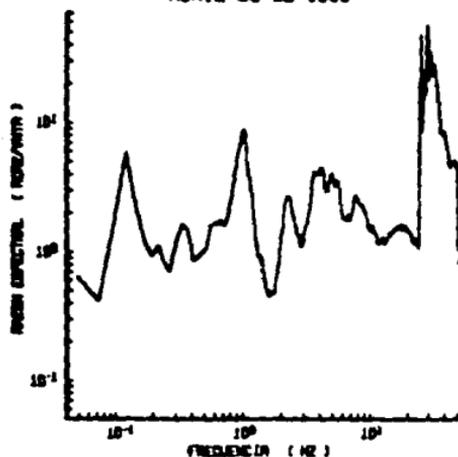
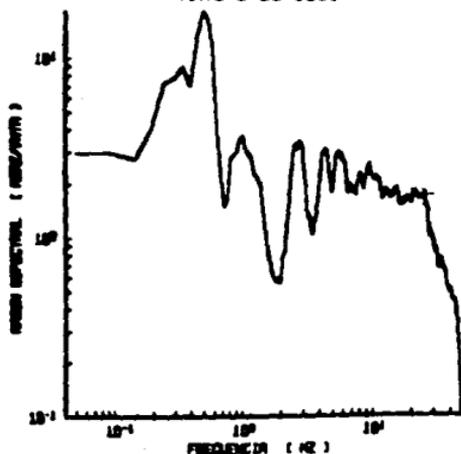


Fig. 4.28 Función de Transferencia en ACAZ con respecto al sitio ACAP.

ABRIL 25 DE 1989



MAYO 2 DE 1989



AGOSTO 17 DE 1989

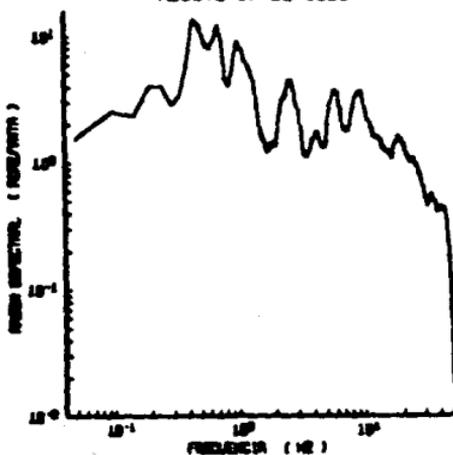


Fig. 4.29 Función de Transferencia en ACA2 con respecto al sitio VNTA.

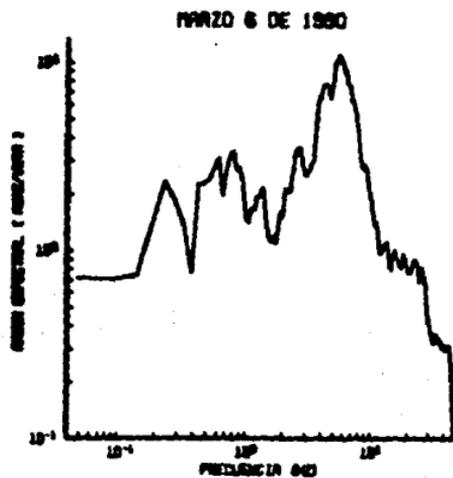
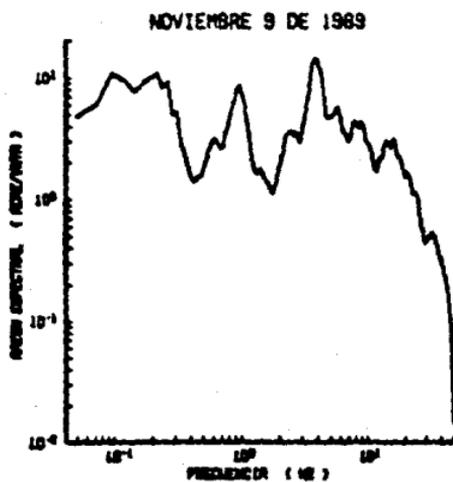


Fig. 4.30 Función de Transferencia en ACA2 con respecto al sitio VNTA.

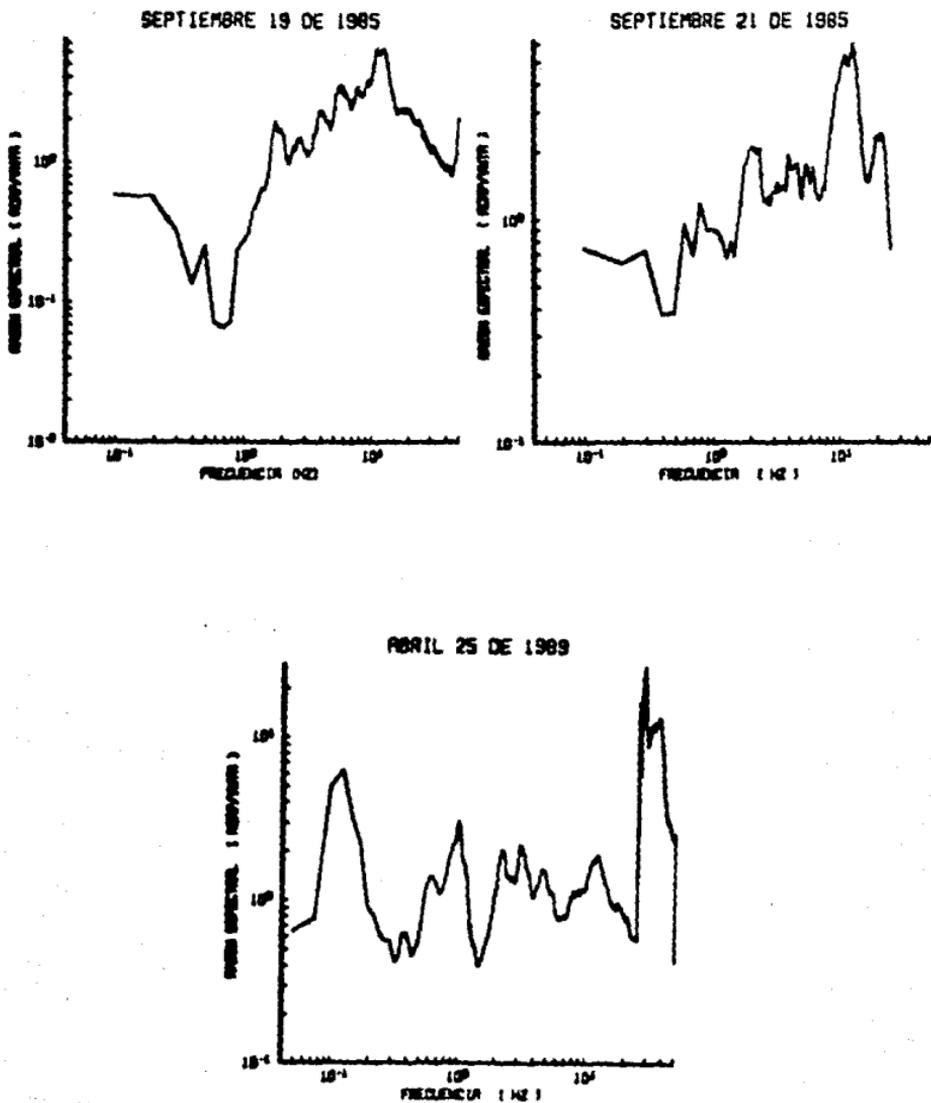


Fig. 4.31 Función de Transferencia en ACAP con respecto al sitio VNTA.

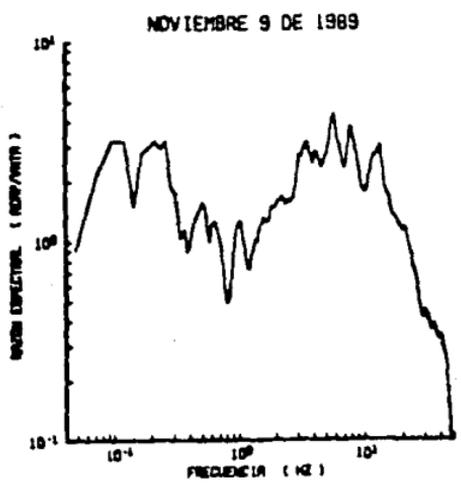
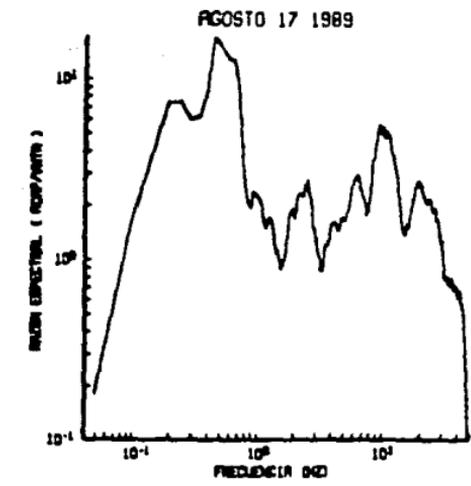


Fig. 4.32 Función de Transferencia en ACAP con respecto al sitio VNTA.

V. ESPECTROS DE RESPUESTA.

Los espectros de respuesta permiten conocer el efecto que produce un sismo en un sistema de un grado de libertad. Se pueden encontrar las fuerzas máximas que actúan en los sistemas, conocidos los desplazamientos máximos.

Una estructura durante toda su vida útil, se verá sometida a la acción de varios sismos, los cuales provocarán diferentes historias de respuesta, pues ellos presentan variaciones en la magnitud, distancia epicentral, contenido de frecuencias y duración.

Es por esta razón que las estructuras deben diseñarse para un considerable número de espectros de respuesta obtenidos a partir de diferentes sismos, definiendo con ello a los espectros de diseño.

Existen reglas empíricas para construir los espectros de diseño. Estas reglas consisten en multiplicar la aceleración, velocidad y desplazamiento máximo del terreno por constantes que toman en cuenta las incertidumbres en la valuación de periodos, los efectos de temblores de distintos orígenes, la influencia del amortiguamiento y de los distintos tipos de suelo. Los reglamentos de construcciones prescriben también la manera de tomar en cuenta el comportamiento inelástico, mediante espectros reducidos por ductilidad (Ref. 21).

Para edificaciones urbanas y para muchas estructuras industriales, es aceptable considerar un amortiguamiento del 5 por ciento del crítico en el cálculo del espectro. Los espectros de diseño

especificados por la mayoría de las normas de diseño están basados en dicho valor.

V.1 REGISTROS INCLUIDOS.

En este capítulo se analizan los espectros de respuesta para un amortiguamiento del 5 por ciento del crítico, obtenidos de los datos de eventos históricos, considerando como tales, aquellos que alcanzaron grandes aceleraciones o bien ocasionaron daños significativos en las estructuras, como es el caso de los sismos de marzo 19 de 1978, marzo 14 de 1979, septiembre 19 y 21 de 1985 y abril 25 de 1989 (Ref. 22). Ver tablas 3.1 y 3.2. También se emplearon los espectros de los eventos recientes que produjeron las mayores amplitudes de aceleración espectral. Se utilizó únicamente el espectro de la componente con mayor valor.

Como se mencionó en el capítulo III, se cuenta con los espectros para cada una de las ERA en donde se tuvo registro, por lo que el análisis se hizo en forma individual y posteriormente tomando en cuenta la localización de ellas en la zonificación propuesta en la Ref. 23.

V.2 ANALISIS DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA.

Eventos históricos.

En ACAC se tiene solamente el del 25 de abril. En la Fig. 5.1 podemos apreciar que la máxima respuesta asociada a un periodo de 0.11 s es de 606 gales. Para el periodo de 0.5 s, considerado el dominante del sitio, se tiene una aceleración de 300 gales aproximadamente.

El máximo valor espectral que se tiene para el registro del 25 de abril en ACAD es de 1705 gales para un periodo de 0.28 s ($f=3.57$ Hz), muy cercano al dominante de la zona ($f_0 = 3.5$ Hz). Ver Fig. 5.2.

También para ACAR y ACAZ sólo se cuenta con registro de este evento, ya que son ERA relativamente recientes. Podemos observar en las Fig. 5.3 y 5.4 que coincide el periodo dominante ($T_0 = 0.28$ s) de ACAR con el asociado a la máxima aceleración espectral cuyo valor rebasa 580 gales, mientras que para ACAZ ésta se encuentra en un periodo de 0.26 s. Para el dominante del sitio ($T_0 = 1.0$ s) se tienen 120 gales de aceleración espectral.

De lo anterior podemos apreciar como influyen las condiciones locales, pues no obstante, de tratarse del mismo evento, la distancia prácticamente la misma y los otros parámetros constantes, la respuesta es totalmente distinta.

Para ACAP y ACAS se cuenta con todos los registros de los eventos históricos.

El sismo de marzo 19 de 1978 ha provocado las más altas aceleraciones registradas en Acapulco. Particularmente en ACAS, para la componente transversal, la máxima aceleración fue de 774 gales (Ref. 10), lo cual sin duda genera espectros de respuesta con amplitudes muy grandes.

En ACAP el periodo dominante es de 0.09s ($f_0 = 11$ Hz) y para periodos muy cercanos a éste se tienen los máximos valores espectrales (1326 gales). Figs. 5.5 a 5.9.

En el caso de ACAS las máximas aceleraciones espectrales están asociadas a periodos próximos a 0.14 s ($f_0 = 7$ Hz) considerado el dominante, aunque el mayor valor de todos se encuentra en 0.08 s y sobrepasa los 2590 gales (Figs. 5.10 a 5.14).

La frecuencia asociada a la VNTA es de 8 Hz ($T_0 = 0.125$ s) y para ésta, los valores espectrales varían entre 20 y 80 gales, sin embargo, el mayor es de 182 gales en un periodo de 0.15 s (Figs 5.15 a 5.17).

Comparación de los espectros de respuesta máximos con los espectros de diseño propuestos.

En capítulos anteriores se hizo mención de los estudios que se realizaron para la revisión del Reglamento de Construcciones para los municipios del estado de Guerrero, entre ellos, a las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo.

En dichas Normas se propone una zonificación sísmica del puerto de Acapulco, así como de sus alrededores (Figs. 5.18 y 5.19) para poder calcular el coeficiente sísmico para diseño (Ref. 23).

A partir de esta zonificación se han propuesto, paralelamente, espectros de diseño óptimos (Refs. 24 y 25).

Tomando en consideración la zonificación sísmica, podemos ubicar las ERA como sigue:

ERA	TIPO DE TERRENO
ACAN, ACAP, VNTA	I
ACAC, ACAD, ACAR, ACAS	II
ACAZ	III

TIPO I. Terreno firme, tal como tepetate compacto, arenisca medianamente cementada y arcilla muy compacta. Se incluye la roca basal.

TIPO II. Suelo de baja rigidez, tal como arenas no cementadas o limos, de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad y depósitos aluviales compactos, todo lo anterior de espesor menor de 40 m.

TIPO III. Arcillas blandas muy compresibles, depósitos aluviales sueltos y depósitos de barra en las costas, todo lo anterior de espesor no menor de 40 m.

Para el tipo de terreno I se tiene que la máxima aceleración del espectro de respuesta es precisamente la del sismo de marzo 19 de 1978 con un valor de 1326 gales, el cual supera por mucho el valor marcado en el Reglamento (artículo 206) igual a 0.5 de g° para estructuras del grupo B y 0.75 de g para las del grupo A (Fig 5.20). Sin embargo, este fue un evento extraordinario por lo que habría que tomarse en cuenta su periodo de recurrencia.

Analizando los espectros de respuesta para las ERA ubicadas en terrenos tipo II se observa que las máximas aceleraciones espectrales están por arriba de las señaladas, cuyo valor es de 0.86 de g , en el espectro de respuesta para el sismo del 19 de marzo de 1978 se tiene una aceleración espectral de 2.5 de g (Fig. 5.21) y para el sismo de abril 25 de 1989 este valor alcanza 1.73 de g (Fig. 5.22).

$$^{\circ} g = 981 \text{ cm/s}^2$$

Para el tipo III el valor de la ordenada espectral de diseño es de 0.86 de g y el correspondiente en el espectro de respuesta es de 0.76 de g (Fig. S.23).

Cabe señalar que aunque los eventos considerados en este apartado son los que tienen las mayores aceleraciones espectrales, no significa que éstas no puedan ser más grandes, pues como se mencionó, dependen tanto del tipo de terreno como de las características del movimiento.

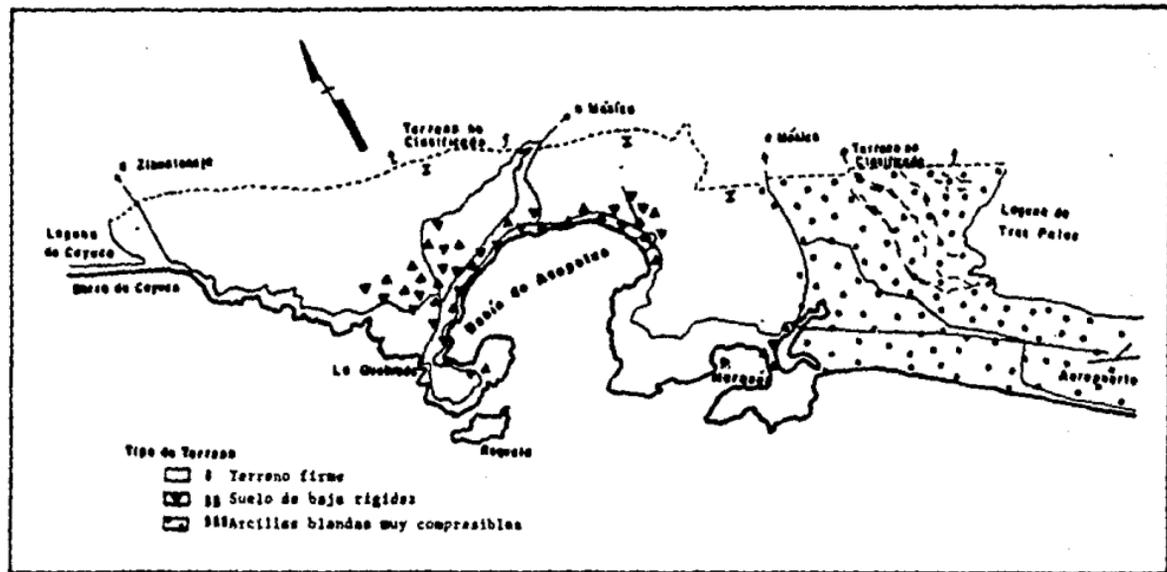


Fig. 5.19 Zonificación sísmica de los alrededores de la Bahía de Acapulco (Ref 22)

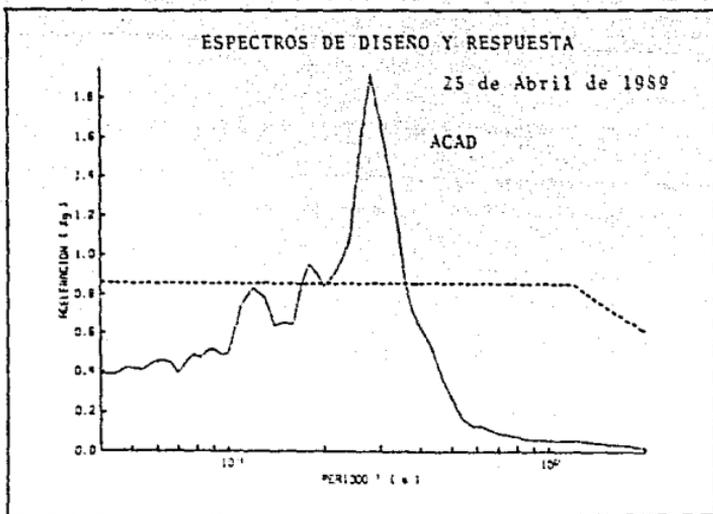


Fig. 5.22 Espectros de diseño y respuesta en el tipo de terreno II para el 5% de amortiguamiento.

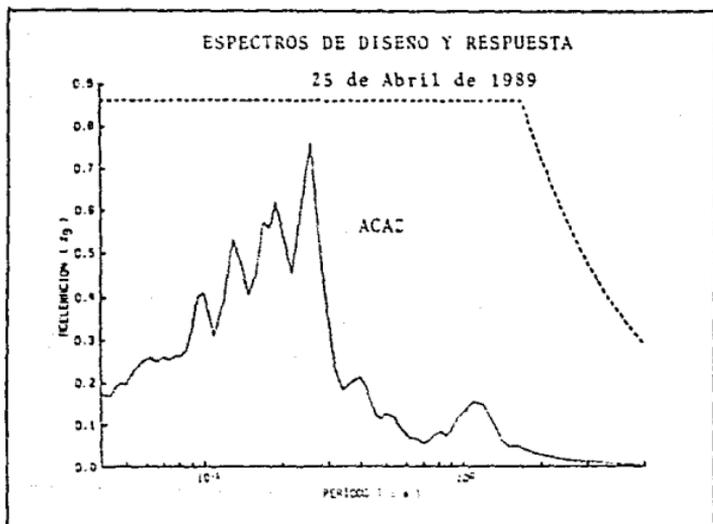


Fig. 5.23 Espectros de diseño y respuesta en el tipo de terreno III para el 5% de amortiguamiento.

VI. CONCLUSIONES.

Para conocer la propagación de las ondas sísmicas desde su origen hasta la Cd. de México hace falta instalar más ERA, particularmente en el trayecto Cuernavaca-México.

A partir de los espectros de Fourier de aceleración se definieron los periodos dominantes de los sitios en donde se localizan cada una de las ERA. En ellos se observa claramente la influencia que tienen tanto la topografía como las propiedades dinámicas de los estratos subyacentes.

En ACAP las irregularidades topográficas influyen de manera significativa amplificando los movimientos. A pesar de haberse calculado también las FT para la VNTA se requiere contar con otras estaciones sobre roca para poder discriminar este efecto de los debidos a las condiciones propias del sitio.

El valor máximo de amplificación relativa (AR) en la estación ACAC con respecto a ACAP asociada a una frecuencia de 2 Hz es de 10 veces y referido a la VNTA de 18 veces.

De los sitios estudiados, en el que se presentan los efectos más graves de AR es en la estación ACAD, donde el valor máximo es de 22 veces con respecto a la VNTA para la frecuencia de 5.3 Hz. Referido a ACAP es de 13 veces.

Se requiere mayor número de registros en ACAN para conocer de manera más precisa, el periodo dominante y la amplificación que se tiene en este sitio con respecto a la roca. Sería conveniente densificar las mediciones para ampliar la cobertura de las curvas de isoperiodos elaboradas con la técnica de microtemblores.

Para la frecuencia de 3.5 Hz considerada como la dominante en ACAR se tiene la mayor AR, cuyo valor es de 6 veces con respecto a ACAP y de 10 veces con la VNTA.

Debido al proceso que se sigue para la recuperación de datos en ACAS los resultados de AR tienen mayor dispersión. Para la frecuencia de 7 Hz es del orden de 2 veces.

En ACAZ se tiene para la frecuencia de 1 Hz una AR referida a ACAP de 13 veces. Con respecto a VNTA varía entre 3 y 8 veces. Es necesario una mayor instrumentación en la zona de depósitos de barra debido al poco conocimiento que se tiene de esta región.

Al comparar los espectros de respuesta con los espectros de diseño propuestos en el Reglamento de Construcciones para el estado de Guerrero, se observó que algunos de ellos rebasan considerablemente a los de diseño. Resultados que se debieron considerar al elaborarse los espectros de diseño.

Para un mejor conocimiento de los efectos de sitio en la Bahía de Acapulco, se necesita realizar un mayor número de trabajos de investigación, entre los que se tendría que considerar la determinación de una FT típica con la cual, teniendo las características del movimiento en cualquiera de las ERA se podrían conocer las de otro sitio.

REFERENCIAS

1. Bolt, B., *Earthquakes*, W H Freeman and Company, USA, (1980).

2. Montiel, J., F. Mooser y R. Prieto, *Informe geológico en relación al riesgo sísmico de la región de Acapulco Edo. Guerrero*, Centro de Investigación Sísmica, Fundación Barros Sierra, (1988).

3. Suárez, G., *El potencial sísmico en la República Mexicana*, revista Ingeniería, vol. LX, núm. 2, (1990).

4. Quas, R., et al, *La red acelerográfica de Guerrero: resumen de cuatro años de operación y registro*, VIII Congreso de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., (noviembre 1989).

5. Castro, G., et al, *Instalación y operación durante 1989 de tres nuevas estaciones acelerográficas en la Red de Atenuación Acapulco-México*, Instituto de Ingeniería, UNAM, (1990).

6. Flamand, C., et al, *Información sobre el subsuelo y la práctica de la Ingeniería de cimentaciones en la Cd. de Acapulco, Gro.*, SIMS VI Reunión Nacional, (1972).

7. *Técnica Geomecánica de la Construcción, Perfil geotécnico del hotel La Palapa.*

8. Ovando, E., et al. *Recopilación y análisis de datos geotécnicos de Acapulco*, Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra, (1989).
9. Muría, D., *Principales características de los acelerogramas registrados en Acapulco, Gro, de 1965 a 1976*, tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, (1978).
10. Velasco, J. M., et al. *Instrumentación sísmica del puerto de Acapulco, Gro para el registro de temblores fuertes*, VIII Congreso de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., (noviembre 1989).
11. Quas, R., *Sistema de reducción de datos acelerográficos digitales en computadora PC*, Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, (1987).
12. Mena, E., C. Carmona, *TERRE: Sistema para proceso de acelerogramas*, Rev. 03, publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM, (1986).
13. California Institute of Technology, *Routine computer processing of strong-motion accelerograms*, USA, (1973).
14. Valerdi, J., *Notas del Seminario sobre instrumentación sísmológica*, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C., (1977).

15. Ruiz, S., *Influencia de las condiciones locales en las características de los sismos*, Instituto de Ingeniería, UNAM.
16. Alcántara, L., E. Mena y S. K. Singh, *Efecto de Amplificación del subsuelo del Delta del Balsas ante la acción de temblores fuertes*, VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Querétaro, Qro., (noviembre 1987).
17. Mena E., L. Alcántara y M. Macías, *Efectos locales observados en Acapulco, Gro durante temblores fuertes*, VIII Congreso de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro., (noviembre 1989).
18. Newland, D., *Vibraciones aleatorias y análisis espectral*, AC, Madrid (1983).
19. Gutiérrez, C., et al, *Registro de temblores pequeños y medición de microtemblores en Acapulco para microzonificación de la ciudad*, Instituto de Ingeniería, UNAM, (1989).
20. Reséndiz, D., *Problemas geotécnicos de la Ingeniería Sísmica*, revista Ciencia de la Academia de Investigación Científica, vol. 38, núm. 1, México, (1987).
21. Mell, R., *Diseño estructural*, Limusa, México, (1985).

22. Mena, E., et al, *Sismo del 25 de Abril de 1989 Cuarta parte: Acelerogramas registrados en Acapulco, Gro.*, Instituto de Ingeniería, UNAM, IPS-12-D, (1989).
23. Reglamento de Construcciones Edo. de Guerrero, Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, Instituto de Ingeniería, UNAM, revisión octubre 1989.
24. Ordaz, M., M. Jara y S. K. Singh, *Riesgo sísmico y espectros de diseño en el estado de Guerrero*, Informe conjunto del Instituto de Ingeniería, UNAM y el Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra, (1989).
25. Romo, M., *Determinación de espectros de respuesta para Acapulco, Gro.*, Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, (marzo 1990).
26. Brigham, E. O., *The fast Fourier transform*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, (1974).
27. Rosenblueth, E. y N. Newmark, *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice Hall, USA (1971).
28. Wakabayashi, M. y E. Martínez, *Diseño de estructuras sismorresistentes*, Mc Graw Hill, México (1988).

ANEXO A

ANALISIS DE FOURIER.

El concepto de análisis en el dominio de la frecuencia, mediante el cual una función periódica puede ser descompuesta en sus componentes armónicos, es de gran utilidad en el estudio de señales (Ref. 18). Siendo importante hacer una breve reseña en este apartado.

Se sabe que si $x(t)$ es una función periódica del tiempo t , con período T tal como se muestra en la figura A-1, siempre es posible expresar $x(t)$ como serie infinita de términos trigonométricos de la forma:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2\pi kt}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kt}{T} \right) \quad (A.1)$$

donde a_0 , las a_k y b_k son los coeficientes de Fourier constantes, dados por:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos \frac{2\pi kt}{T} dt \quad (A.2)$$

$$b_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin \frac{2\pi kt}{T} dt$$

Supóngase que se ajusta la altura del eje t en la fig. A-1 de forma que el valor medio de $x(t)$ sea cero. Entonces, de acuerdo con la primera ecuación de (A.2), el coeficiente a_0 será nulo. Los restantes coeficientes, a_k y b_k , serán en general diferentes entre sí; sus valores se ilustran gráficamente en la figura A-2. El eje horizontal se ha elegido para representar la frecuencia, y la situación del k -ésimo coeficiente es:

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{T} \quad (A.3)$$

que es la frecuencia del k -ésimo armónico. El espacio entre armónicos adyacentes es:

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (A.4)$$

cuanto mayor es el período T , más pequeño es el espacio $\Delta\omega$, y los coeficientes de Fourier están más estrechamente espaciados en la fig. A-2. En el límite $T \rightarrow \infty$, llegarán a unirse. Como en este caso $x(t)$ ya no representa un fenómeno periódico, no nos será posible descomponerla en componentes de frecuencia discreta. Sin embargo, la serie de Fourier (A.1) se convertirá en una integral de Fourier y los coeficientes de Fourier (A.2) en funciones continuas de la frecuencia, denominadas transformadas de Fourier.

Integral de Fourier.

Sustituyendo (A.2) en (A.1) se obtiene para $a_0 = 0$

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos \frac{2\pi kt}{T} dt \right] \cos \frac{2\pi kt}{T} + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \operatorname{sen} \frac{2\pi kt}{T} dt \right] \operatorname{sen} \frac{2\pi kt}{T}$$

A continuación, sustituyendo el valor de $2\pi k/T$ obtenido de (A.3) y el de $1/T$ de (A.4), tenemos:

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{\Delta\omega}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(t) \cos \omega_k t dt \right] \cos \omega_k t + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{\Delta\omega}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(t) \operatorname{sen} \omega_k t dt \right] \operatorname{sen} \omega_k t$$

Si el período $T \rightarrow \infty$, entonces $\Delta\omega \rightarrow d\omega$ y el sumatorio se convierte en una integral con límites $\omega = 0$ y $\omega = \infty$. En tal caso:

$$x(t) = \int_{\omega=0}^{\infty} \frac{d\omega}{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos \omega t dt \right\} \cos \omega t +$$

$$+ \int_{\omega=0}^{\infty} \frac{d\omega}{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin \omega t dt \right\} \sin \omega t$$

o bien:

$$A(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos \omega t dt, B(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin \omega t dt \quad (A.5)$$

resulta:

$$x(t) = 2 \int_0^{\infty} A(\omega) \cos \omega t d\omega + 2 \int_0^{\infty} B(\omega) \sin \omega t d\omega \quad (A.6)$$

Los términos $A(\omega)$ y $B(\omega)$ definidos por (A.5) son las componentes de la transformada de Fourier de $x(t)$ y la ecuación (A.6) es una representación de $x(t)$ mediante una integral de Fourier o una transformada inversa de Fourier.

Forma compleja de la transformada de Fourier.

Se ha hecho habitual en la teoría de vibraciones aleatorias escribir las ecuaciones (A.5) y (A.6) en forma compleja, para lo cual se utiliza el hecho de que:

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta \quad (\text{A.7})$$

Definiendo $X(\omega)$ como:

$$X(\omega) = A(\omega) - i B(\omega) \quad (\text{A.8})$$

se pueden combinar las ecuaciones (A.5), resultando:

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) (\cos \omega t - i \operatorname{sen} \omega t) dt$$

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \quad (\text{A.9})$$

donde se ha tomado en cuenta (A.7). Esta última ecuación es la definición formal de $X(\omega)$, que recibe el nombre de transformada de Fourier de $x(t)$.

Transformadas discretas de Fourier (DFT).

La mayor parte de las medidas experimentales sobre procesos aleatorios se llevan a cabo mediante técnicas digitales. Para ello se introduce una función típica $x(t)$ del proceso en un convertidor analógico-digital. El convertidor muestrea $x(t)$ en una serie de instantes regularmente espaciados fig. (A-3).

Si el intervalo de muestreo es Δ (constante), el valor discreto de $x(t)$ en el instante $t = r\Delta$ se representa por x_r ; la sucesión $\{x_r\}$, $r = \dots, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$, recibe el nombre de serie temporal discreta. Dado que la serie discreta ha sido obtenida de una función continua en el tiempo, a esta última suele llamársele serie temporal continua. Así, el término <serie temporal> se refiere, o bien a la sucesión de valores discretos x_r ordenados en el tiempo, o bien a la función continua en el tiempo, $x(t)$ de la que la serie discreta ha sido obtenida. El objetivo del análisis de series temporales es la determinación de las características estadísticas de la función original $x(t)$ mediante la manipulación de sucesiones de valores x_r . Nos interesa sobre todo la composición de $x(t)$ en el dominio de la frecuencia (Ref. 18).

Entonces si tenemos que:

$$x_k = \frac{1}{T} \sum_{r=0}^{N-1} x_r e^{-j(2\pi k/T)(r\Delta)} \Delta \quad (\text{A.10})$$

lo cual equivale a suponer que el área total comprendida entre la curva y el eje r de la figura (A-4) viene dada por la suma de todas las bandas rayadas. Sustituyendo $T = N\Delta$ en (A.10) se obtiene:

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} x_r e^{-j(2\pi kr/N)} \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \quad (\text{A.11})$$

Expresión de la definición formal de transformada discreta de Fourier (DFT).

A pesar de que (A.15) no suministra toda la información necesaria para permitir la reconstrucción de la serie temporal $x(t)$, el hecho de que permita la recuperación exacta de los valores discretos de la serie $\{x_r\}$ es de gran importancia. Cualquier valor x_r de la serie $\{x_r\}$ viene dado por la fórmula inversa:

$$x_r = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{i(2\pi kr/N)} \quad (\text{A.12})$$

Transformada rápida de Fourier (FFT).

La transformada rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform) es un algoritmo de computador para el cálculo de transformadas discretas de Fourier (DFT). Entonces de (A.11), si se quisiera calcular los valores de x_k de forma directa, tendríamos que hacer N multiplicaciones de la forma $\{x_r\}$ por $\{e^{-i(2\pi kr/N)}\}$ para cada uno de los valores de x_k , con lo que el cálculo de la sucesión requeriría N^2 multiplicaciones; mientras que la FFT reduce este número de aproximaciones a $N \log_2 N$.

La FFT funciona partiendo la sucesión completa $\{x_r\}$ en un cierto número de sucesiones más cortas. No se calcula la DFT de la sucesión

original, sino la de estas sucesiones más cortas. A continuación la FFT cambia estas DFT de forma ingeniosa para dar la DFT completa de $\{x_r\}$. Esto suena complicado pero en realidad el fundamento lógico es sorprendentemente sencillo (Ref. 26).

Si suponemos que $\{x_r\}$, $r=0,1,2,\dots,(N-1)$, es la sucesión de la fig. A-5 (a), donde N es un número par, y que la partimos en dos sucesiones más cortas, $\{Y_r\}$ y $\{Z_r\}$, fig. A-5 (b).

$$Y_r = X_{2r}$$

$$r = 0,1,2,\dots,(N/2 - 1) \quad (\text{A.13})$$

$$Z_r = X_{2r+1}$$

Las DFT de estas dos sucesiones cortas son, según (A.11)

$$Y_k = \frac{1}{(N/2)} \sum_{r=0}^{N/2-1} Y_r e^{-j \frac{2\pi k r}{(N/2)}}$$

$$k = 0,1,2,\dots,(N/2 - 1) \quad (\text{A.14})$$

$$Z_k = \frac{1}{(N/2)} \sum_{r=0}^{N/2-1} Z_r e^{-j \frac{2\pi k r}{(N/2)}}$$

Volvamos ahora a la DFT de la sucesión original $\{x_r\}$ y reordenemos la suma en dos sumas separadas similares a las que aparecen en (A.13). En primer lugar, separamos los términos pares e impares de $\{x_r\}$:

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} x_r e^{-j \frac{2\pi r k}{N}}$$

$$= \frac{1}{N} \left[\sum_{r=0}^{N/2-1} X_{2r} e^{-j \frac{2\pi(2r)k}{N}} + \sum_{r=0}^{N/2-1} X_{2r+1} e^{-j \frac{2\pi(2r+1)k}{N}} \right]$$

sustituyendo (A.13) en esta expresión, y comparando con (A.14) encontramos que:

$$X_k = \frac{1}{2} [Y_k + e^{-j(2\pi k/N)} Z_k] \quad k=0,1,2,\dots,(N/2-1) \quad (A.15)$$

Así pues, la DFT de la sucesión original puede ser obtenida directamente a partir de las DFT de los dos semisucesiones Y_k y Z_k . Estas ecuaciones constituyen la base del método FFT, si el número de muestras N de la sucesión $\{x_r\}$ es una potencia de 2, las semisucesiones $\{Y_r\}$ y $\{Z_r\}$ pueden a su vez ser partidas en semisucesiones, y así sucesivamente, hasta que finalmente las últimas subsucesiones contengan cada una un sólo término (Ref. 18).

La fórmula (A.15) es válida solamente para valores de k comprendidos entre 0 y $N/2 - 1$, es decir, solamente se aplica a la mitad de los coeficientes de la serie $\{X_k\}$.

Para obtener la otra mitad correspondiente a $N/2 \leq k \leq (N-1)$, tendremos en cuenta el hecho de que Y_k y Z_k son periódicas en k y se repiten con periodo $N/2$, de forma que:

$$Y_{k-N/2} = Y_k \quad \text{y} \quad Z_{k-N/2} = Z_k \quad (\text{A.16})$$

La formulación completa para el cálculo de los valores de X_k a partir de Y_k y Z_k es:

$$X_k = \frac{1}{2} [Y_k + e^{-i(2\pi k/N)} Z_k] \quad \text{para } k=0,1,2,\dots,(N/2-1)$$

(A.17)

$$X_k = \frac{1}{2} [Y_{k-N/2} + e^{-i(2\pi k/N)} Z_{k-N/2}] \quad \text{para } k=N/2,(N/2+1),\dots,(N-1)$$

recordando que $e^{-i\pi} = -1$, esta expresión se puede simplificar a:

$$X_k = \frac{1}{2} [Y_k + e^{-j(2\pi k/N)} Z_k]$$

$$X_{k+N/2} = \frac{1}{2} [Y_k - e^{-j(2\pi k/N)} Z_k] \quad \text{para } k=0,1,2,\dots,(N/2-1)$$

finalmente, si definimos una nueva variable compleja:

$$W = e^{-j(2\pi/N)}$$

podemos obtener la denominada mariposa de cálculo:

$$X_k = \frac{1}{2} [Y_k + W^k Z_k]$$

para $k = 0, 1, 2, \dots, (N/2 - 1)$

$$X_{k+N/2} = \frac{1}{2} [Y_k - W^k Z_k]$$

Que aparece en la mayor parte de los programas de cálculo de FFT, una característica de la mayor parte de los algoritmos FFT es que la longitud N de la sucesión de datos que se analizan ha de ser potencia de

2, es decir, $N=2^n$, siendo n un entero positivo, sin embargo, difícilmente esta condición se cumplirá; antes que abandonar parte de los datos para ajustar N a la potencia de 2 más baja, será preferible añadir a los datos una sucesión de ceros, hasta hacer coincidir N con la potencia de 2 siguiente más alta.

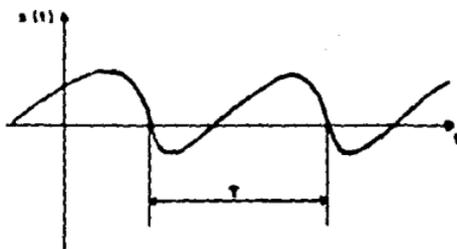


FIG. A-1 Función periódica arbitraria en el tiempo.

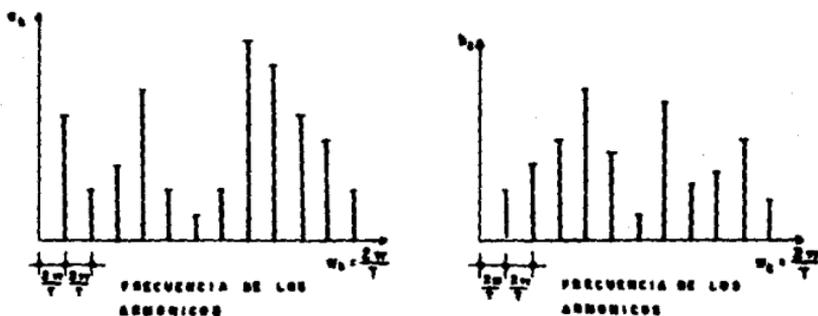


FIG. A-2 Representación gráfica de los coeficientes de Fourier.

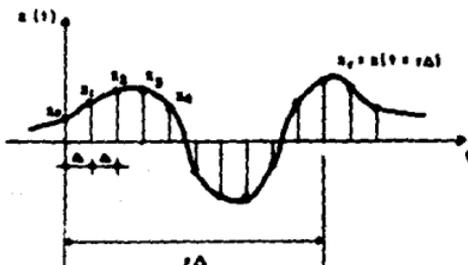


FIG. A-3 Muestreo de una función continua en el tiempo a intervalos regulares.

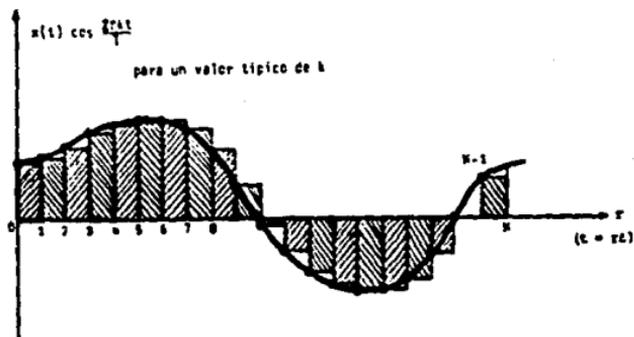


Fig. A-4 Aproximación resultante de calcular los coeficientes de Fourier de una serie discreta en lugar de los de una serie continua.

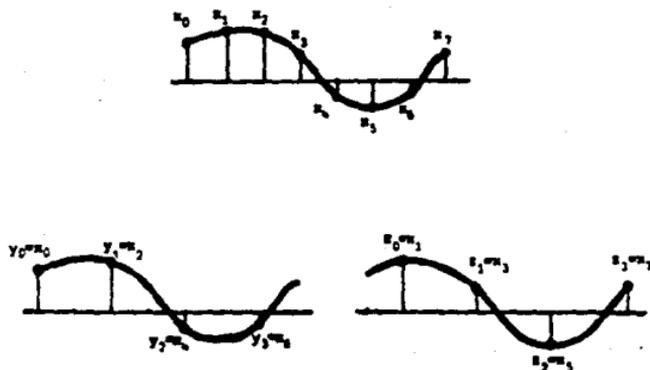


Fig. A-5 Partición de la sucesión x_r en dos semisucesiones y_r y z_r

ANEXO B

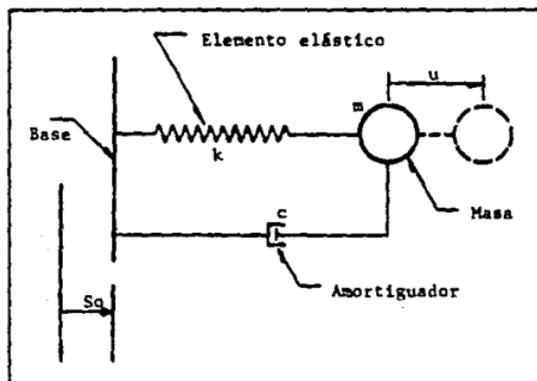
TEORIA GENERAL DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA

Al someter una estructura a una excitación en la base, como lo es un sismo, ésta responde como un sistema vibratorio, el cual disipa la energía que ha sido generada por el movimiento, precisamente vibrando (Ref. 20).

La amplitud de dicha vibración depende de las características del movimiento, del suelo, cimentación y elementos estructurales y no estructurales.

A pesar de la complejidad de un sistema como éste, las principales características de su respuesta pueden ilustrarse mediante el estudio de un sistema simple de un grado de libertad.

El análisis de este sistema supone una masa, un resorte, representando la rigidez lateral, y un amortiguador que representa la disipación de energía que la estructura realiza. Cuando es sometido a un movimiento en la base, se generan sobre la masa tres tipos de fuerzas:



La fuerza de inercia, que es proporcional a la masa y a la aceleración del terreno y la de la masa relativa al terreno.

La fuerza generada en la columna por su rigidez lateral, oponiéndose a ser desplazada con respecto al terreno.

La fuerza de amortiguamiento, tratando de restablecer el equilibrio, proporcional a la velocidad de la masa en relación al suelo. Es originada principalmente por la fricción interna de los materiales y al rozamiento entre los componentes de la construcción.

Por lo que la ecuación de equilibrio dinámico se puede escribir como:

$$F_i + F_R + F_A = 0$$

En donde:

F_i = Fuerza de inercia = $m\ddot{x}_r$

F_R = Fuerza que resiste el resorte = Kx

F_A = Fuerza de amortiguamiento = $c\dot{x}$

m = Masa del sistema idealizado.

\ddot{x}_t = aceleración total = aceleración del terreno +
aceleración de la masa con respecto al terreno
= $\ddot{x}_g + \ddot{x}$

K = Constante de rigidez del resorte.

x = Desplazamiento de la masa con respecto al suelo.

c = Coeficiente de amortiguamiento.

O de otro modo, sustituyendo y dividiendo entre la
masa:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{K}{m} x = -\ddot{x}_g \quad (1)$$

Tomando en cuenta los conceptos relacionados con la vibración
libre, los cuales:

$\omega = (K/m)^{1/2}$ = Frecuencia circular del sistema.

$T = 2\pi/\omega$ = Período del movimiento armónico simple.

$c_{cr} = 2[(km)^{1/2}]$ = Amortiguamiento crítico, para el cual el sistema, después de desplazado, volvería al reposo sin oscilar.

$\xi = \frac{c}{c_{cr}}$ = Fracción del amortiguamiento crítico.

Por lo tanto la ecuación diferencial (1) queda como:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_0 \quad (2)$$

En la cual se ve, que la respuesta del sistema queda definida únicamente por la frecuencia circular y la fracción del amortiguamiento crítico.

La solución de esta ecuación, cuando la estructura parte del reposo, se obtiene superponiendo la respuesta a una serie de impulsos infinitesimales, en la llamada integral de Duhamel:

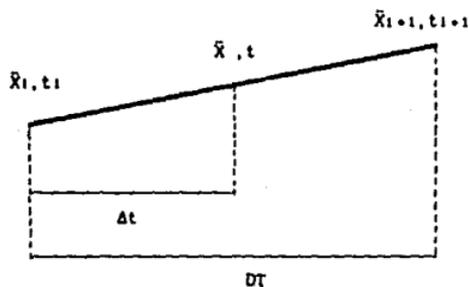
$$x(t) = -\frac{1}{\omega} \int_{t_0}^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \text{sen}\omega(t-\tau) d\tau$$

Obtener la respuesta mediante la integral de Duhamel es un trabajo desahogado laborioso que implica la disponibilidad de computadoras para su obtención.

Existe otro método, conocido como el Método Beta de Newmark, dado a conocer en 1959, el cual es capaz de proporcionar la respuesta de sistemas, incluso, de muchos grados de libertad (Ref. 27).

Este método supone que la respuesta del sistema es lineal entre dos puntos consecutivos cuando $\Delta T \rightarrow 0$.

En forma general consiste en lo siguiente:



Si $t = t_i + \Delta t$ y $\Delta t < \Delta T$ se tiene:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{\Delta T} \cdot \Delta t + \bar{x}_i \quad (3)$$

Donde $i = 0, 1, \dots, NP$ $NP = \text{No. de datos de aceleración}$

Integrando la ecuación (3) para obtener la velocidad y el desplazamiento:

$$\dot{X} = \left[\frac{\ddot{X}_{1+1} - \ddot{X}_1}{DT} \right] \frac{\Delta t^2}{2} + \ddot{X}_1 \Delta t + \dot{X}_1$$

$$X = \left[\frac{\ddot{X}_{1+1} - \ddot{X}_1}{DT} \right] \frac{\Delta t^3}{6} + \frac{\ddot{X}_1 \Delta t^2}{2} + \dot{X}_1 t + X_1$$

Cuando $\Delta t = DT$, $\ddot{X}_0 = 0$, $X_0 = 0$, $X_0 = 0$ tenemos:

$$\ddot{X}_{1+1} = \ddot{X}_{1+1}$$

$$\dot{X}_{1+1} = \frac{1}{2} \left[\ddot{X}_{1+1} + \ddot{X}_1 \right] DT + \dot{X}_1 \quad (5)$$

$$X_{1+1} = \frac{1}{6} \left[\ddot{X}_{1+1} + 2\ddot{X}_1 \right] DT^2 + \dot{X}_1 DT + X_1 \quad (6)$$

Sustituyendo las ecs. (5) y (6) en la (2) y despejando se obtiene:

$$\ddot{X}_{i+1} = \frac{X_i \omega^2 + \dot{X}_i (2\omega\xi + \omega^2 DT) + \ddot{X}_i (\omega\xi DT + (1/3)\omega^2 DT^2) + X_{o, i+1}}{\left[1 + \omega\xi DT + \frac{\omega^2}{6} DT^2 \right]}$$

Se sustituye este valor en las ecs (5) y (6), para obtener \dot{X}_{i+1} y X_{i+1} .

Se procede a calcular \ddot{X}_{i+2} , \dot{X}_{i+2} y X_{i+2} así para todo el número de datos de aceleración del terreno.

Este procedimiento se realiza para cada ω y ξ deseados.

Es importante señalar, que desde el punto de vista de diseño estructural, interesa primordialmente la mayor sollicitación a la que estará sujeta la estructura, por lo que no es necesario conocer la historia completa de la respuesta, sino el valor máximo de ella (Ref. 28).

Con todo lo antes mencionado, podemos definir al espectro de respuesta como un diagrama de la respuesta máxima a un sismo de sistemas de un grado de libertad, con características lineales de la fuerza restauradora, ya sea de aceleración, velocidad o desplazamiento máximos, contra el período natural del sistema.