

03077

1
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y DE POSGRADO

DEL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

ESTUDIO DE PERIODOS DOMINANTES Y AMPLIFICACION RELATIVA
EN ACAPULCO, GRO. EMPLEANDO MICROTREMORES Y MOVIMIENTOS FUERTES.

T E S I S

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

(SISMOLOGIA Y FISICA DEL INTERIOR DE LA TIERRA)

presenta

CARLOS ANTONIO GUTIERREZ MARTINEZ

México, D.F.

1992

TESIS CON
FALLA EN ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pag.
RESUMEN	1
I INTRODUCCION	2
II ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES	4
III ANALISIS DE MICROTREMORES	6
III.1 Registro de microtremores.	6
III.2 Espectros de amplitud de microtremores.	6
III.3 Razones espectrales de microtremores en sitios de acelerógrafos.	8
IV ANALISIS DE ACELEROGRAMAS	9
IV.1 Espectros de amplitud de aceleración.	9
IV.2 Razones espectrales de aceleración.	10
IV.3 Comportamiento lineal en sitios de acelerógrafos.	11
V DISCUSION	13
VI CONCLUSIONES	15
REFERENCIAS	16
TABLAS	20
FIGURAS	24

RESUMEN

Como parte de un proyecto para evaluar el riesgo sísmico de los diferentes sectores del área urbana de Acapulco, se registraron microtremores dentro y alrededor de dicha ciudad en 70 sitios diferentes. De los espectros de amplitud de Fourier en velocidad calculados, casi la mitad no definió con precisión el periodo dominante (T_0).

Asimismo, se realizaron pruebas de estacionariedad en 5 sitios de acelerógrafos (ACAC, ACAD, ACAR, ACAZ y VNTA) obteniéndose promedios logarítmicos de espectros de amplitud de Fourier en velocidad para microtremores en cada estación así como para las razones espectrales en relación al sitio de suelo firme (VNTA). Los espectros de amplitud resultantes de las pruebas hechas en un lapso de 8 horas muestran en los sitios de suelos blandos, a diferencia de lo esperado, no un pico asociado al periodo dominante sino una banda de amplitudes que crece marcadamente en una frecuencia cercana a aquella dominante en espectros de aceleración.

Se calcularon espectros de amplitud de Fourier, tanto para ondas S como de coda de S, para componentes horizontales de 27 registros de aceleración de sismos ($4.2 \leq M \leq 6.9$), obtenidos en las 5 estaciones mencionadas. Ambos tipos de espectros resultan altamente concordantes. No se encontró ningún efecto significativo de amplificación dependiente del azimut, magnitud, profundidad o ángulo de llegada a los diferentes sitios analizando las razones espectrales calculadas respecto de VNTA.

La amplificación promedio en aceleración en la frecuencia dominante (f_0) de cada sitio es diferente de aquella obtenida con microtremores. El caso extremo es el de ACAC, donde la amplificación es de 8 veces mientras que con microtremores se observa cercana a 200 veces.

En ninguno de los sitios de acelerógrafos se observó comportamiento no lineal ante la ocurrencia del evento de mayor magnitud (25 de abril, 1989; $M_s = 6.9$), a una distancia aproximada de 50 km.

En términos generales, se establece que el método empleado, aunque satisfactorio en la Ciudad de México y otras ciudades del mundo, en este caso no define con precisión los periodos dominantes observándose marcadas ambigüedades en muchos sitios. Además, no fue posible establecer valores de amplificación relativa con base en microtremores muy probablemente debido a diferencias en la naturaleza de la fuente.

I INTRODUCCION.

La técnica de microzonificación de áreas urbanas empleando microtemores ha sido desarrollada y aplicada principalmente en Japón; recientemente ha sido utilizada con éxito en la Ciudad de México donde se empleó para la renovación del reglamento de construcción. Los microtemores (también conocidos como vibración ambiental) son resultado de la combinación de ondas de diversos tipos, como consecuencia principalmente de la actividad humana como son tránsito de vehículos, actividad industrial y otras (Kanai, 1983), aunque se consideran también las causas naturales principales, como son el oleaje y la influencia del viento sobre el suelo y las edificaciones (Hatherton, 1960). La técnica, inicialmente aplicada por sismólogos japoneses, supone que las frecuencias asociadas a los máximos, tanto en espectros de amplitud de Fourier de velocidad obtenidos de microtemores como en espectros de velocidad o aceleración de sismos, son muy semejantes (Kobayashi, 1986).

Anteriormente, en Acapulco, la microzonificación del área urbana fue elaborada con base en datos geotécnicos (p.ej. pruebas de penetración estándar) lográndose una clasificación muy general del tipo de suelos que permitió una estimación gruesa de su respuesta ante sismos grandes (Torres, 1975). Es fácil suponer que una microzonificación sísmica realizada en términos dinámicos (empleando los movimientos del terreno) tiene mayor resolución.

En este caso, la atención se centró en la determinación de las frecuencias (f_0) o periodos dominantes (T_0) de vibración del terreno esperados en diferentes sitios dentro y alrededor de Acapulco durante temblores de moderada y gran magnitud así como en la relación de T_0 y la amplificación con el azimut, profundidad, distancia epicentral y magnitud de dichos sismos. Esto se llevó a cabo mediante el cálculo de espectros de amplitud de Fourier de microtemores registrados en 70 puntos del área urbana y zonas circunvecinas entre septiembre y diciembre de 1988, y con el cálculo de espectros de amplitud en aceleración y razones espectrales para sismos ocurridos entre agosto de 1988 y enero de 1990.

Usualmente, la microzonificación usando microtemores no se concreta a la determinación de f_0 sino también a la estimación de la amplificación relativa de los movimientos del terreno; por tanto, se observaron microtemores cada hora, en un lapso de 8 horas, simultáneamente en los cinco sitios con acelerógrafos a fin de calcular, al igual que con datos de aceleración, razones espectrales. Una de las suposiciones básicas para validar lo anterior es que la excitación de ruido sísmico es la misma para cualquier sitio dentro de un área dada.

En todos los casos se emplean, para el cálculo de espectros, sólo los componentes horizontales. Son los movimientos en esas direcciones los que llegan a afectar significativamente las edificaciones y que han mostrado mayores amplificaciones (Bard, 1989).

II ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES.

La ciudad de Acapulco se encuentra situada sobre un bloque granítico del que aflora una superficie aproximada de 100 km², circundado por rocas paleozoicas (Complejo Xolapa) y calizas del Cretácico. Sobre el granito, en la zona costera, se encuentran depósitos aluviales, lacustro-aluviales y de barra de edad Pleistoceno-Reciente (Montiel et al., 1989). Estos depósitos son de particular interés pues se encuentran edificaciones de importancia asentadas en ellos.

Dentro de la bahía de Acapulco, se encuentran tres bahías menores que son la de Icacos, Farallón del Obispo-Hornos y Zona Centro-Península (fig 1). La bahía de Icacos está constituida por los depósitos de mayor espesor en la bahía de Acapulco, constituidos por arenas de playa, arcillas negras o turbas de origen lagunar y arenas con intercalaciones de suelos arcillosos tropicales. El espesor total se estima, en la parte central de la depresión, mayor de 35 m en función de datos de pozos geotécnicos.

En la bahía Farallón del Obispo la roca basal se encuentra a 15 ó 20 m con una secuencia cualitativamente similar a la de la bahía de Icacos.

En la zona Centro-Península los suelos, formados por arenas limosas y arcillosas, son menos profundos aunque la configuración de la roca basal es muy variable pudiendo presentar depresiones con profundidades de más de 20 m.

La zona de barra que se encuentra al sureste de Acapulco está básicamente constituida por arenas finas, limos y arcillas, que fueron depositados por transportación eólica y marina (fig.2). Se le estima una profundidad mayor de 20 m; el espesor total se desconoce.

Sobre la depresión granítica se asienta Ciudad Renacimiento donde los suelos, con espesores aproximados de 5 m, están formados por arenas limosas con bajo porcentaje de arcillas que sobreyacen al granito con alteración y fracturamiento variados, (Ovando et al., 1989).

La zona de deyección del río La Sabana está formada por arenas finas y medias. Estos depósitos pueden alcanzar espesores mayores de 10 m, en zonas cercanas a Ciudad Renacimiento. En la zona deltáica se pueden esperar depósitos con mayores espesores y grano más fino así como de estratigrafía más compleja.

III ANALISIS DE MICROTREMORES.

III.1 Registro de microtremores.

Se empleó para el registro de vibración ambiental un sismógrafo digital Sprengnether DR-100 de grabación en cinta magnética y sensores Kinometrics con periodo natural de 5 s para tres componentes ortogonales. La banda de filtrado se mantuvo de 0 a 30 Hz y el muestreo a razón de 100 muestras por segundo. Se grabaron ventanas con duración aproximada de 1 minuto para cada uno de los 70 sitios seleccionados principalmente en áreas sedimentarias (Gutiérrez et al., 1989). La nomenclatura de los puntos observados se basó en la cuadrícula de la Guía Urbana de Acapulco (INEGI, 1987). Para aquellos sitios alrededor de Acapulco fuera de la cuadrícula, se emplea el nombre de la concentración humana más cercana.

Para minimizar el efecto de la fuente en los registros y resaltar la respuesta del terreno se realizaron las grabaciones lejos de lugares con maquinaria en operación y evitando el paso de vehículos y/o personas en las cercanías del punto de observación.

III.2 Espectros de amplitud de microtremores.

El cálculo de espectros de amplitud de Fourier para los componentes horizontales se llevó a cabo empleando un suavizado espectral de 1/6 de octava y una ventana de aproximadamente 20 s de duración (2048 puntos), seleccionada de la parte estacionaria de la señal. La forma espectral, empleando una ventana de mayor duración para el cálculo, por ejemplo 41 s, no presenta diferencias significativas. Posteriormente, dichos espectros fueron corregidos por efecto instrumental. Algunos de ellos se muestran en las figuras 3 - 13, junto con ventanas de registros de microtremores. Corresponden éstos a 9 sitios de las tres zonas principales en la bahía de Acapulco citadas anteriormente (G5, G5-1, G6, F10-2, F12-1, E11-3, H18-5, I17-3 y J17-7), a la zona de barra de la laguna de Tres Palos (H.Princess), y a la zona de inundación del río Sabana (Llano Largo). En los espectros se

observa, a partir de 0.6 Hz, un aumento de amplitud hacia bajas frecuencias debido a la influencia del movimiento del mar sobre el terreno (Hatherton, 1960).

Las amplitudes en suelos duros usualmente son pequeñas a diferencia de los suelos blandos. El periodo para el cual ocurre la mayor amplificación normalmente está relacionado con el periodo del modo fundamental de vibración en cortante de la capa más somera (Kanai, 1983), esto hace que en los espectros de microtemores se espere un T_0 asociado a un pico espectral bien definido. Se observa que solamente para los sitios G5, E11-3, H18-S y H Princess la f_0 se encuentra claramente señalada por el máximo espectral. Es notable que entre los sitios del sector G, con una separación entre sí cercana a 200 m, las diferencias en la forma espectral son marcadas, pasando de la ambigüedad (G5-1) o una definición muy pobre (G6), a una definición de f_0 aceptable (G5). Esto sugiere la influencia de la topografía del basamento con variaciones grandes de profundidad en distancias cortas (Montiel et al., 1988) Un efecto semejante puede observarse en los demás espectros.

Cabe hacer notar que los sitios que se comparan en las diferentes áreas fueron observados en horas muy cercanas o bien, como en el caso de Centro-Península, con intensidad de tránsito semejante.

La f_0 en espectros de microtemores normalmente se mantiene a través del tiempo aunque se observen variaciones grandes de amplitud como en el caso del DF (Lermo et al., 1988). Aunque en este caso el lapso de observación fue relativamente corto, hubiera sido deseable obtener un pico espectral para hablar de estacionariedad de f_0 , propiamente. No obstante, la forma esencial de los espectros en cada sitio parece no variar grandemente con el tiempo, lo que permite suponer un cierto comportamiento estacionario.

III.3 Razones espectrales de microtemores en sitios de acelerógrafos.

Se tomaron registros de microtemores cada hora en los sitios ACAC, ACAD, ACAR, ACAZ y VNTA en un lapso de 8 horas (de las 17 a las 24 horas). Las grabaciones se hicieron simultáneamente para los arreglos VNTA-ACAR-ACAZ y VNTA-ACAC-ACAD. En las figuras 14 y 15 se presentan los promedios logarítmicos y desviación estándar ($\pm \sigma$) de todos los espectros de amplitud calculados para los registros obtenidos en cada estación. Los promedios logarítmicos y desviación estándar de las razones espectrales tomadas con respecto a VNTA se muestran en las figuras 16 y 17.

Los promedios de espectros de microtemores muestran, en lugar de picos, bandas de amplitudes que comienzan a crecer en las siguientes frecuencias:

ACAC	1-1.5 Hz
ACAD	4-5 Hz
ACAR	2.5-3 Hz
ACAZ	0.8-1 Hz

Las mayores amplitudes promedio se observan en aquellos sitios con mayor espesor de sedimentos (ACAC y ACAZ).

Las razones espectrales de microtemores muestran, excepto en ACAD, un crecimiento en una frecuencia cercana a aquella de espectros de amplitud. Las amplificaciones promedio que se alcanzan, según tales cocientes espectrales, llegan hasta 200 veces (ACAC), aunque en general se mantienen cercanas a 100.

IV ANALISIS DE ACELEROGRAMAS.

IV.1 Espectros de amplitud de aceleración.

Se analizaron 27 registros digitales de aceleración obtenidos en las 5 estaciones mencionadas (tabla 1). Los instrumentos empleados fueron DSA-1 (VNTA) y DCA-333 (ACAC, ACAD, ACAR y ACAZ) con razones de muestreo de 200 y 100 muestras por segundo, respectivamente y sensores de tres componentes ortogonales (Anderson et al., 1989). Dos de las estaciones se encuentran dentro de Acapulco (ACAC y ACAD), una más en la entrada al norte de la ciudad (ACAR), otra al sureste rumbo al aeropuerto (ACAZ) y la última (VNTA), 3 km al norte de ACAR en el poblado La Venta (fig 2). Los eventos considerados fueron registrados entre agosto de 1988 y enero de 1990 ($4.2 \leq M \leq 6.9$) con profundidades entre 15 y 37 km (tabla 2).

Para facilitar el análisis se han clasificado los eventos en tres grupos, dada su localización epicentral respecto de Acapulco. Estos son: *noroeste* (gNW), *sureste* (gSE), con distancias epicentrales entre 25 y 50 km y *cercanos* (gC) con distancia epicentral menor a 25 km (fig 18). Se muestran las series de tiempo de aceleración sólo para eventos característicos de cada uno de los grupos definidos (figs 19-21). Por brevedad se citarán los sismos de acuerdo con un código que señala mes y día de ocurrencia (mddd).

Se calcularon espectros de amplitud de Fourier para fases S (*eS*), de coda de S (*eC*) y P (*eP*), a fin de conocer el grado de definición que tiene cada uno de ellos para f_0 . Los dos primeros grupos (figs 22-27), *eS* y *eC*, presentan siempre una forma espectral muy semejante, aunque en algunos de los *eC* la definición del pico espectral mejora (p.ej. 0113 en ACAD y ACAZ o ACAC y ACAZ para 0425).

Los *eP* no resultaron confiables para la estimación de efectos de sitio. Solamente los registros de 0502 en ACAD y ACAR carecen de los primeros arribos de P debido a disparo instrumental atrasado. Comparando los *eP* y los correspondientes *eS* en componente EW (figs 28-30), para eventos de los diferentes grupos definidos, se tiene que ACAR es el único sitio con un

comportamiento uniforme; sus eP muestran buena correlación con los eS aunque se carece de datos para el gNW . Para esta estación, los picos asociados a f_0 aparecen ligeramente desplazados hacia altas frecuencias respecto de eS .

Cabe señalar que en ACAC y ACAD los eP del gNW (0817 y 1008), aunque corresponden a eventos con profundidad, magnitud, distancia y azimut comparables, la definición de f_0 es inconsistente.

Otra diferencia notable se encuentra en ACAD, donde los eventos del gSE muestran que son las ondas S las que excitan f_0 . Para el gC se tienen espectros eP con máximos bien definidos, con una f_0 mayor en 1Hz, que aquella de eS .

Para ACAZ se observa semejanza entre ambos tipos de espectros para eventos del gNW ; para los dos grupos restantes la semejanza espectral es muy pobre.

Por otra parte, las f_0 observadas en eS y eC no difieren significativamente en ambos tipos de espectros para un sitio dado (figs 31 y 32). Cabe hacer notar que en ACAC y ACAZ la coincidencia de f_0 es casi total. ACAD es la única estación que muestra, en ambos componentes de eS , un corrimiento de f_0 hacia más alta frecuencia para eventos del gNW . Las diferencias son de 2 y 1 Hz para NS y EW, respectivamente. La determinación de f_0 en los eC del gNW de ACAD es incierta pues se presentan máximos relativos en frecuencias cercanas.

IV.2 Razones espectrales de aceleración.

Para cada estación se calcularon promedio logarítmico y desviación estándar de razones espectrales respecto a VNTA para ondas S y coda de S (figs 33-36). El promedio más representativo lo tiene ACAD (7 eventos) y el menos, ACAR (3 eventos). Aunque el tamaño de la muestra de eventos es reducido, se considera representativa en buena medida de la distribución, en cuanto a magnitud, azimut y profundidad, de la actividad sísmica que se presenta en el área de estudio. Los promedios de razones espectrales de aceleración de ondas S y coda-S muestran f_0 semejantes en ambos

componentes. Sólo ACAR muestra ligeras variaciones de f_0 ya que para el componente NS tiene 3 Hz en ambos promedios espectrales mientras que en EW tiene 3.5 y 3.8 Hz para promedio espectral de S y de coda-S, respectivamente (tabla 3).

La amplificación obtenida de promedios de razones espectrales para ondas S va de 6 a 25 veces, mientras que para coda-S, ésta varía entre 7 y 20 veces. Los sitios donde la amplificación de ondas de coda-S es mayor que para S son aquellos con mayor espesor de sedimentos, como son ACAC y ACAZ, con 35 y 20 m ó más, respectivamente. Esto sugiere la generación local de ondas superficiales debido a discontinuidades laterales fuertes (Bard, 1989).

De acuerdo a las razones espectrales individuales no se observa relación general entre un aumento o disminución de valores de amplificación en función de ángulos de llegada, profundidad o azimut (figs 37 y 38). Los valores correspondientes de S y coda-S no muestran tendencia alguna que pueda definir una clara dependencia. Particularmente, en ACAD, se presenta una tendencia de crecimiento de los factores de amplificación de S, en ambos componentes, en función de la magnitud para eventos con distancia epicentral mayor de 25 km.

En términos globales la forma de razones espectrales es semejante en cada estación, para cualquier grupo de eventos y tipo de fases empleadas para su cálculo (S o coda-S).

IV.3 Comportamiento lineal en sitios de acelerógrafos.

Durante un sismo de gran magnitud, los materiales rocosos y sedimentarios se encuentran sujetos a mayores esfuerzos que pueden hacer disminuir la rigidez y, en consecuencia, variar sus características dinámicas. Ya que el evento analizado de mayor magnitud fue el 0425 ($M_s = 6.9$), se realizó una comparación de la razón espectral de dicho evento con el promedio logarítmico de razones espectrales del resto de los eventos registrados en cada sitio de acelerógrafo, a fin de reconocer un posible efecto no lineal. No se observaron diferencias significativas, entre la razón espectral de 0425 y los promedios, que pudieran indicar comportamiento no lineal (figs

39 y 40). Las diferencias principales que se manifiestan ante un efecto tal son el abatimiento del valor máximo y el corrimiento de éste hacia frecuencias más bajas como resultado de la disminución en la rigidez y la disipación de la energía.

Solamente en ACAD, sitio donde se presentó la mayor aceleración máxima para tal evento (335 cm/s^2), se observa un ligero corrimiento, hacia bajas frecuencias, del valor máximo de razón espectral, el cual no puede interpretarse de manera definitiva como efecto no lineal.

V DISCUSION.

Mediante el análisis espectral de microtemores en el área de la Bahía de Acapulco, se hizo evidente que las características dinámicas del terreno entre dos puntos, aún a corta distancia, pueden variar notablemente aunque la litología permita suponer un comportamiento semejante. Tal es el caso, entre otros, de los sitios mostrados en tres diferentes sectores de la bahía donde la definición del máximo espectral, para la identificación de f_0 , se pierde en un rango de cientos de metros.

En este caso no se obtuvo una estimación, ni siquiera cercana, de los factores de amplificación usando razones espectrales de microtemores. Más aún, no fue posible en un considerable número de casos determinar una f_0 confiable, tanto en sitios de acelerógrafos como en aquellos distribuidos en áreas urbanas. Las limitaciones para evaluar frecuencias dominantes con este método son claras al comparar promedios de espectros de microtemores y de razones espectrales en cada sitio de acelerógrafo (figs 14-15 y 33-34).

Se observó que la frecuencia en que se inicia la banda de amplitudes en espectros de microtemores es cercana a f_0 en espectros de aceleración, sin embargo conviene buscar evidencias más firmes para tomar tal inicio de banda como una f_0 .

Para la estimación de la frecuencia dominante en un sitio dado se pueden emplear eS o eC , en función del alto grado de afinidad en las características espectrales. Sin embargo, la estimación de factores de amplificación, para un sitio dado, con eC muestra resultados dispares respecto de aquellos calculados con eS , a diferencia de otros casos en que se han tenido mejores resultados (Tsujiura, 1978). Las diferencias más notables en los factores de amplificación estimados con ambos tipos de fases fueron, de 3 veces en ACAD y 8 en ACAZ, para eventos con distancias epicentrales mayores y menores de 25 km, respectivamente.

De los sitios de acelerógrafos analizados, el que presenta características diferentes a las del resto del grupo es ACAD. Este muestra diferencias hasta de 2 Hz entre la f_0 , obtenida con espectros de ondas S para eventos

someros y profundos con distancia epicentral mayor de 25 km. Además, parece amplificar fases S en función de la magnitud de los eventos. Para definir mejor este comportamiento singular sería de gran utilidad contar con un mayor número de registros de aceleración.

Actualmente, existe la tendencia de aplicar este método de microzonificación en diversos lugares, algunos de ellos en zonas donde no se tiene un alto grado de sismicidad. Es claro que, de no confirmar los valores de f_0 y amplificación relativa obtenidos con espectros de microtemores, empleando para ello espectros de amplitud de aceleración de sismos de moderada o gran magnitud, se corre el riesgo de llegar a conclusiones falsas respecto a la respuesta del terreno ante la ocurrencia de un sismo mayor. En caso de que el área en estudio se encuentre en una zona de escasa sismicidad, será necesario recurrir a explosiones subterráneas controladas.

VI CONCLUSIONES.

1. La microzonificación de áreas urbanas en Acapulco empleando microtemores no alcanzó la resolución esperada en función de resultados logrados en otras ciudades del mundo. Los periodos dominantes no pueden ser identificados, en muchos casos, de manera precisa. Esto muestra la necesidad de confirmar los resultados obtenidos con microtemores utilizando registros de aceleración de sismos de moderada o gran magnitud.
2. Mediante el empleo de espectros y razones espectrales de aceleración de sismos con una distribución característica respecto de Acapulco, no se observó una clara dependencia de factores de amplificación ni de f_0 en función de ángulos de llegada, azimut o profundidad de ocurrencia de los eventos.
3. Las razones espectrales de ondas S y aquellas de coda de S muestran una gran similitud, aunque no presentan los mismos factores de amplificación.
4. Finalmente, no se identificó comportamiento no lineal para el mayor evento analizado ($M_s = 6.9$). Cabría esperar la ocurrencia de eventos de magnitud mayor o igual para revisar nuevamente este aspecto.

REFERENCIAS.

- Aki, K (1988) Local site effects on ground motion, in Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground Motion Evaluation, J.L. Von Thun (Editor), Geotechnical Special Publication No 20, Am. Soc. Civil Eng., New York, pp 103-155.
- Anderson, J., R. Quaas, R. Castro, S.K. Singh, J. Velasco, D. Almora, E. Mena, R. Vazquez, G. Castro, C. Pérez, B. López y R. Mejía (1989). Accelerograms from the Guerrero, Mexico, strong motion array for the april 25, 1989 earthquake (Ms 6.9): A preliminary report. Joint report of Seismological Laboratory, Mackay School of Mines, University of Nevada, Reno and Instituto de Ingeniería, UNAM, Mexico.
- Bard, P.Y., (1989) Understanding effects of local conditions on ground motion and accounting for them in earthquake hazard studies. Manuscrito no publicado.
- Brune, J. and J. Oliver (1959). The seismic noise of the earth's surface Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 49 no. 4.
- Gutiérrez, C., J. Lermo, E. Nava, S.K. Singh, R. Coyoli, M. Rodríguez y H. Mijares (1989). Registro de temblores pequeños y medición de microtemblores en Acapulco para microzonificación de la ciudad. Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM para Gobierno del estado de Guerrero.
- Hatherton, T. Microseisms at Scott Base. Geophysical Journal of the Royal Astr. Soc; Vol 3, no. 4. Dec, 1960.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), (1988). Guía Turística Urbana de Acapulco.
- Kanal, K. (1983). Engineering Seismology. Univ. of Tokyo Press.
- Kobayashi, H.; K. Seo and S. Midorikawa. (1986) Estimated strong ground motions in the Mexico City due to the Michoacan, Mexico earthquake of

september 19, 1985 based on characteristics of microtremors. Report on seismic microzoning Mexico earthquake of sept 19, 1985. Part 2.

León T., J.L. (1975). Estudio preliminar del subsuelo de la Cd de Acapulco. Informe del Instituto de Ingeniería para la Secretaría de Obras Públicas.

Lermo, J. M. Rodríguez and S. K. Singh (1988). The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements and strong motion data. Earthquake Spectra, Vol 4.

Mijares, H. (1989) Operación y mantenimiento del equipo sismológico del Instituto de Ingeniería. Reporte del Instituto de Ingeniería.

Montiel, A., F. Mooser y R. Prieto (1989). Informe geológico en relación al riesgo sísmico de la región de Acapulco, Edo de Guerrero. Informe técnico del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, A.C. al Instituto de Ingeniería, UNAM.

Nagoshi, M. and Igarashi, T. (1970) On the amplitude characteristics of microtremor. Bull. of the Earthq. Res. Inst, Vol 23.

Nava, E. (1989). Paquete de transferencia y decodificación de datos sísmicos digitales (DR-100) para sistema P.C. Instituto de Ingeniería.

Ovando, E., T. Jurado, E. Méndez y L. Montes (1989). Recopilación y análisis de datos geotécnicos de Acapulco. Reporte Fundación Barros Sierra-Instituto de Ingeniería elaborado para el Gobierno del Edo de Guerrero.

Singh, S.K., Castro, R. y Mena, E. (1986). Some notes on microtremors and microzonation. Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM; Vol II SIS-3.

Singh, S.K., E. Mena and R. Castro (1988). Some aspects of source characteristics of the 19 september 1985 Michoacán earthquake and ground motion amplification in and near Mexico City from strong motion data. Bull. Seism. Soc. Am. 78, 451-477.

Tsujiura, M., (1978). " Spectral analysis of the coda waves from local

RECONOCIMIENTOS.

Agradezco especialmente al Dr. Shri Krishna Singh las valiosas enseñanzas recibidas durante mis años de trabajo en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la tutoría académica durante mis estudios de maestría y el empeño en la dirección de esta tesis.

Asimismo, agradezco sinceramente las valiosas críticas y recomendaciones de los doctores Francisco J. Sánchez Sesma, Mario Ordaz Schroeder, Tony Monfret y Carlos Mendoza Reyna para esta tesis.

Un reconocimiento a Miguel Rodríguez, Javier Lermo, Emilio Nava, Horacio Mijares, Rafael Coyoli, Ernesto Briones, Raúl Cabrera y Jorge Díaz, amigos y compañeros de trabajo, por su colaboración en trabajos de campo y oficina.

Este trabajo está basado en el proyecto 8777 "Registro de temblores pequeños y medición de microtemblores en Acapulco para microzonificación de la ciudad", desarrollado en la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

T A B L A S

T A B L A 1

Estaciones acelerográficas empleadas y su localización.

ESTACION	SITIO	LAT (°N)	LONG (°W)
ACAC	Casa de Cultura	16.848	99.851
ACAD	Sec. La Diana	16.867	99.880
ACAR	Cd. Renacimiento	16.899	99.827
ACAZ	Poblado La Zanja	16.787	99.789
VNTA	Poblado La Venta	16.923	99.816

Todos los instrumentos registran en cassette digital y tienen control de tiempo continuo.

T A B L A 2

Eventos seleccionados para el análisis espectral
registrados por acelerógrafos.

FECHA	LAT N	LONG W	PROF (km)	MAGNITUD	REGISTRO
880816	16.967°	99.801°	21	m _b 4.2	D, V
890425	16.579°	99.462°	17	Ms 6.9	C, D, R, Z, V
890502	16.650°	99.479°	19	Ms 5.8	C, D, R, Z, V
890817	17.077°	100.028°	34	Mc 4.7, m _b 4.9	C, D, Z, V
891008	17.192°	100.212°	37	Mc 5.0, m _b 5.0	C, D, Z, V
891109	16.822°	99.667°	21	Mc 4.9	D, Z, V
900113	16.835°	99.646°	15	Mc 5.1, m _b 5.2	D, R, Z, V
900710	16.831°	99.566°	17	m _b 4.5	C, D, Z, V

C - ACAC

D - ACAD

R - ACAR

Z - ACAZ

V - VNTA

T A B L A 3

Frecuencias dominantes y amplificación obtenidas de promedios de razones espectrales. Se presenta la relación de amplificación para cada estación y componente.

		E s t a c i o n e s				
			ACAC	ACAD	ACAR	ACAZ
f_0 (Hz)	S	NS	2.0	4.2	3.0	1.0
		EW	2.0	4.1	3.5	1.0
	CODA	NS	1.9	4.0	3.0	1.0
		EW	1.9	4.1	3.8	1.0
PROMEDIO DE AMPLIFICACION	S	NS	6	16	10	11
		EW	10	25	14	9
	CODA	NS	20	10	7	16
		EW	14	16	14	16
COCIENTES DE PROMEDIOS DE AMPLIFICACION	S/CODA	NS	0.3	1.6	1.4	0.7
		EW	0.7	1.6	1.0	0.6

FIGURAS

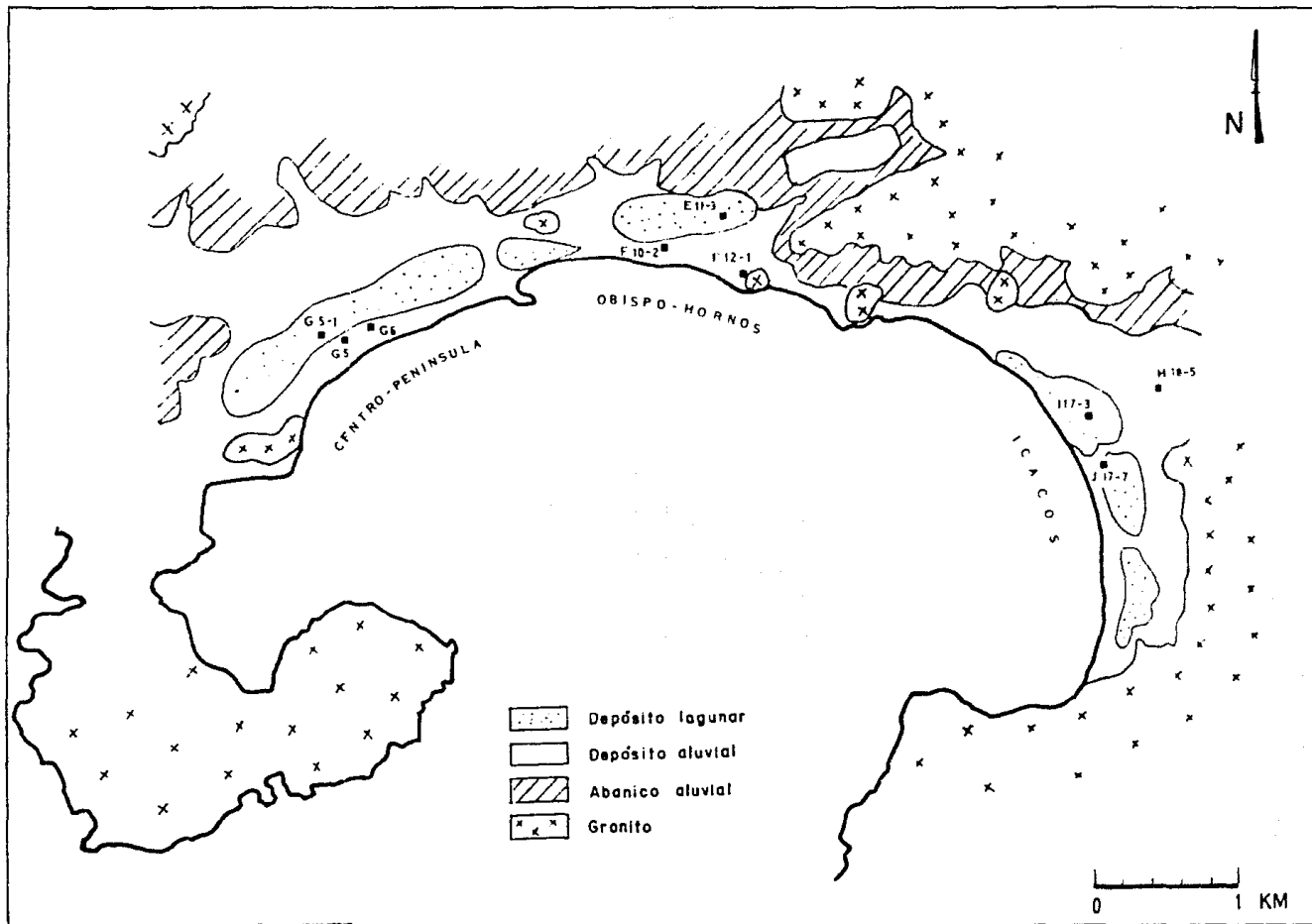


Fig 1. Geología de la Bahía de Acapulco y sitios representativos de observación de microtremores.

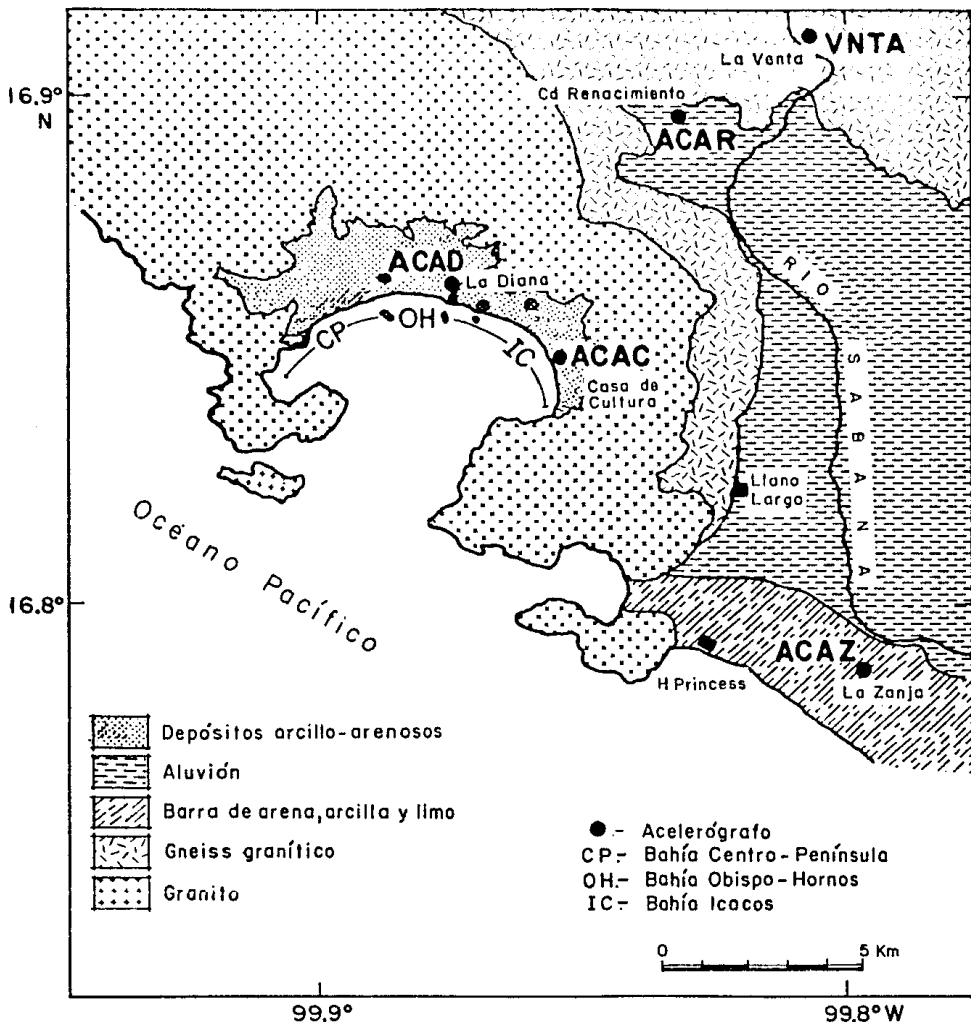


Fig 2. Geología regional de Acapulco y sitios de estaciones acelerográficas empleadas en el análisis de amplificación relativa.

G5

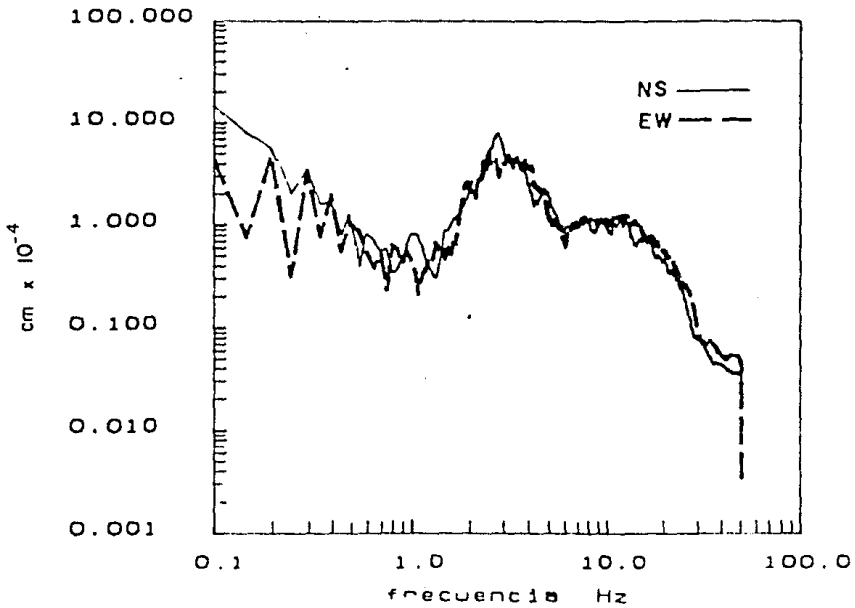
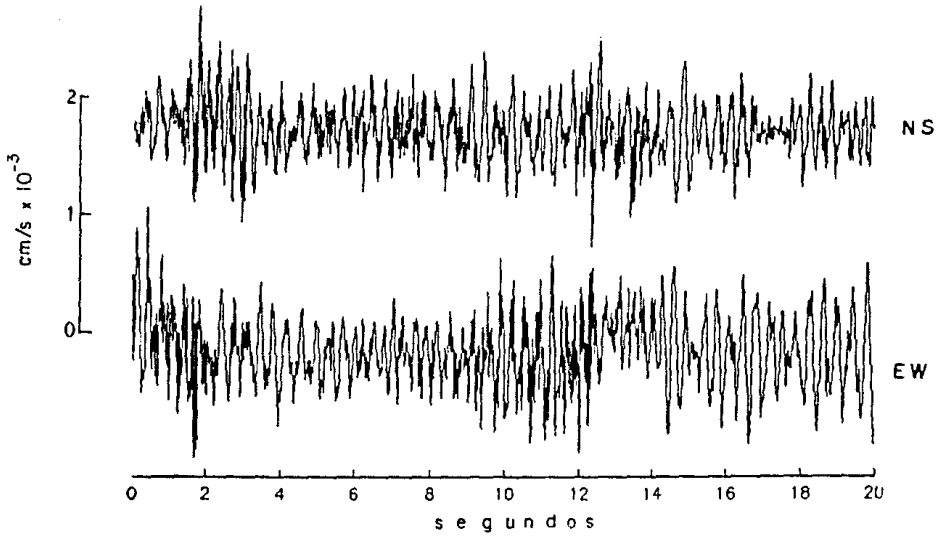


Fig 3. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio G5.

G5-1

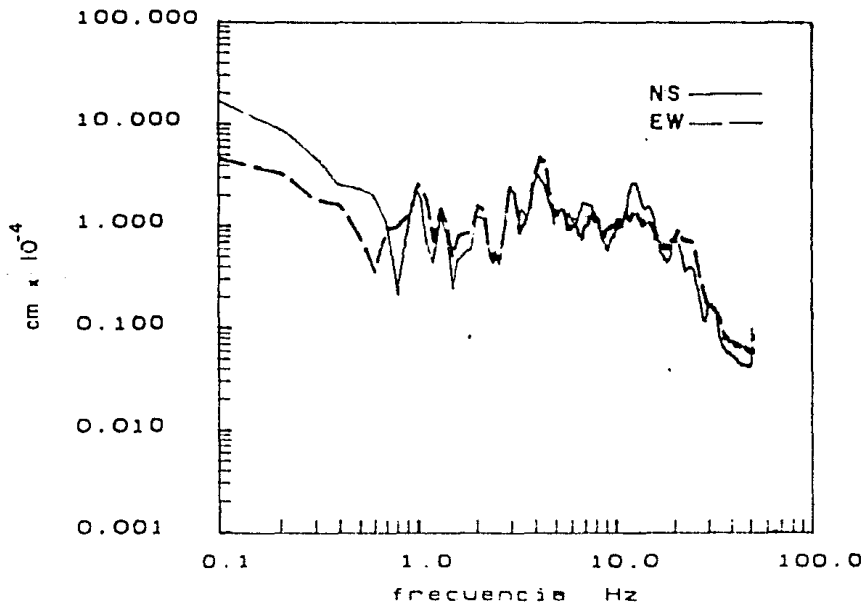
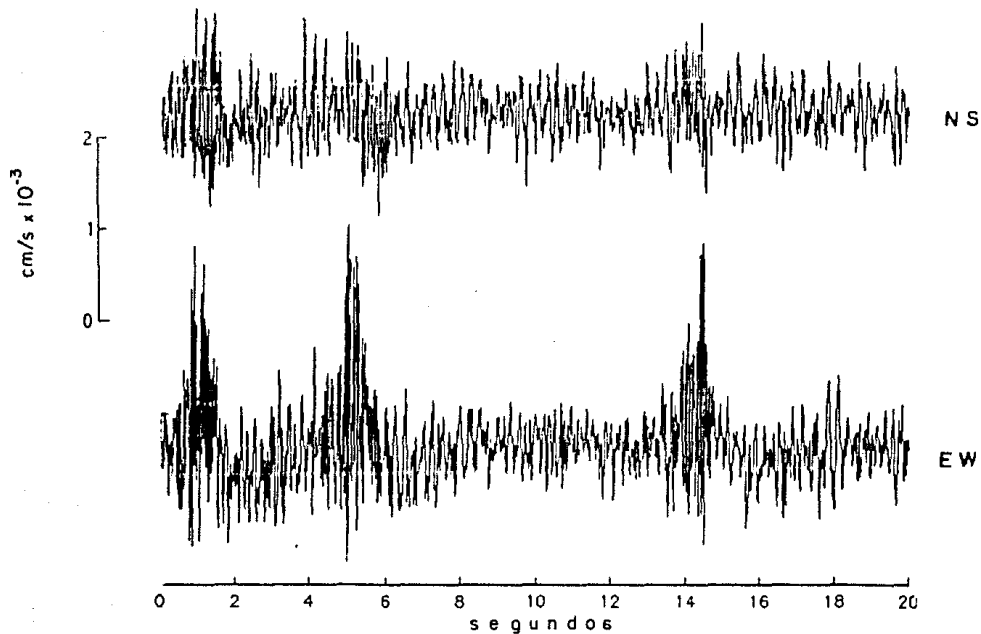


Fig 4. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtemores en el sitio G5-1.

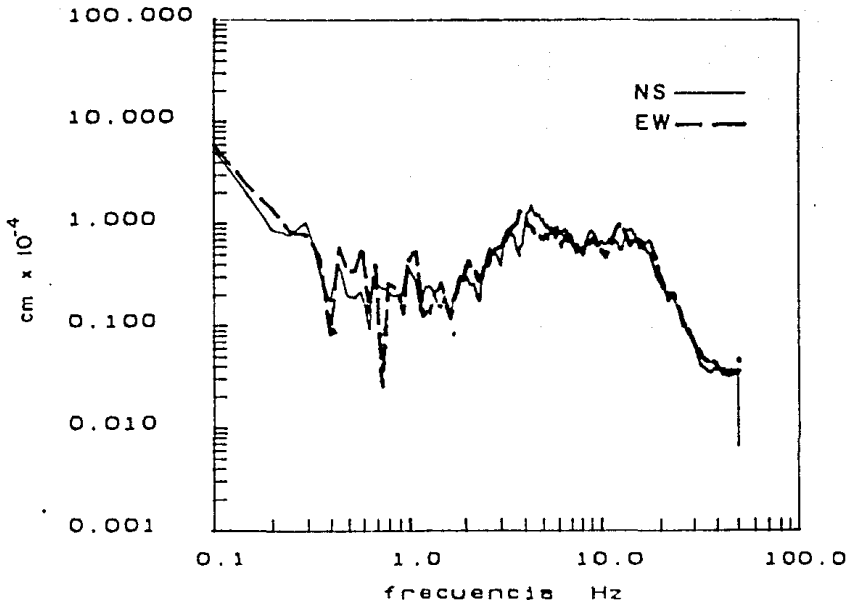
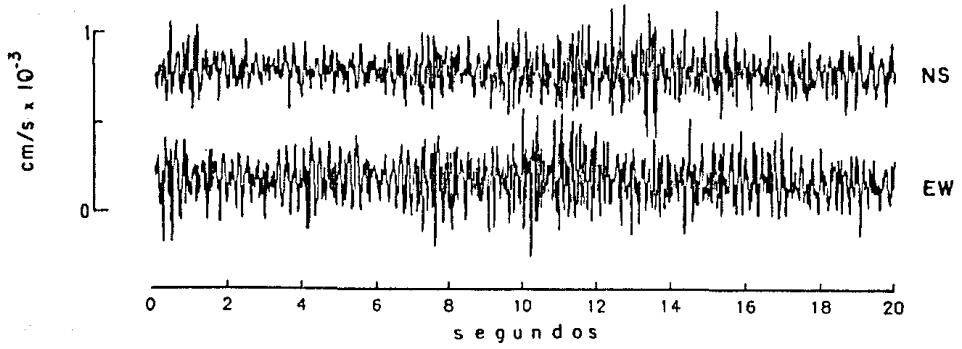


Fig 5. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio G-6.

F10-2

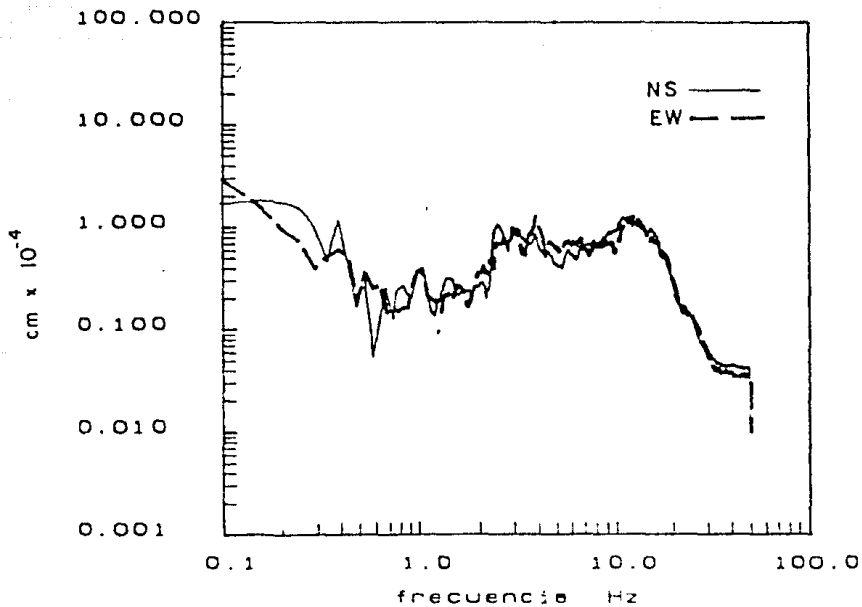
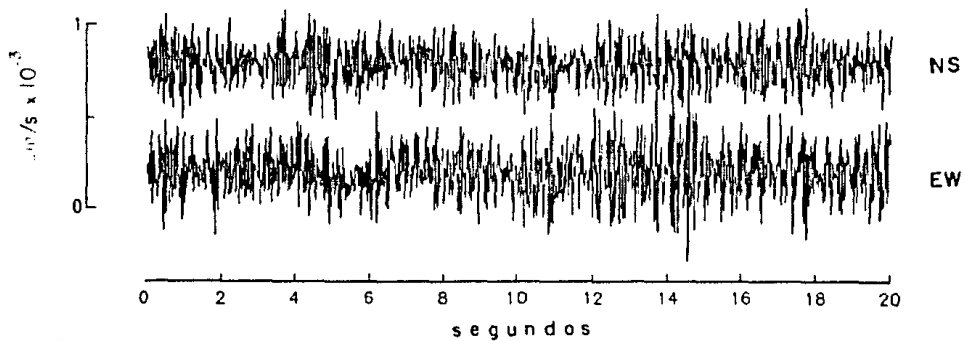


Fig 6. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio F10-2.

F12-1

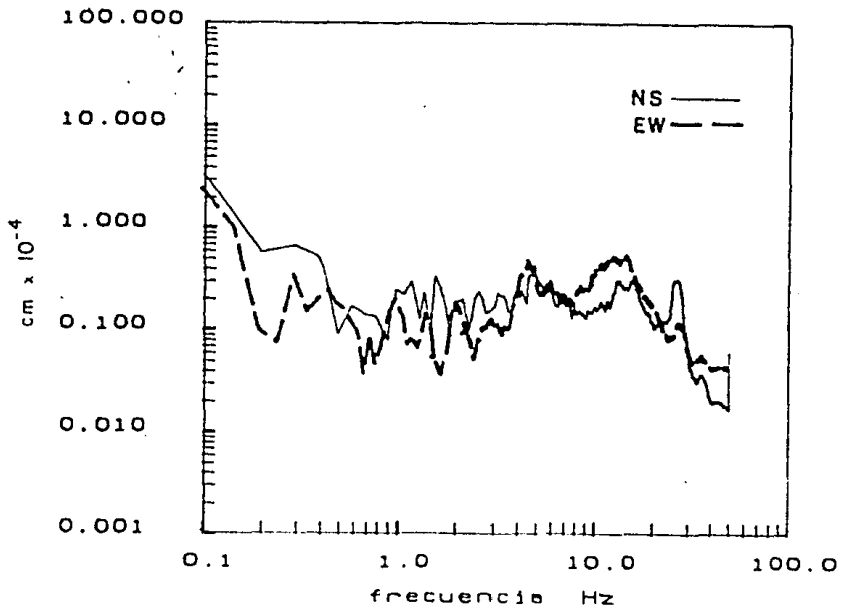
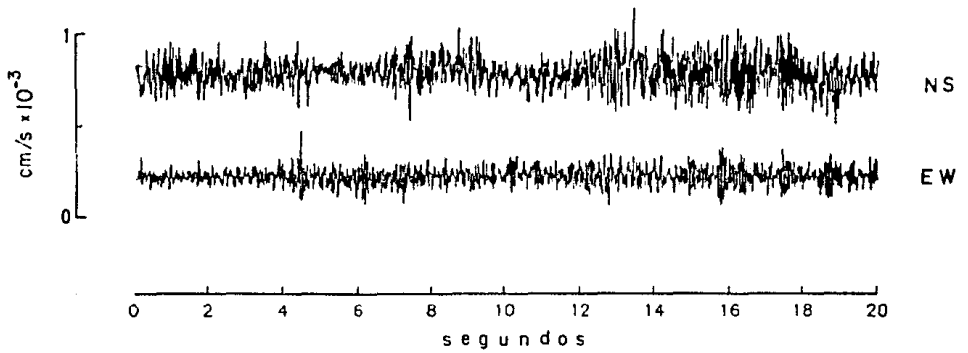


Fig 7. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio F12-1.

E11-3

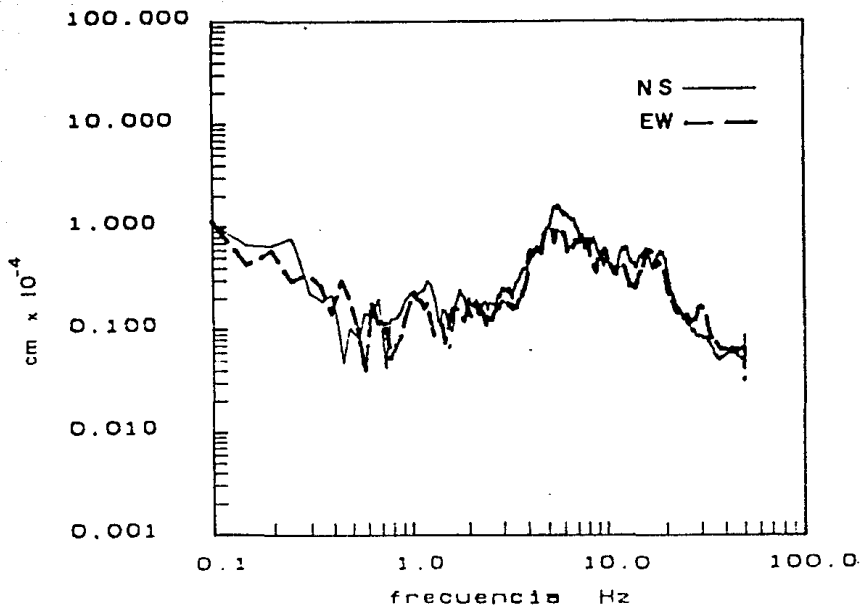
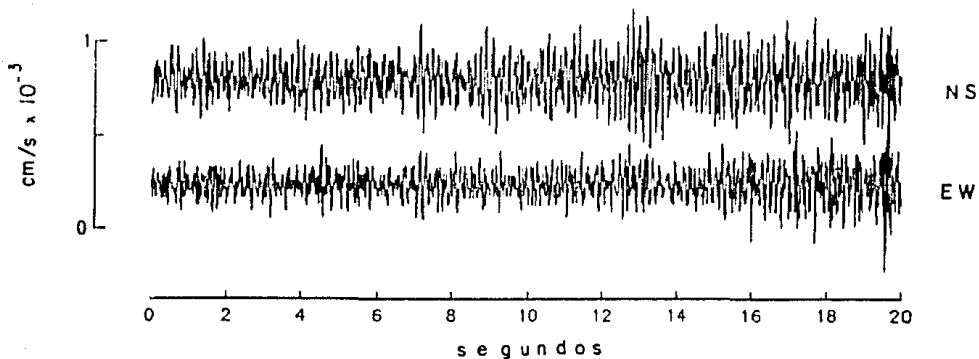


Fig 8. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio E11-3.

H18-5

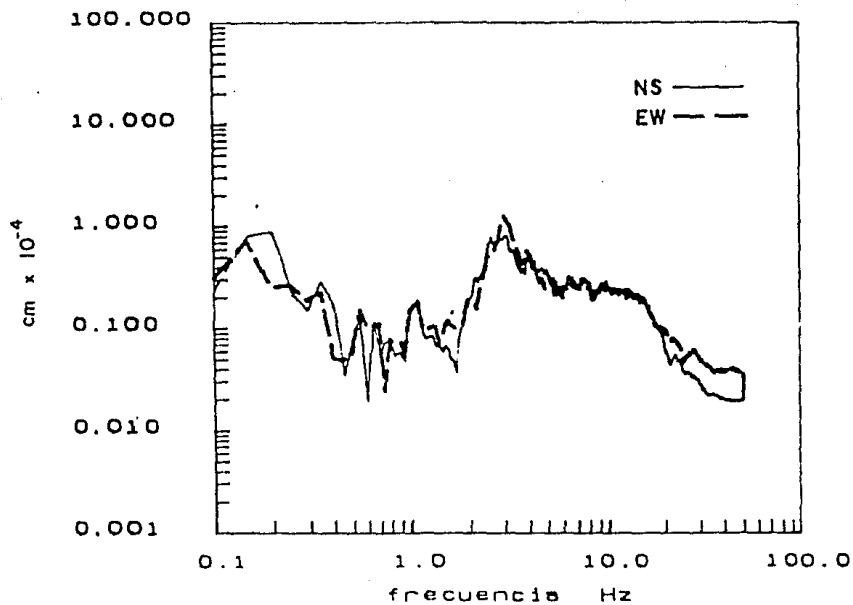
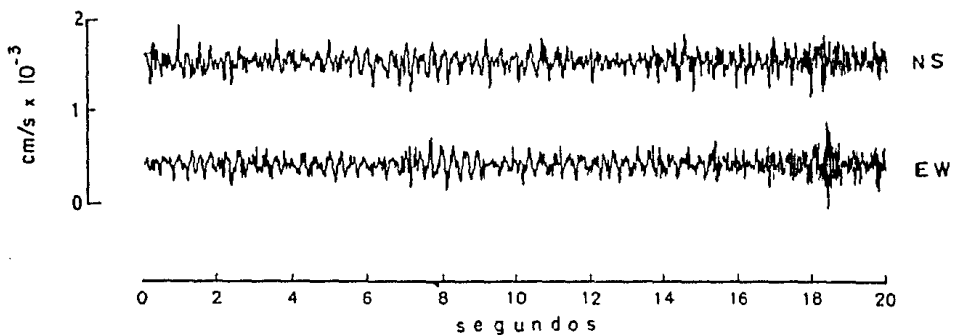


Fig 9. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio H18-5.

117-3

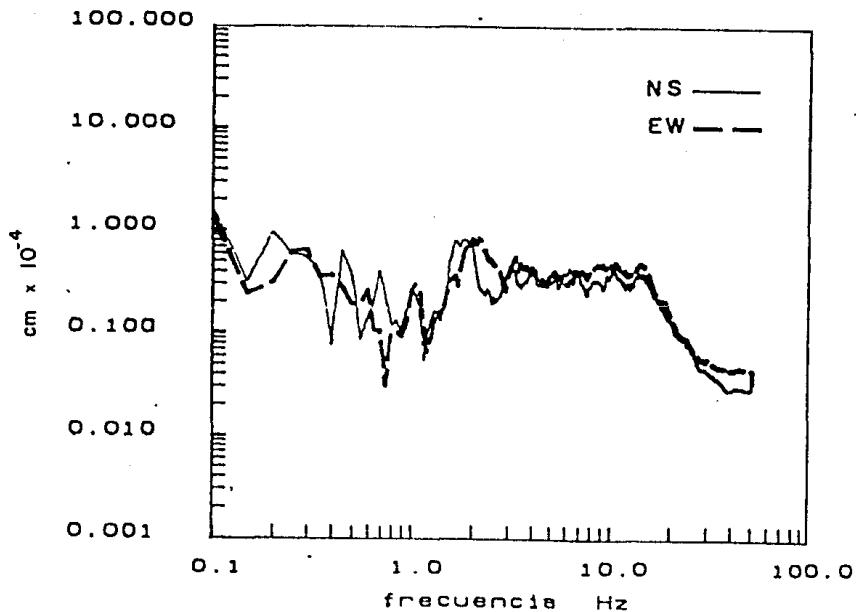
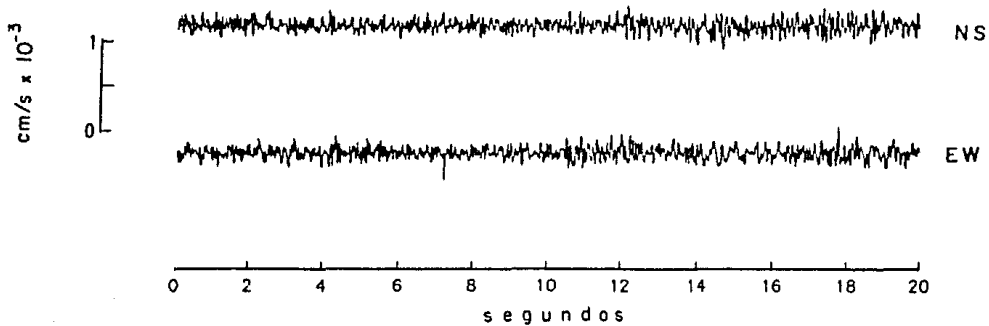


Fig 10. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio I17-3.

J17-7

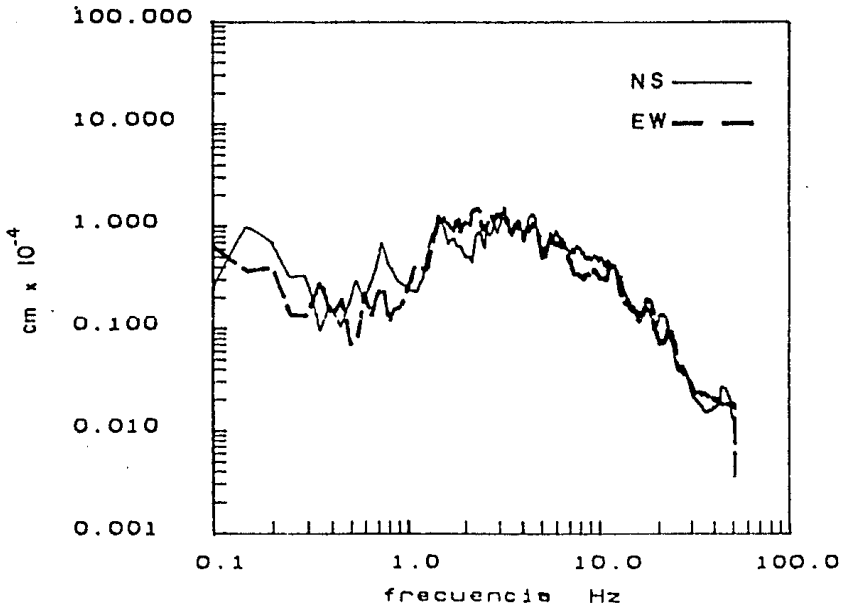
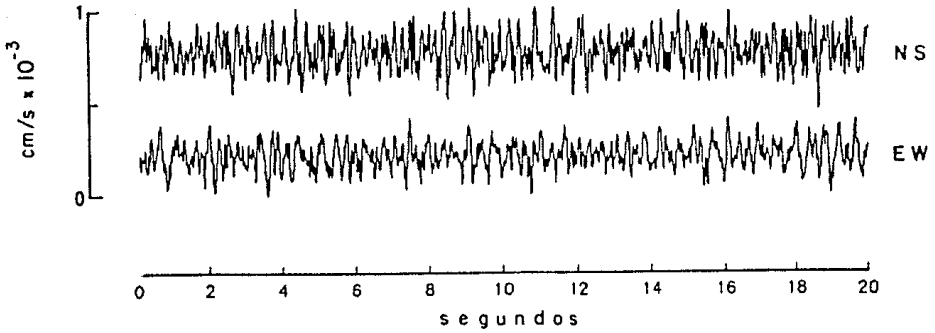


Fig 11. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el sitio J17-7.

H Princess

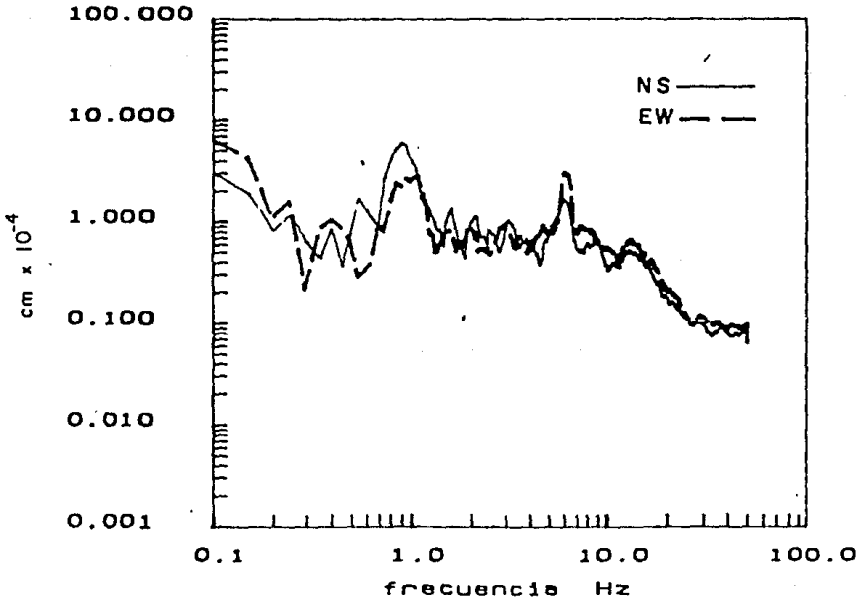
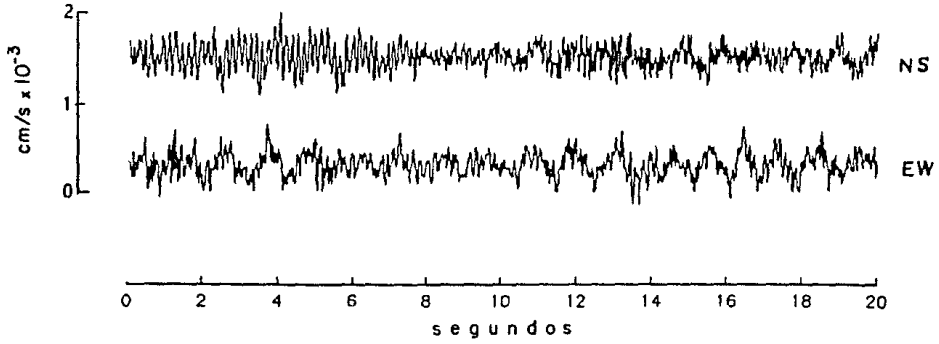


Fig 12. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el Hotel Princess (zona de barra).

Llano Largo

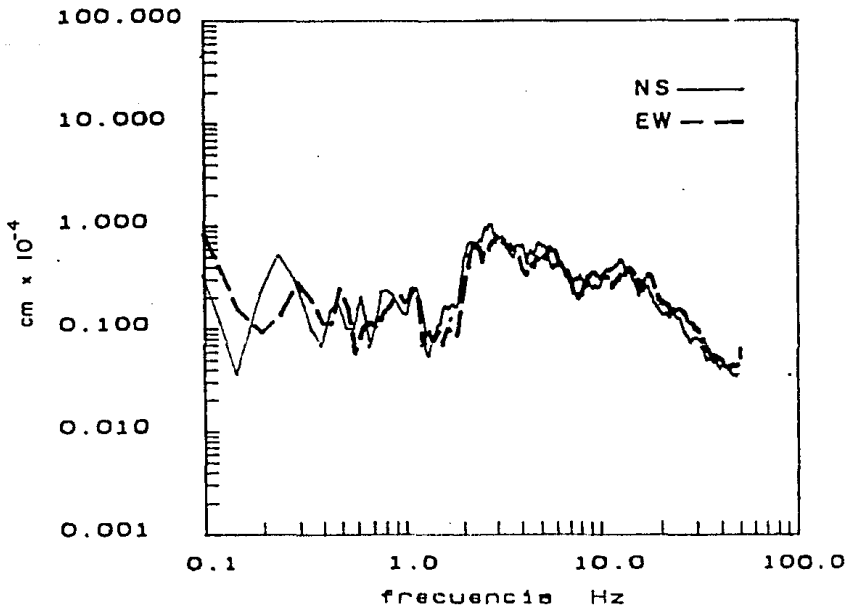
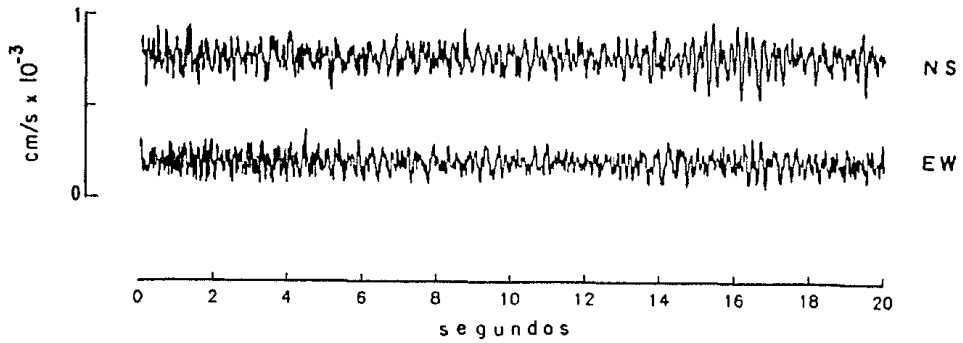


Fig 13. Series de tiempo y espectros de amplitud en velocidad de microtremores en el poblado Llano Largo (zona aluvial).

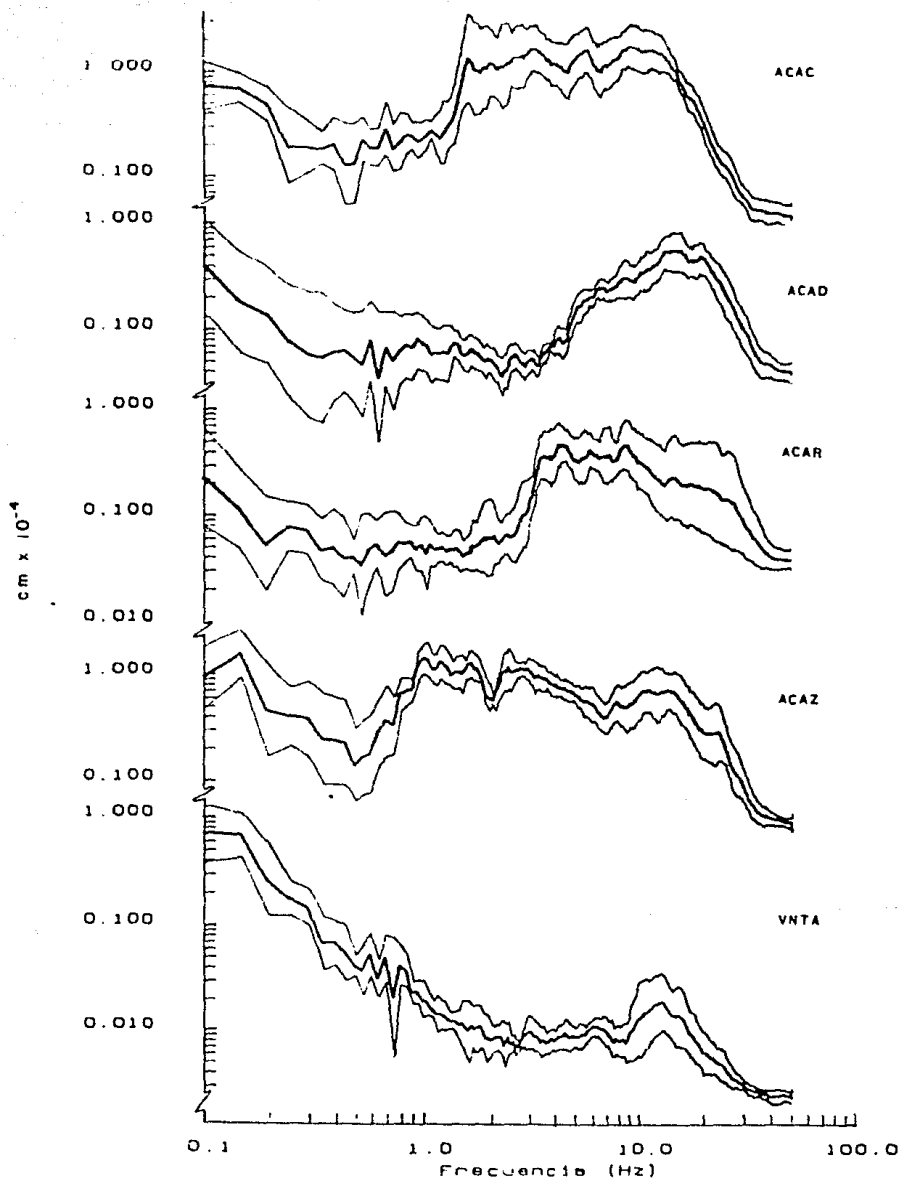


Fig 14. Promedios logarítmicos espectrales de microtremores con $\pm \sigma$ (desviación estándar) en estaciones acelerográficas; NS.

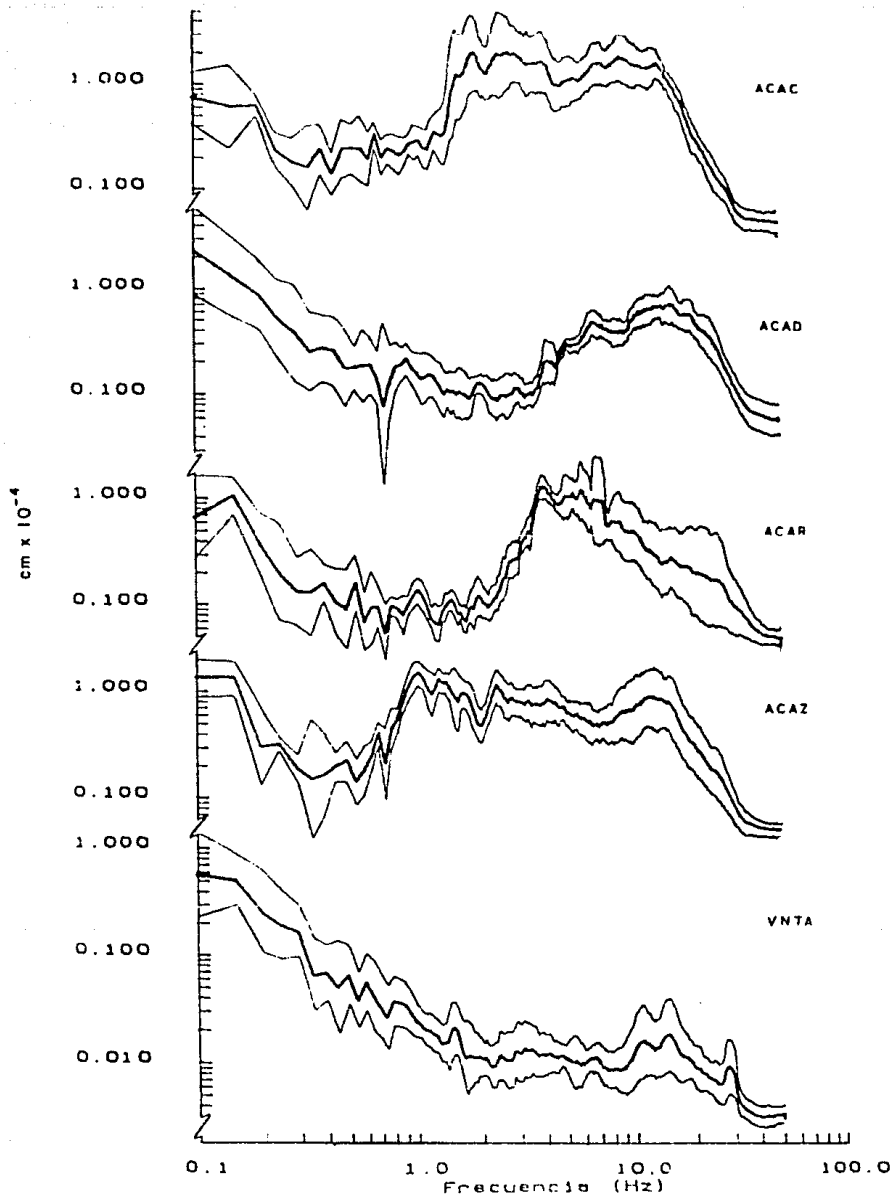


Fig 15. Promedios logarítmicos espectrales de microtremores con $\pm \sigma$ (desviación estándar) en estaciones acelerográficas; EW.

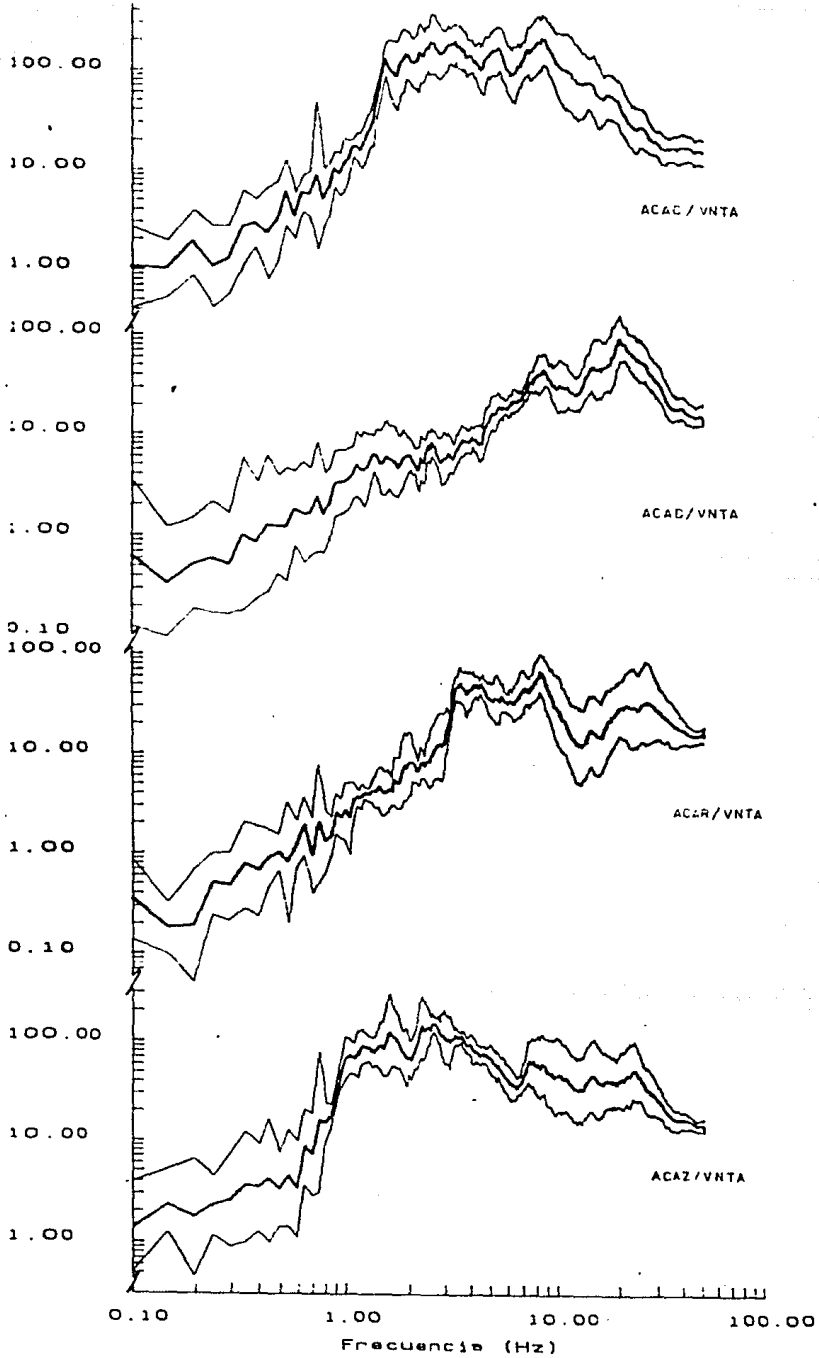


Fig 16. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de microtremores; NS.

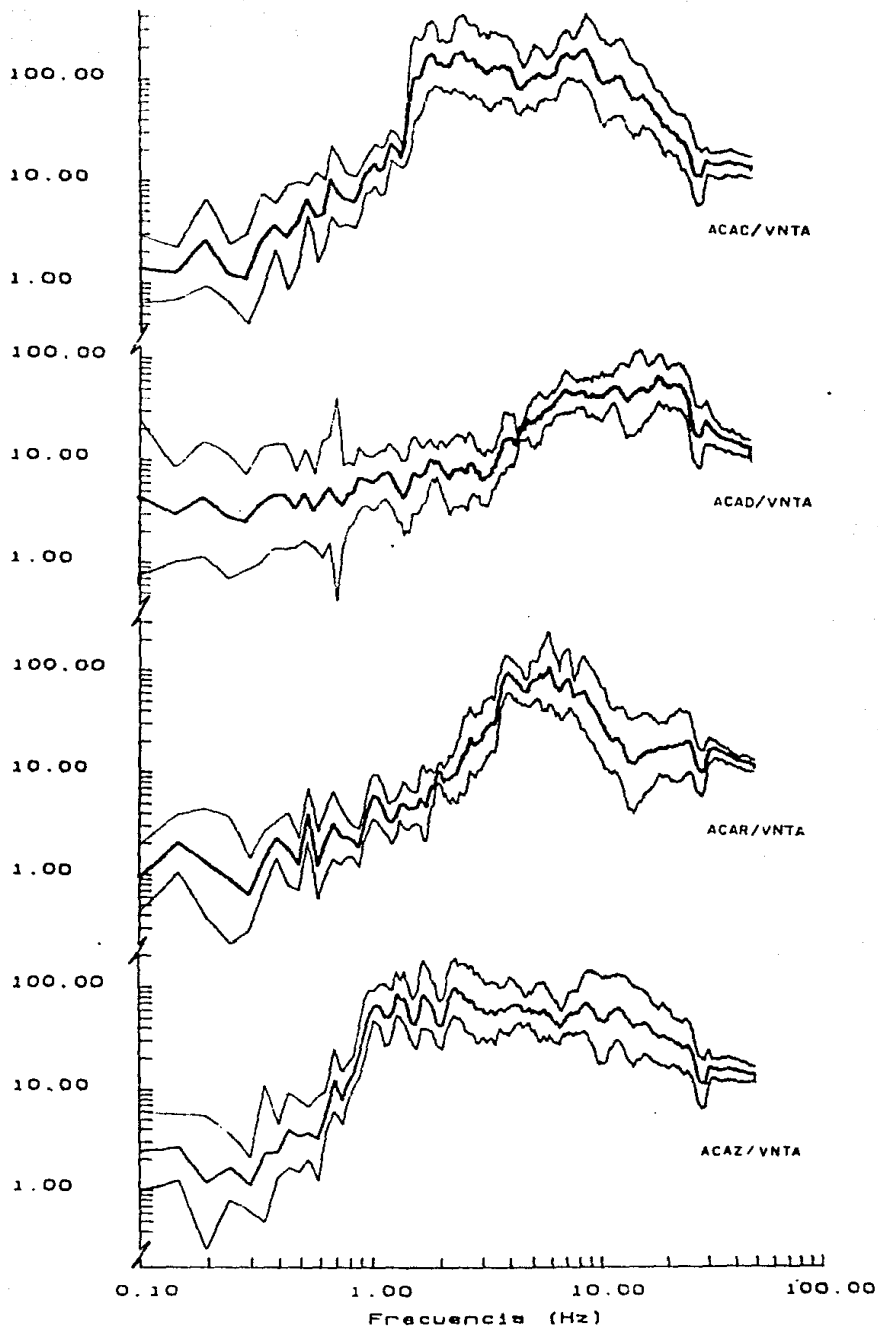


Fig 17. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de microtemores; EW.

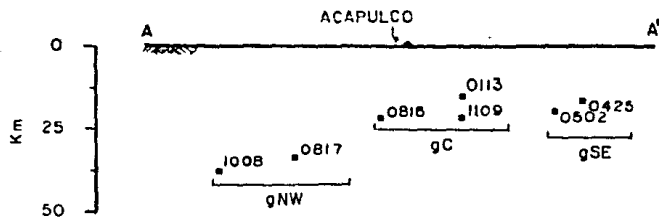
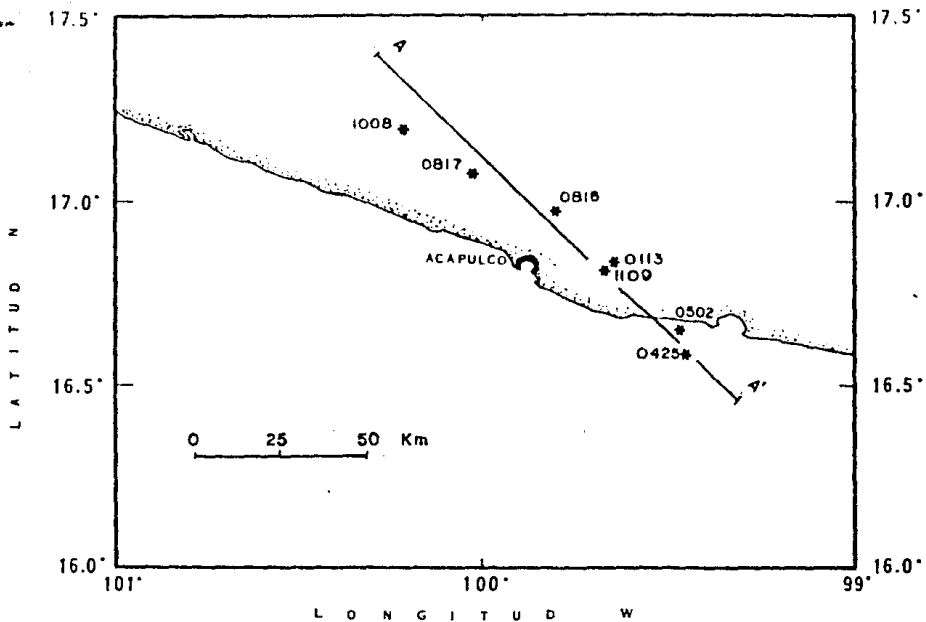


Fig 18. Arriba: Epicentros de eventos analizados.
 Abajo : Proyecciones de hipocentros sobre perfil AA'.
 (Se indican mes y día para cada evento).

25-ABR-89 E-W

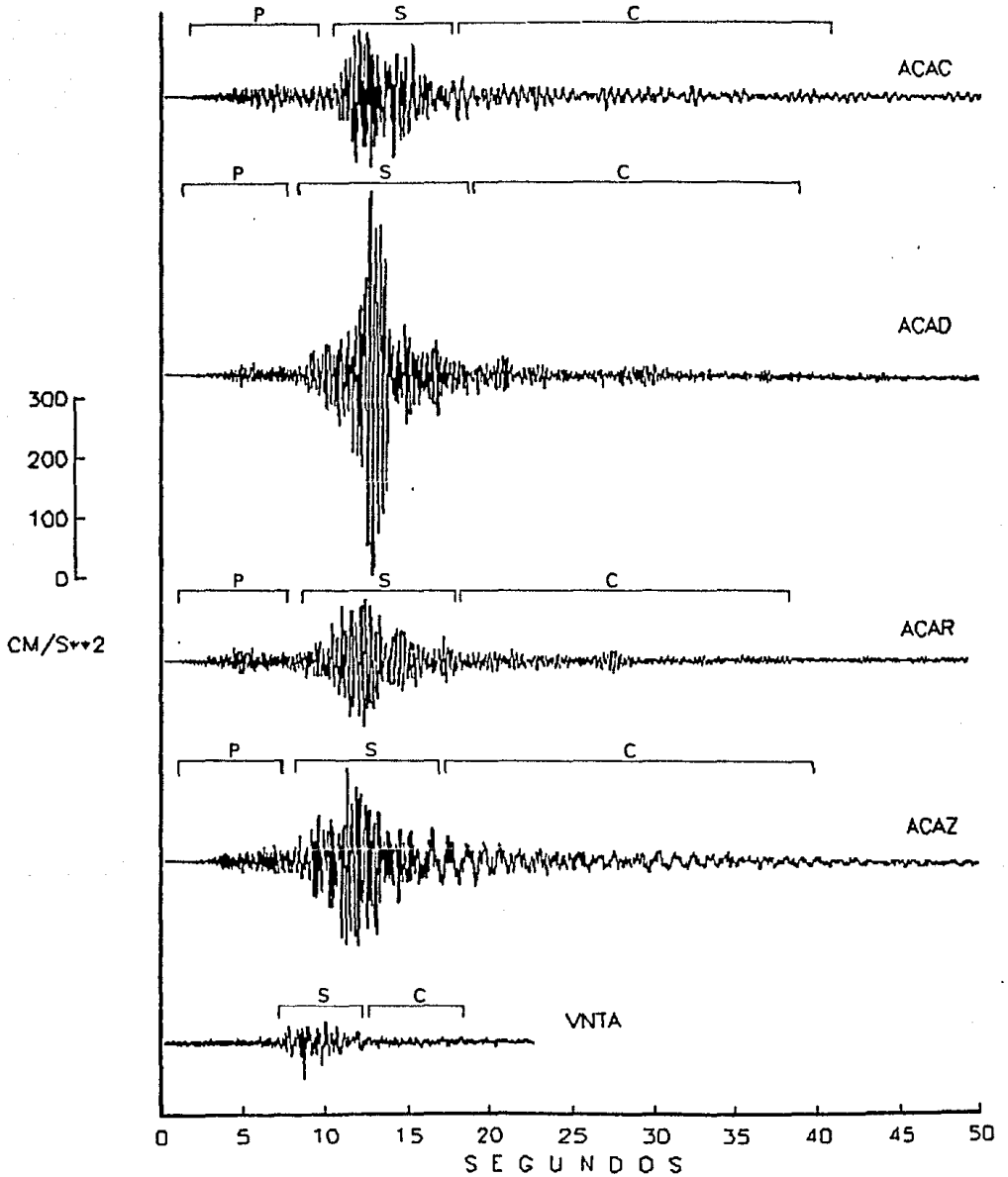


Fig 19. Acelerogramas del evento del 25 de abril de 1989, Ms = 6.9. EW
Se muestran las ventanas empleadas en el análisis espectral.

08-OCT-89 E-W

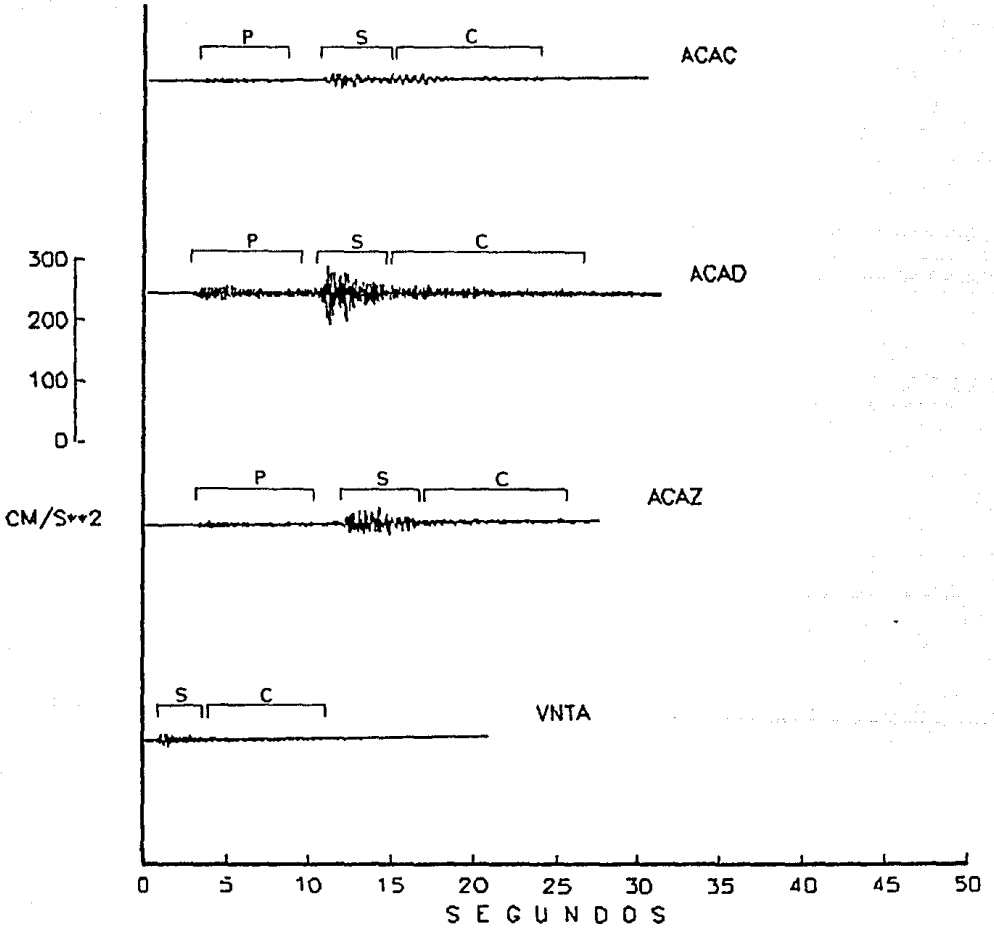


Fig 20. Acelerogramas del evento del 8 de octubre de 1989, $m_b = 5.0$. EW

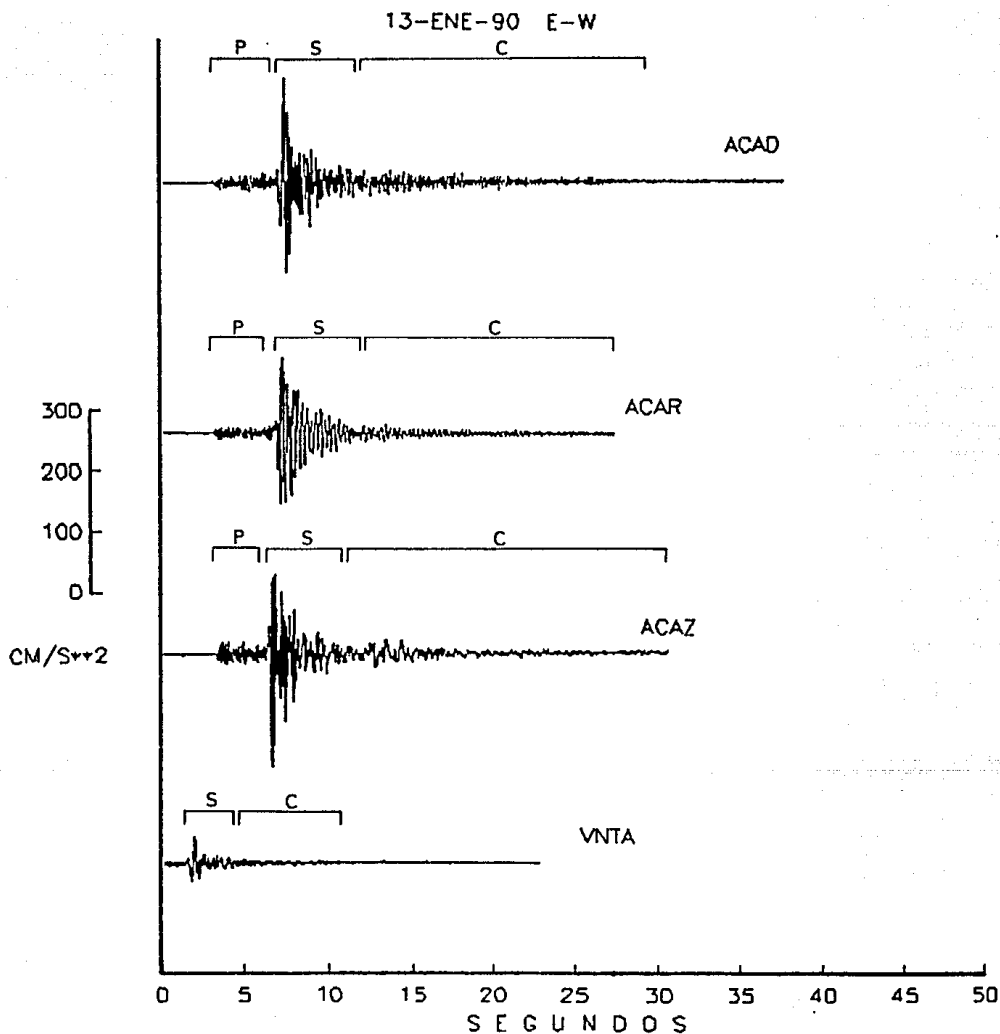
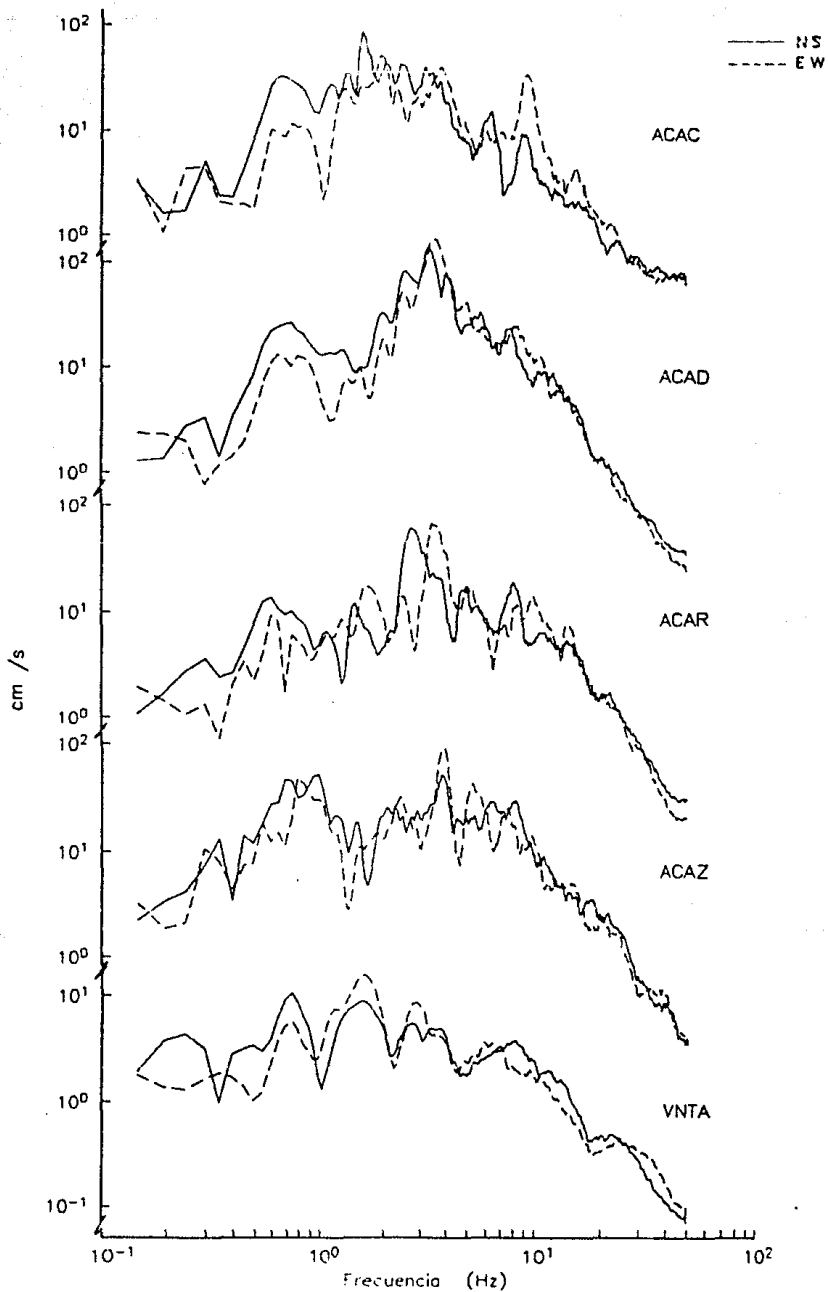


Fig 21. Acelerogramas del evento del 13 de enero de 1990, $m_b = 5.2$. EW

25-ABR-89 S



08-OCT-69 s

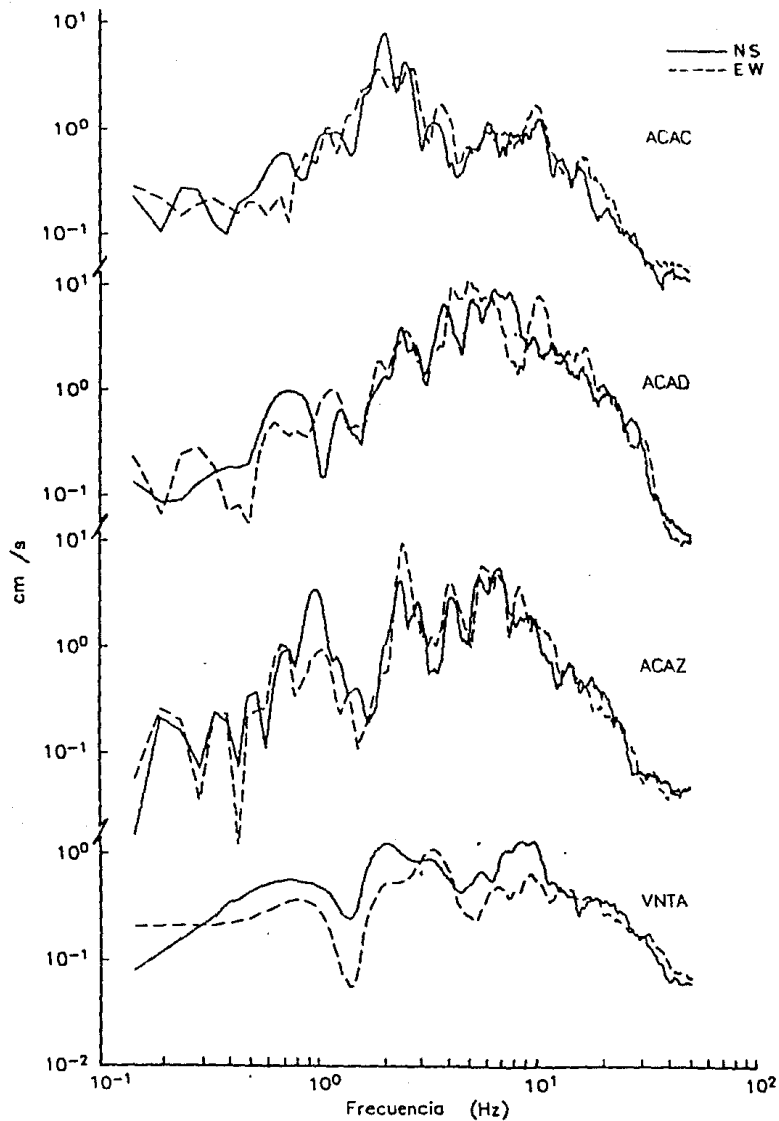


Fig 23. Espectros de amplitud de aceleración (ondas S); 08-oct-89.

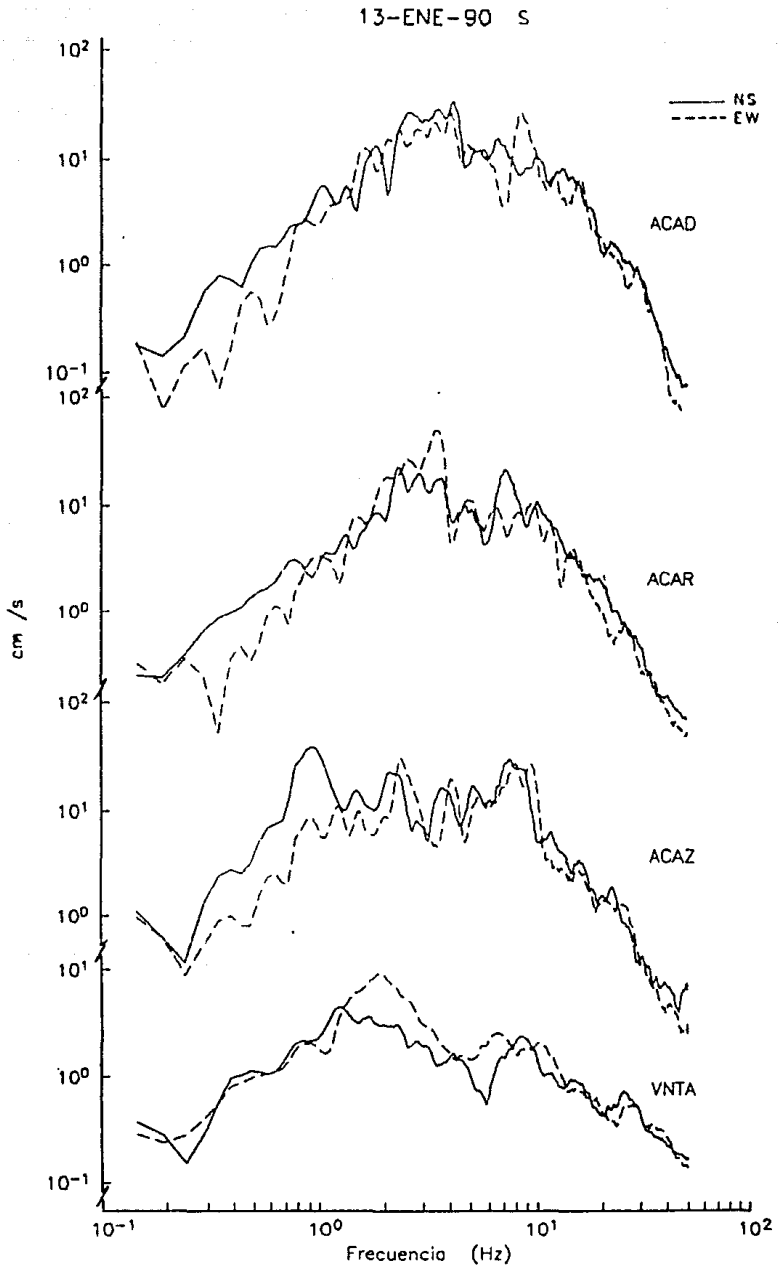


Fig 24. Espectros de amplitud de aceleración (ondas S); 13-ene-90.

25-ABR-89 C

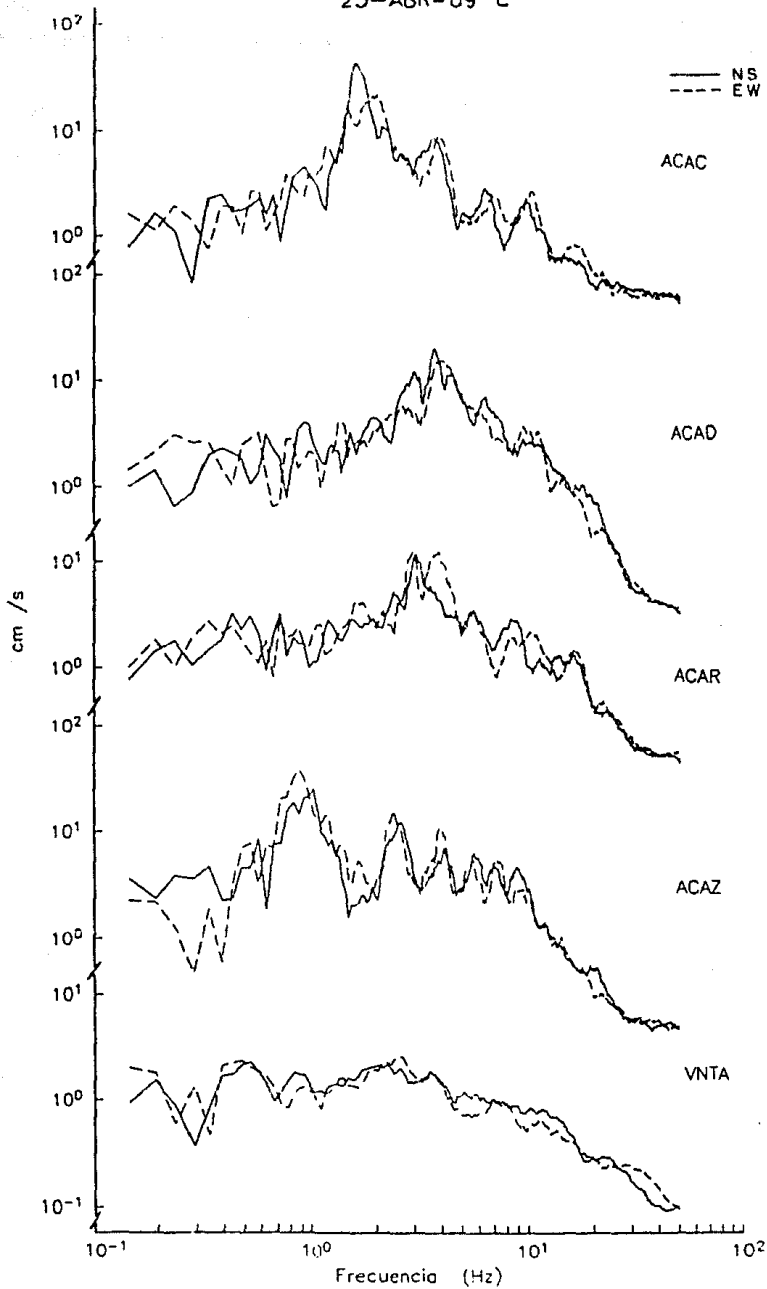


Fig 25. Espectros de amplitud de aceleración (ondas coda-S); 25-abr-89.

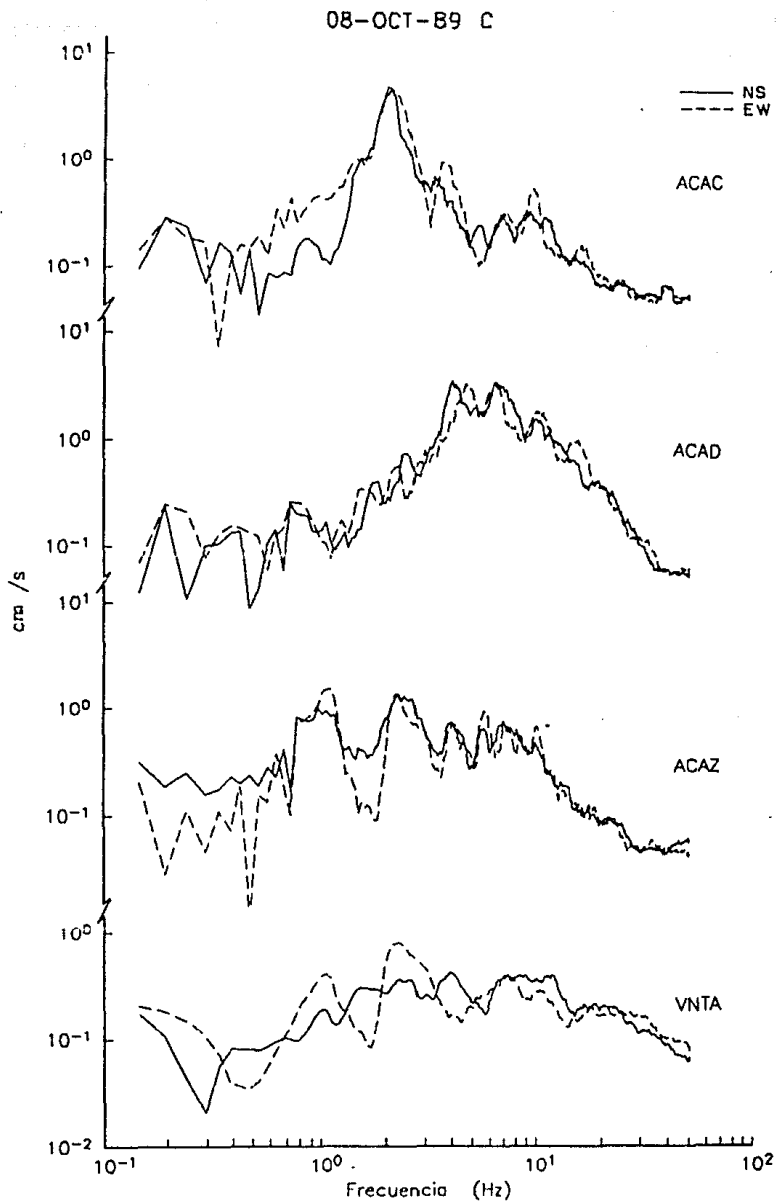


Fig 26. Espectros de amplitud de aceleración (ondas coda-S); 08-oct-89.

13-ENE-90 C

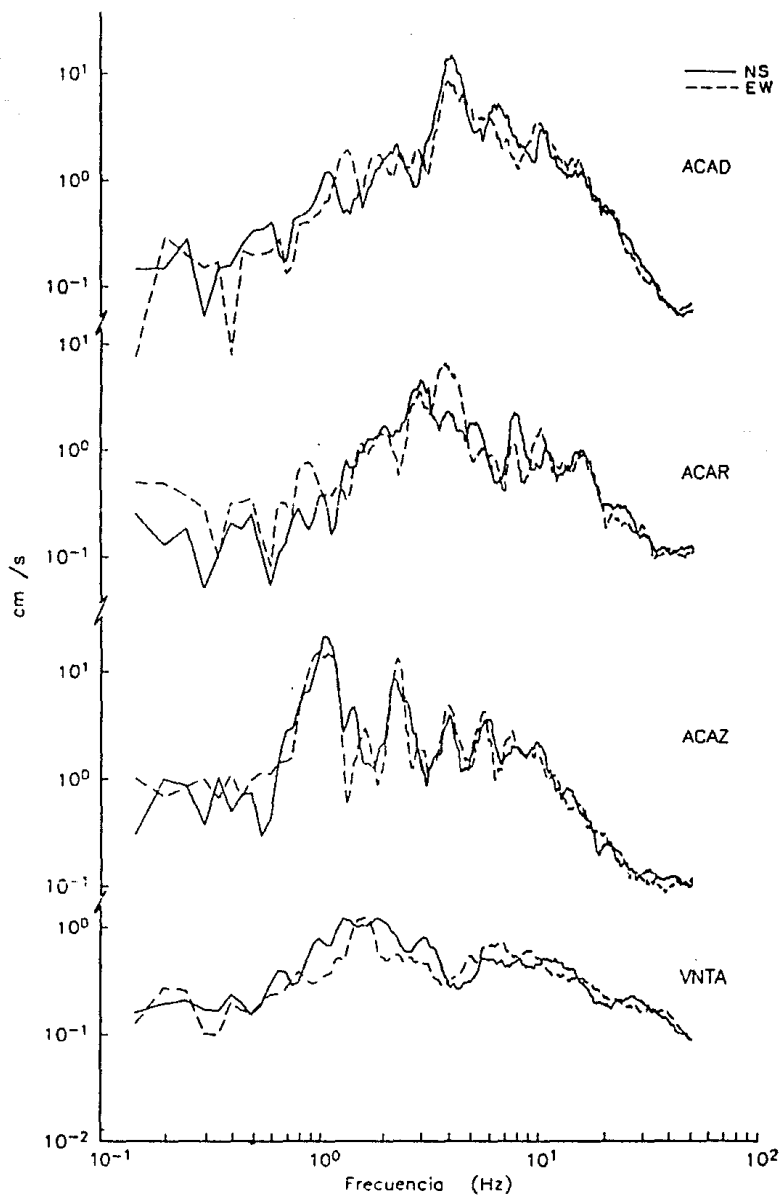


Fig 27. Espectros de amplitud de aceleración (ondas coda-S); 13-ene-90

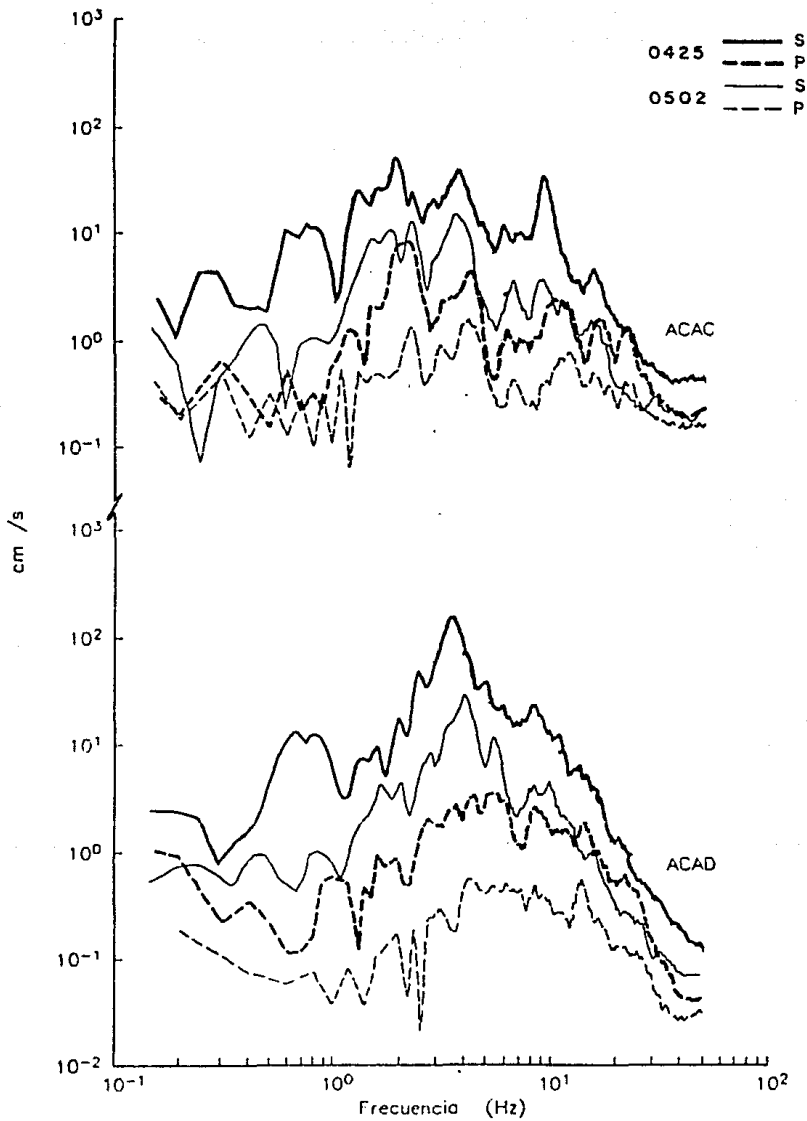


Fig 28. Comparación de espectros de amplitud de aceleración para ondas S y P, de eventos del grupo SE; EW.

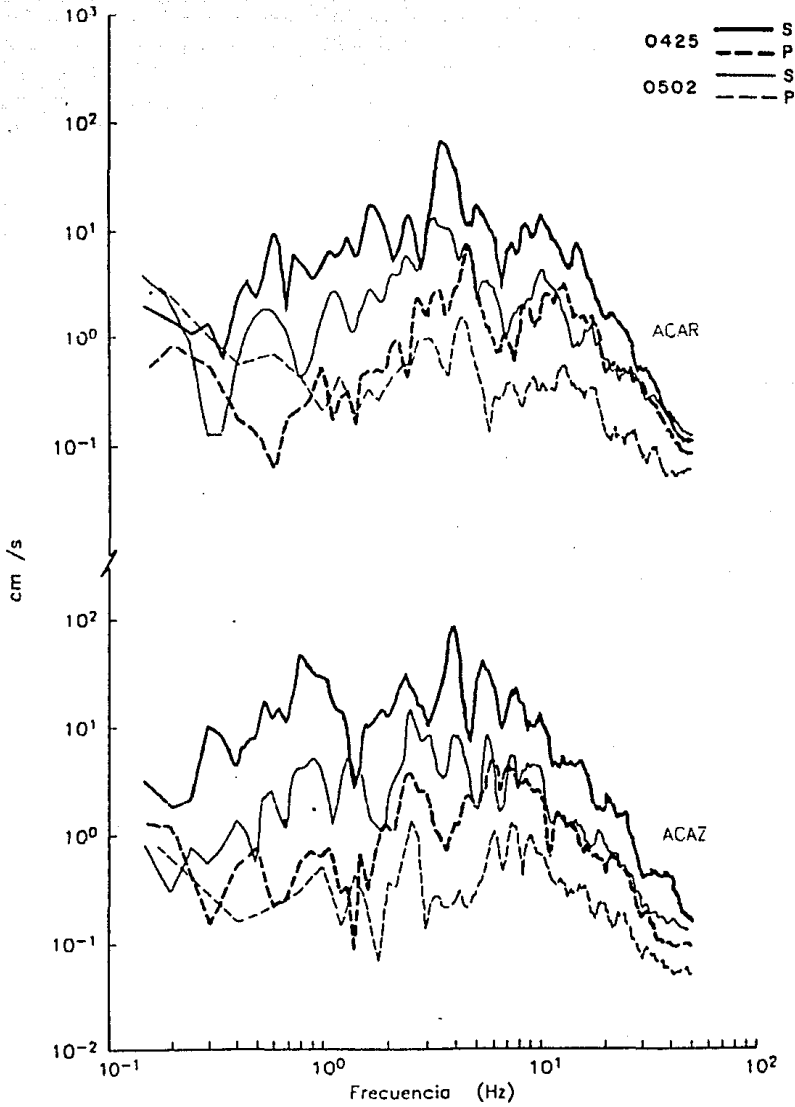


Fig 28. (Continuación).

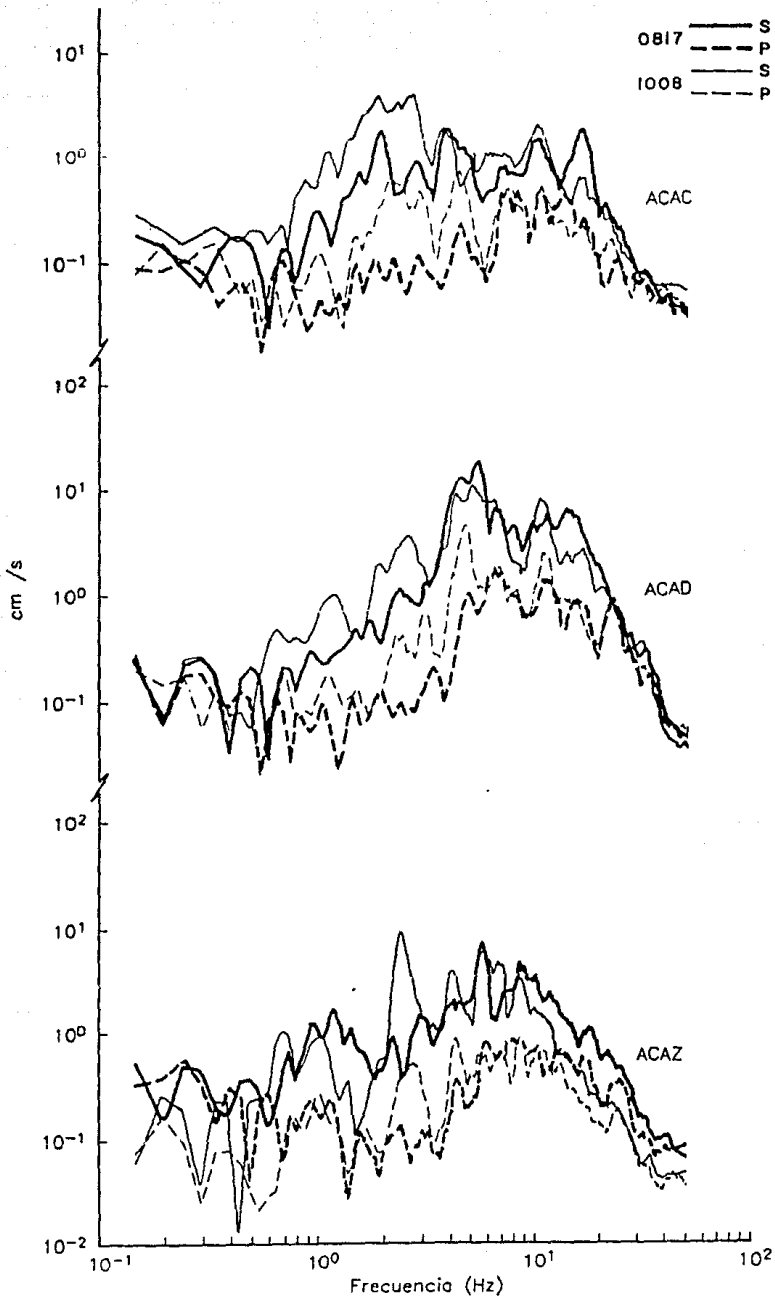


Fig 29. Comparación de espectros de amplitud de aceleración para ondas S y P, de eventos del grupo NW; EW.

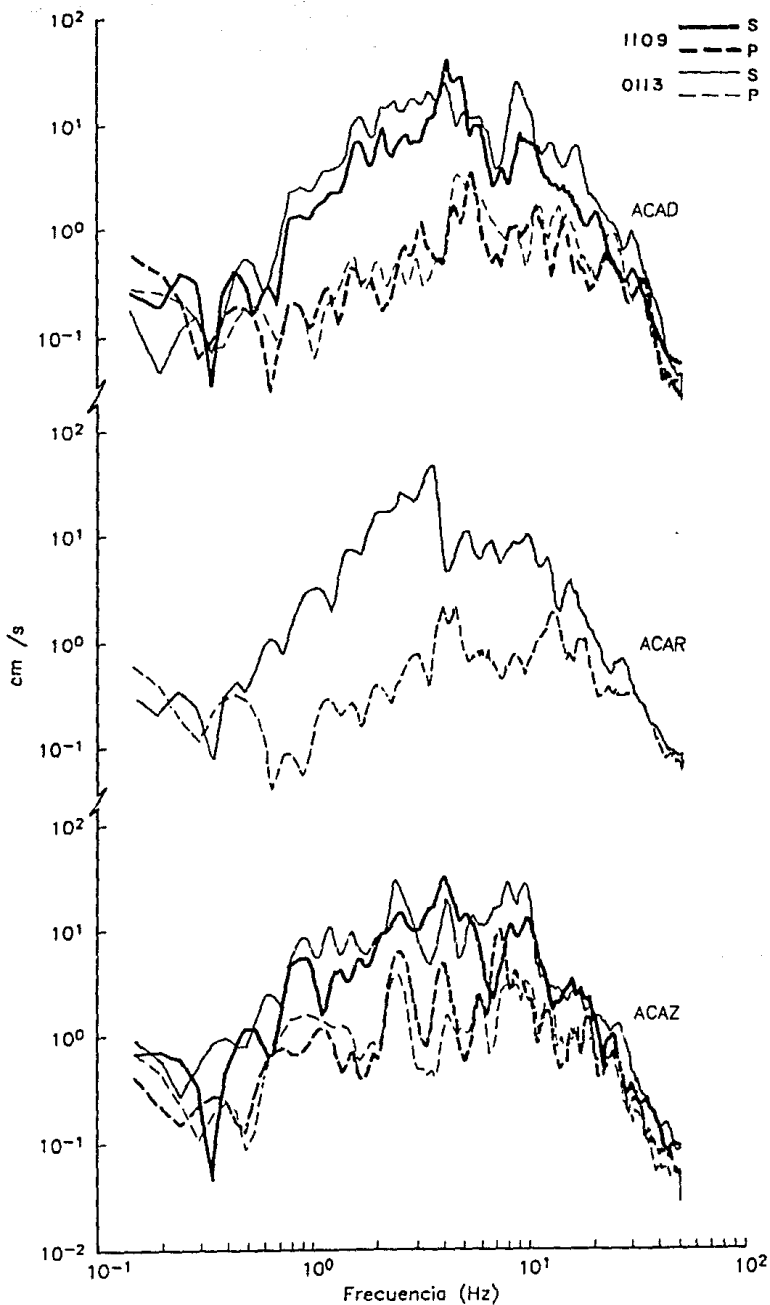


Fig 30. Comparación de espectros de amplitud de aceleración para ondas S y P, de eventos del grupo C; EW.

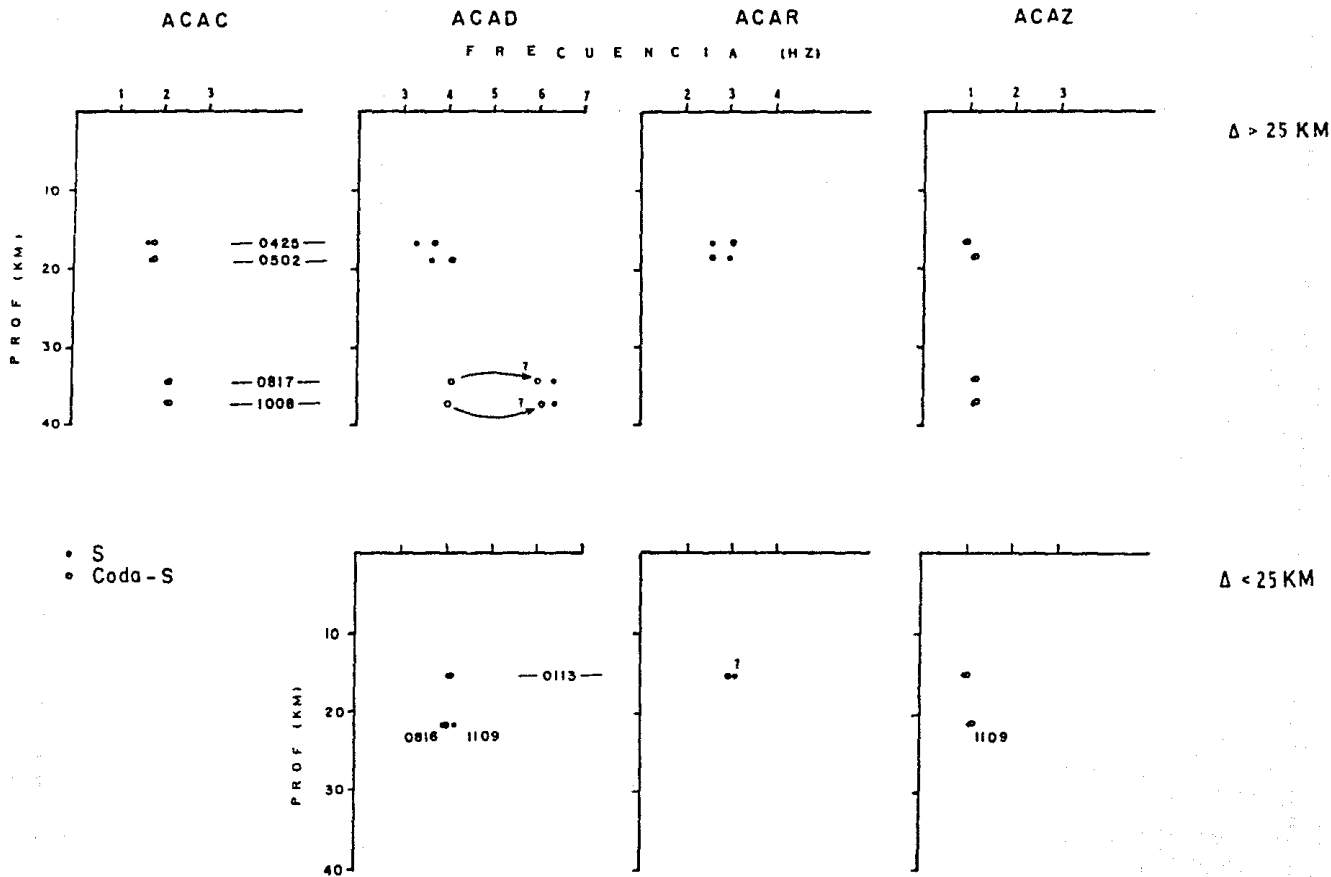


Fig 31. Frecuencias dominantes observadas en espectros de amplitud de aceleración de ondas S y coda-S; NS.

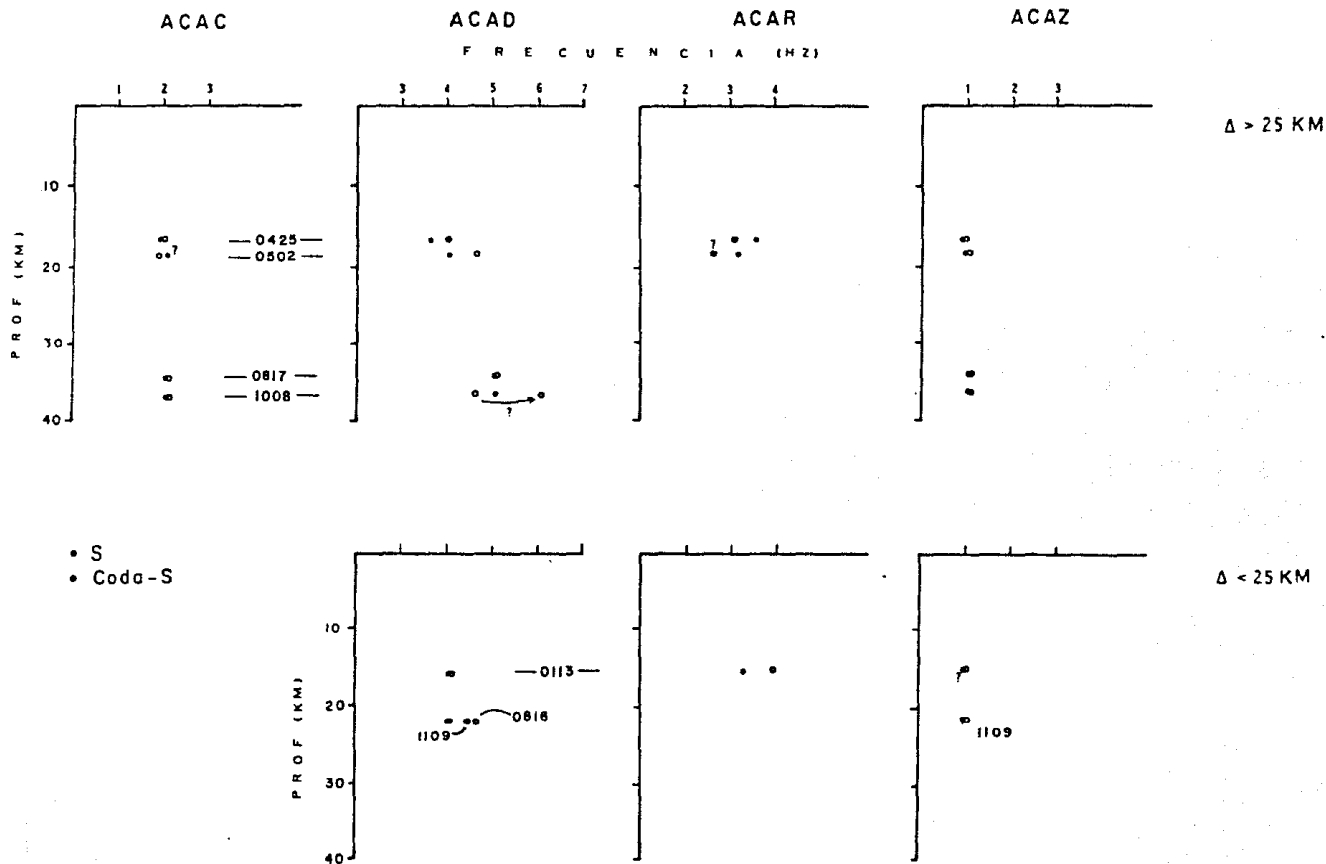


Fig 32. Frecuencias dominantes observadas en espectros de amplitud de aceleración de ondas S y coda-S; EW.

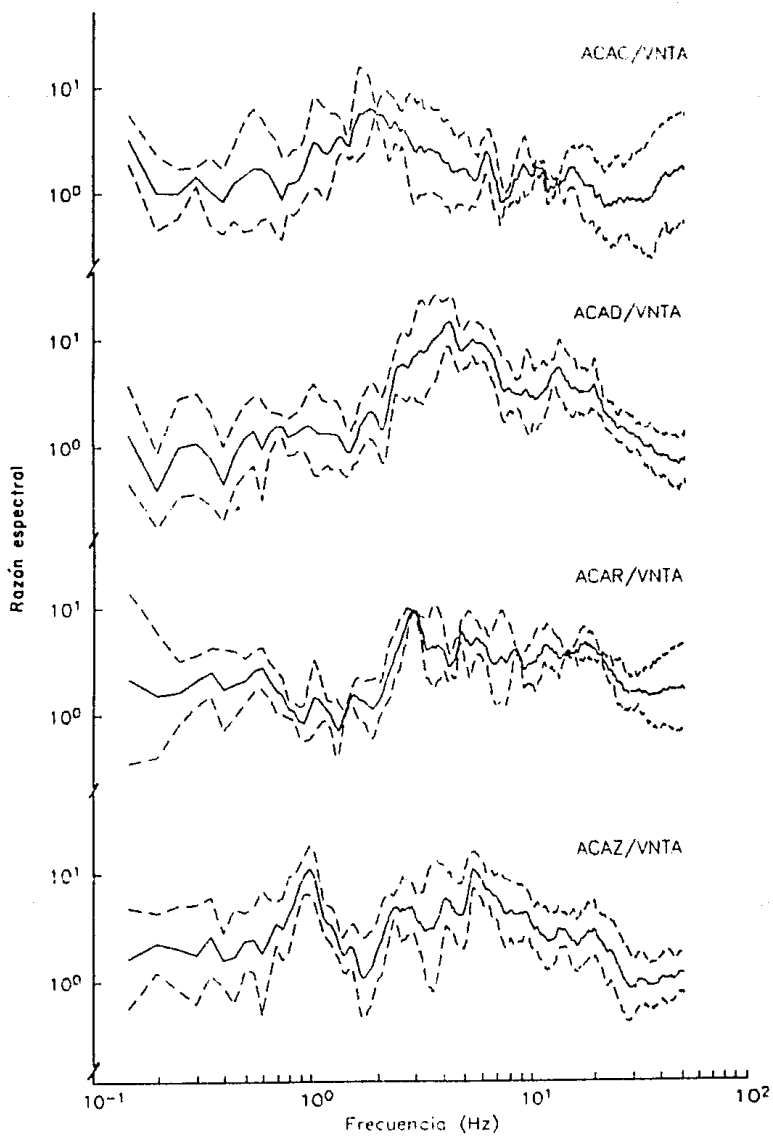


Fig 33. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas S; NS.

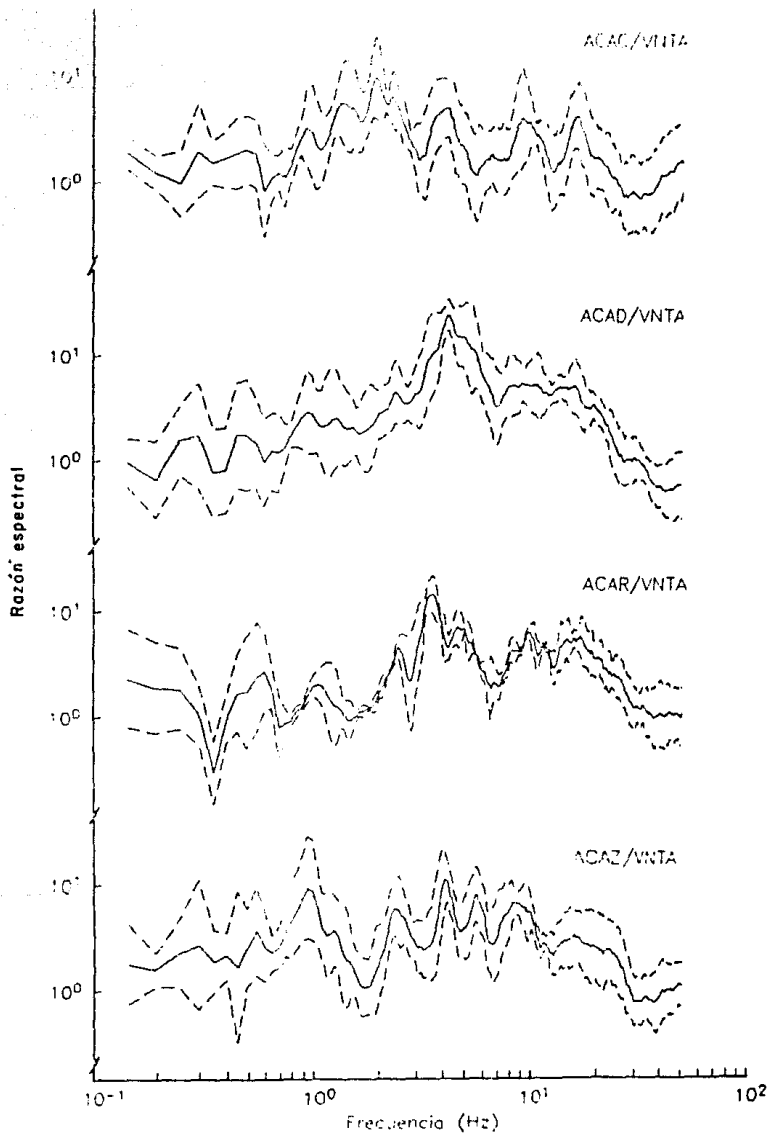


Fig 34. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas S; EW.

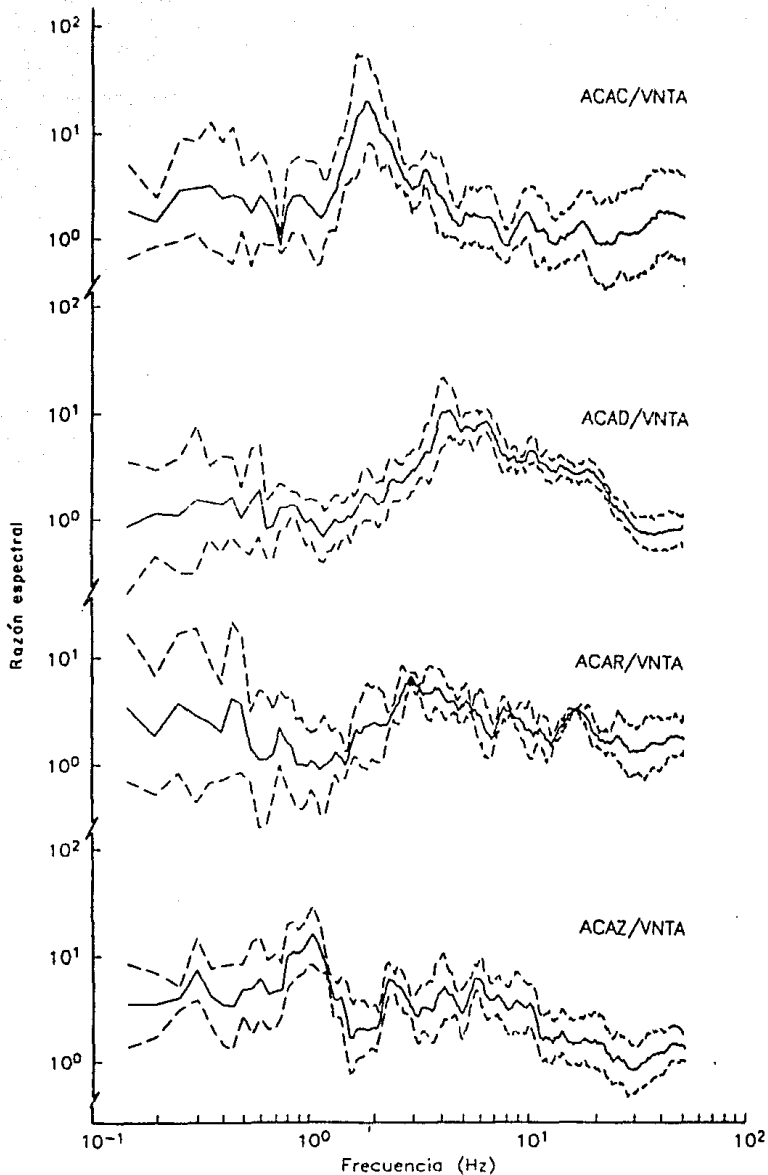


Fig 35. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas coda-S; NS.

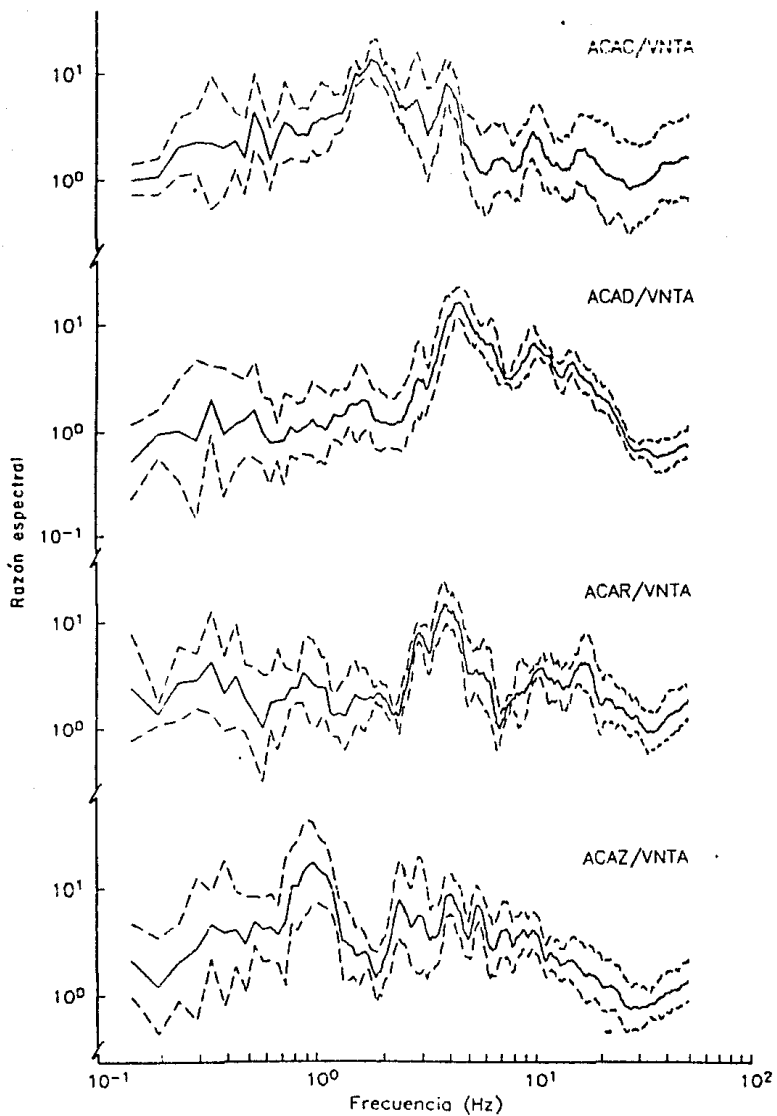


Fig 36. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas coda-S; EW.

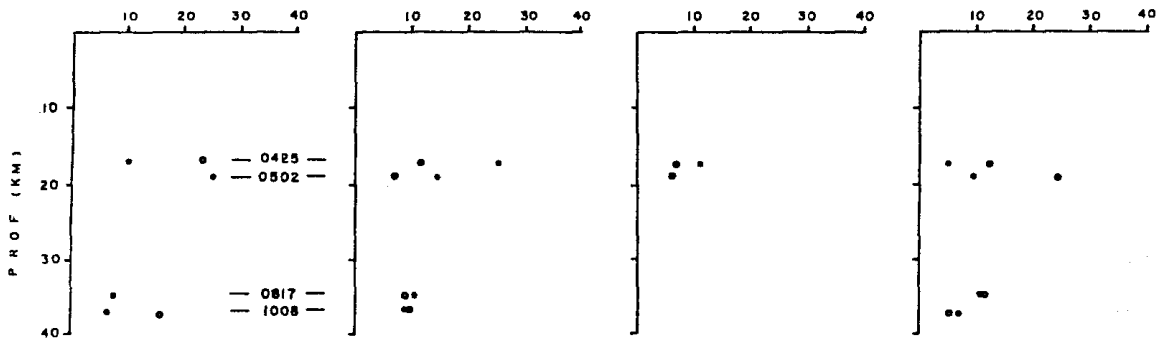
ACAC

ACAD

ACAR

ACAZ

A M P L I F I C A C I O N

 $\Delta > 25 \text{ KM}$

- S
- Coda

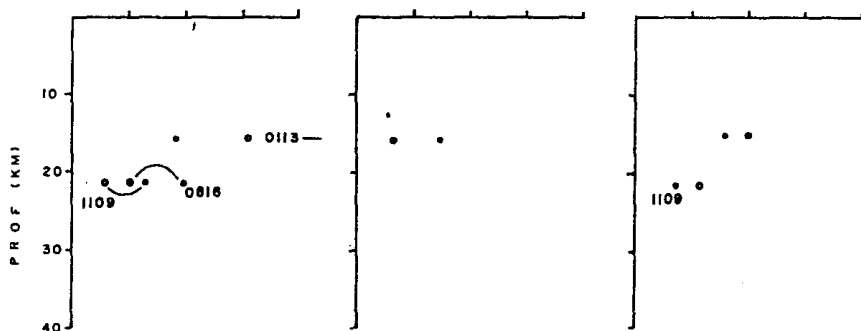
 $\Delta < 25 \text{ KM}$

Fig 37. Amplificación en la frecuencia dominante obtenida de razones espectrales de ondas S y coda-S; NS.

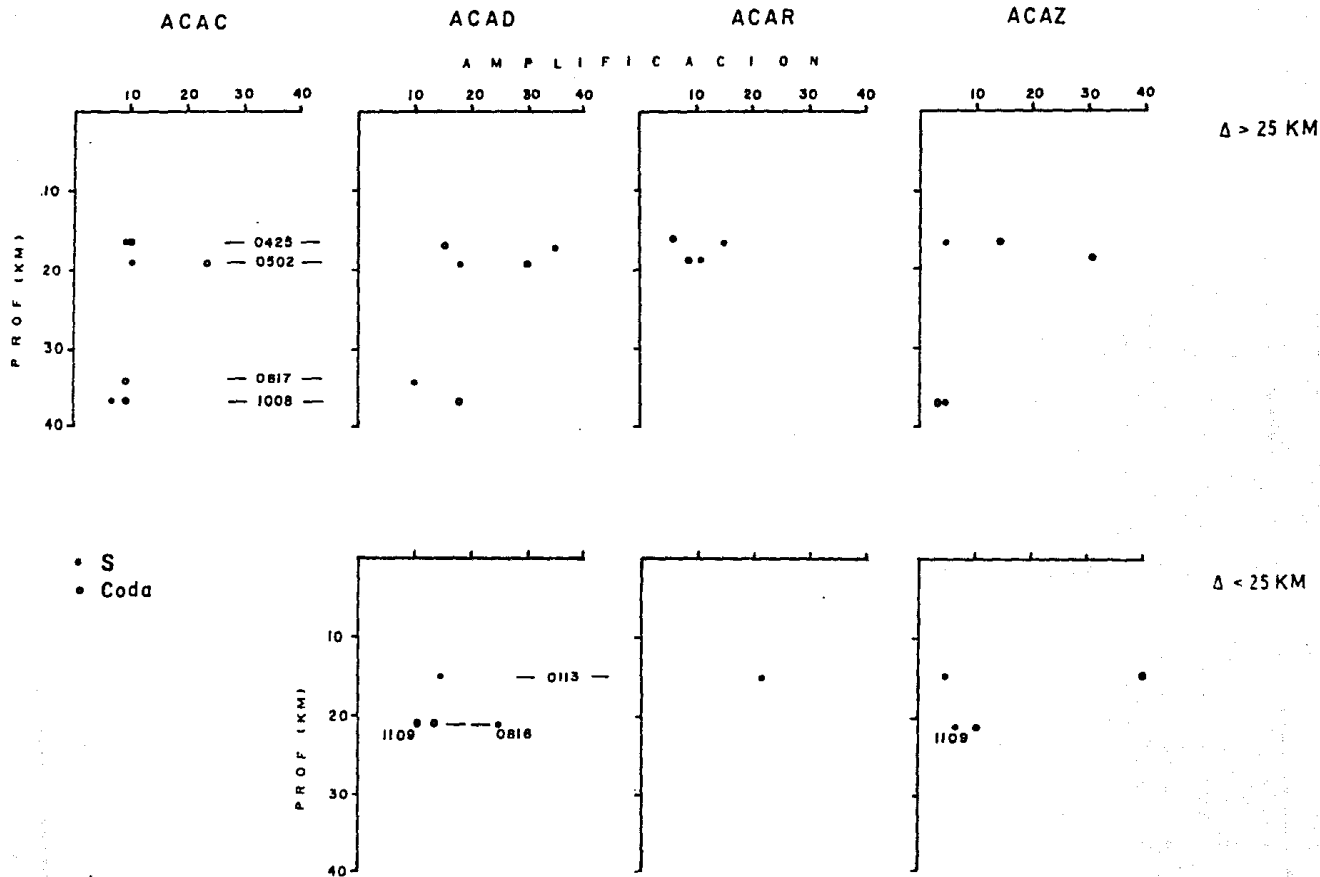


Fig 38. Amplificación en la frecuencia dominante obtenida de razones espectrales de ondas S y coda-S; EW.

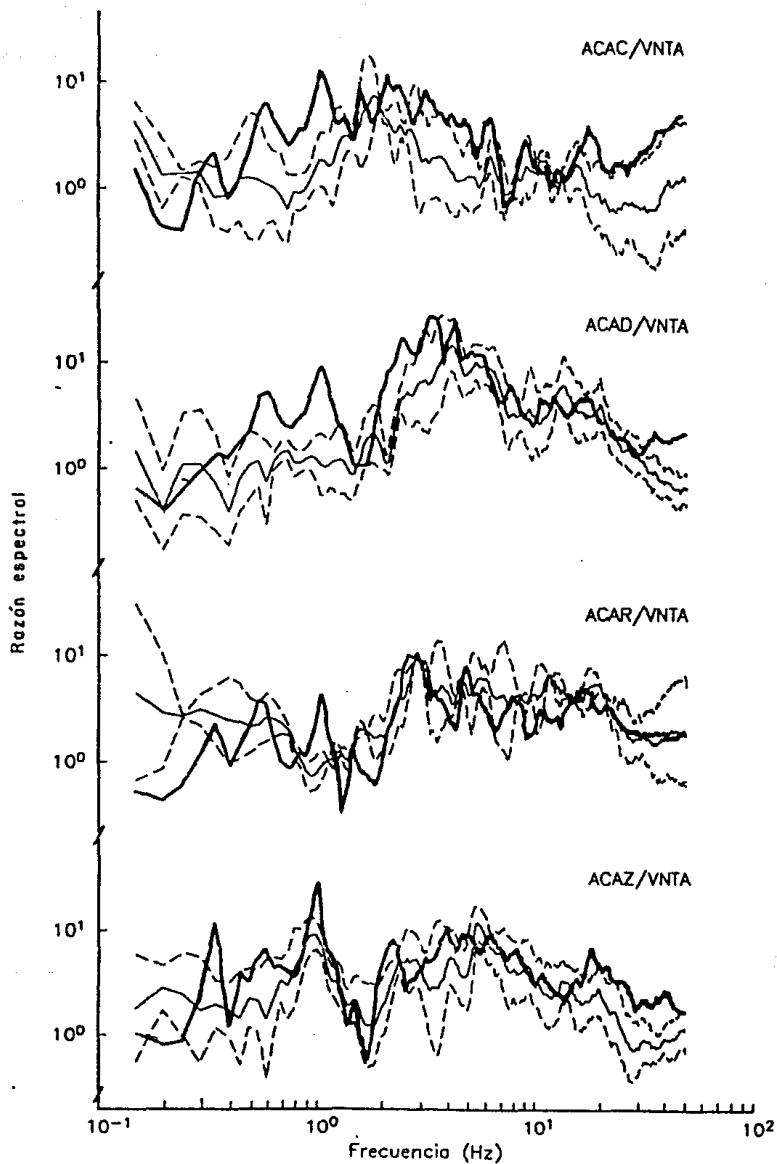


Fig 39. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas S de todos los eventos excepto 25-abr-89, cuya razón espectral se muestra con línea gruesa; NS.

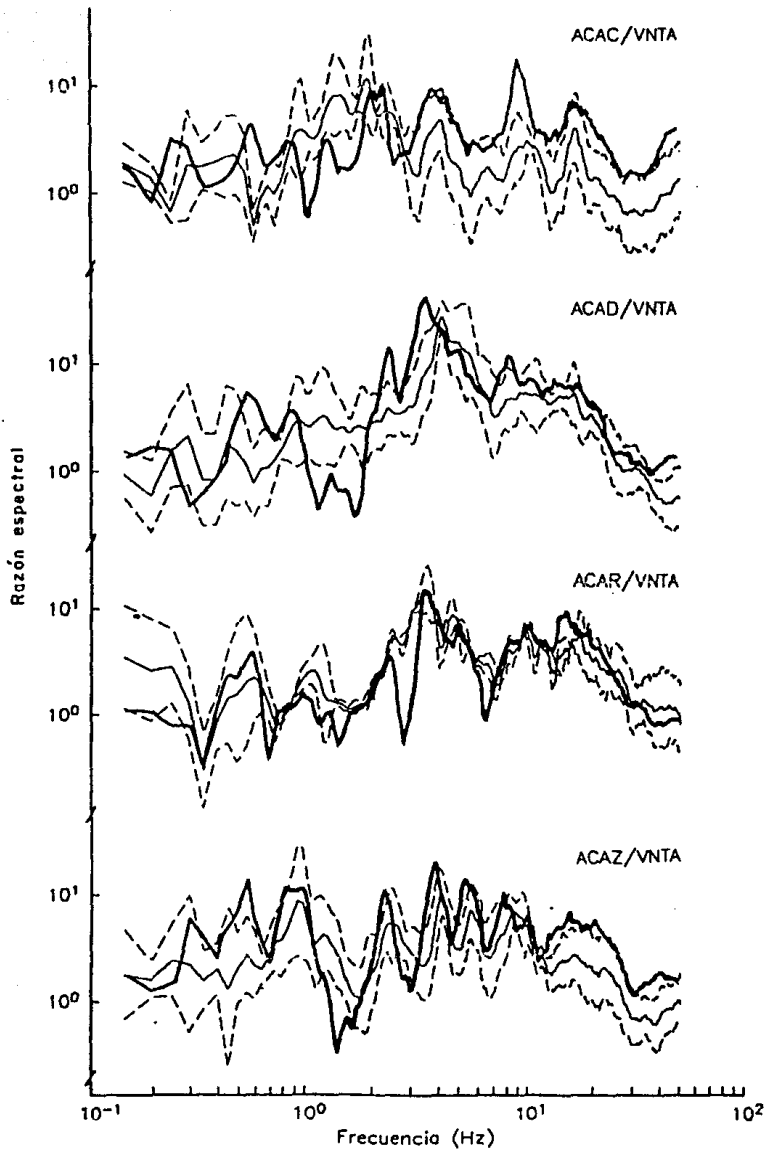


Fig 40. Promedios logarítmicos ($\pm \sigma$) de razones espectrales de aceleración para ondas S de todos los eventos excepto 25-abr-89, cuya razón espectral se muestra con línea gruesa; EW.