

EXTRACCION DE CURVAS DE DISPERSION EN REGISTROS DE ACELERACION

Evangelina Romero Jiménez¹, Sergio Chávez Pérez^{1,2}
y Carlos Calderón Macías

¹Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra Carretera al Ajusco 203, Col. Héroes de Padierna, México, DF 14200, México

² Departamento de Ingeniería de Recursos Energéticos Minerales, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM Ciudad Universitaria Circuito Exterior, México, DF 04510, México

RESUMEN

Se presenta un método de dos estaciones para analizar el fenómeno de dispersión para registros de aceleración de tres componentes. Se estudian registros de la red acelerométrica del valle de México.

INTRODUCCION

La dispersión es un fenómeno de propagación de ondas que se define como una variación en la velocidad de propagación con respecto a la frecuencia y es una característica importante de las ondas superficiales. La causa principal del fenómeno es la presencia de estratificación en el medio y su descripción se logra a través de curvas de dispersión de velocidades de fase o de grupo (según se estén estudiando formas de onda aisladas o trenes de onda). El poder detectar la presencia de ondas superficiales motiva a realizar un análisis de identificación modal (modo fundamental) en registros de aceleración y extraer información de la estratigrafía superficial en sitios de registro.

Presentamos una forma de extraer curvas de dispersión en registros de aceleración con un método de dos estaciones (e.g., Yamanaka et al., 1989; Dean y Keller, 1991; Calderón et al., 1991), basado en la técnica de filtro múltiple (Dziewonski et al., 1969). Esta técnica permite determinar velocidades de grupo al calcular envolventes de amplitud de las señales en función de la frecuencia. Las velocidades de grupo se obtiene filtrando cada una de las señales y dividiendo el retraso de cada grupo de energía entre la distancia que separa las estaciones.

Con el fin de estabilizar el proceso y obtener mejor definición en la curva de velocidad de grupo se agrega, en algunos casos, ruido aleatorio a las señales antes de aplicar el filtrado múltiple. Los resultados que se obtienen en los registros de la red acelerométrica de la ciudad

México para los sismos del 25 de abril de 1989 y del 31 de mayo de 1990 muestran la utilidad de éste método y la factibilidad de su aplicación en la obtención de características dispersivas presentes en la energía sísmicas.

METODO DE DOS ESTACIONES UTILIZANDO FILTROS DE GAUSS Y DE MARTIN-GRAHAM

La obtención de curvas de dispersión es factible utilizando un método sencillo de dos estaciones basado en la técnica de filtro múltiple (Calderón et al., 1991). Esta técnica permite determinar velocidades de grupo entre dos estaciones al filtrar cada una de las señales con una ventana móvil en el dominio de la frecuencia.

Para el filtrado en frecuencia usamos el filtro de Gauss (Dziewonski et al., 1969) el cual es estable en el rango de frecuencias que se utilice. El filtrado de una señal de periodo largo con el filtro de Gauss no tiene problemas en frecuencias bajas, pero al filtrar señales de periodo corto existen efectos adicionales de traslape y enmascaramiento en la convolución del filtro con la señal de frecuencias bajas. Como consecuencia los valores de velocidad de grupo resultan irreales, en frecuencias menores de 0.25 Hz, comparados con los valores esperados. Surge así la necesidad de estabilizarlos o utilizar otro filtro.

Para eliminar estos efectos de traslape de la señal con el filtro utilizamos el filtro de Martín-Graham (Kulháněk, 1979) en el intervalo de 0 - 0.25 Hz. El filtro de Gauss se utiliza en el intervalo restante de nuestros análisis (0.25 - 1 Hz). Ambos filtros son simétricos en cada una de las frecuencias centrales elegidas para su aplicación.

El uso del filtro de Martín-Graham hasta la frecuencia de

0.25 Hz permite que los valores de velocidad de grupo que se obtiene sean más realistas comparados con valores de velocidad teóricos (calculados con modelos estratigráficos conocidos entre las estaciones en estudio).

ADICION AL RUIDO ALEATORIO Y SU EFECTO DE ESTABILIZACION

Para obtener una mejor definición de las curvas de dispersión, y con el fin de estabilizar los valores de velocidad de grupo, incluimos algunas pruebas en las que se agregó un porcentaje de ruido aleatorio a los registros antes de aplicar el método de dos estaciones.

Para sumar el ruido aleatorio a una señal, primero se generan números aleatorios a partir de un valor inicial (semilla) arbitrario declarado con doble precisión, con un método polar que generan dos desviaciones uniformes de número independientes entre sí, en el intervalo $(-1, 1)$, hasta que la suma de las raíces cuadradas de cada una de las desviaciones sea menor que uno (IMSL, 1984). El valor máximo de amplitud del registro de aceleración presenta el 100% de ruido que puede sumarse. Esto asegura que la amplitud de la señal no cambie al multiplicarse con un porcentaje de ruido. Encontramos que el porcentaje óptimo de ruido está definido, en el intervalo de 2.5 a 5 % del valor máximo de amplitud de la señal. El intervalo de porcentajes propuesto no altera la forma ni amplitud del registro. Sin embargo, el uso de porcentajes mayores conduce a un incremento del contenido de frecuencias altas en el registro y, en consecuencia, la forma del registro se altera.

RESULTADOS

Por sencillez, el método de dos estaciones únicamente se aplica en los componentes de desplazamiento transversal (este-oeste), EW) observados durante los sismos del 25 de abril de 1989 y del 31 de mayo de 1990. Estos resultados se comparan con la curva teórica del modo fundamental de ondas de Love, obtenida para modelos estratigráficos conocidos de cada uno de los pares de estaciones analizados. En las figuras 2, 3, 4, y 5 los valores de velocidad de grupo extraídos se indican con círculos y la línea continua representa los valores de velocidad de grupo teóricos.

Además, comparamos los resultados obtenidos sin adición previa de ruido con los registros con adición previa. La Figura 1 muestra la ubicación de las estaciones de registro analizadas con el método de dos estaciones, de los dos sismos mencionados. Las estaciones 08, 09, 22 y 84, corresponden al sismo el 25 de abril y las estaciones Coyoacán (COY), Roma -c (RMC), Tlacotal

(TLA) y Unidad Kennedy (UKE) corresponden al sismo del 31 de mayo.

Realizamos una preselección de los registros con base en la semejanza de sus formas de onda, considerando que la distancia de separación entre estaciones no fuera muy grande (menor de 12 km). Aún así, el problema de extracción de curvas de dispersión utilizando todo el registro de aceleración es complejo. Las estaciones de registro elegidas para el análisis de dispersión se encuentran en las zonas de transición y del lago y el sentido de propagación de la energía sísmica se considera de sur a norte.

Los registros del 25 de abril de 1989 tienen una corrección de tiempo absoluto obtenida al correlacionar los componentes de desplazamiento vertical (L. E. Pérez-Rocha, comunicación personal 1990).

La figura 2 muestra la curva de velocidad extraída para las estaciones 08 y 09 (con una separación horizontal de 1.23 km). Los valores de velocidad teóricos fueron obtenidos con el siguiente modelo estratigráfico (M. Suárez, comunicación personal).

Espesor del estrato (m)	Densidad (g/cm ³)	Velocidad (S) (m/s)
7	1.4	140
24	1.2	50
4	1.6	200
9	1.2	70
6	1.6	200
semi espacio	2.1	1100

El ajuste de la curva extraída con la curva teórica es excelente en el intervalo de frecuencias de 0.25 a 0.55 Hz. En la Figura 2b se muestra la adición de ruido aleatorio de 2.5%. Esto mejora la definición de la curva extraída porque elimina algunos valores de velocidad en frecuencias altas. El buen ajuste de las curvas de dispersión confirma nuestra hipótesis, y la de otros, de que basta considerar únicamente el modo fundamental de dispersión para conocer la estratigrafía del sitio de estudio (ver, entre otros, Asten y Henstridge, 1984; Li y Teng, 1990; Rix et al., 1990; Hadiouche et al., 1991; Woods et al., 1991).

La figura 3 muestra la curva de velocidad de grupo obtenida entre las estaciones 84 y 22 (con una separación horizontal de 1.724 km). Los valores teóricos de velocidad se obtuvieron con el siguiente modelo estratigráfico (M. Suárez, comunicación personal).



Espesor del estrato (m)	Densidad (g/cm ³)	Velocidad (s) (m/s)
6	1.6	200
23	1.2	50
semiespacio	2.1	1100

Algunos puntos de la curva de velocidad de grupo extraída muestran comportamiento similar con los de la curva teórica. Además, el efecto de sumar ruido aleatorio a los registros de las estaciones 84 22 elimina algunos valores de velocidad que no corresponden a la curva de velocidad de grupo.

En el caso de los registros del temblor del 31 de mayo de 1990 (obtenidos por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED), las estaciones se localizan en la superficie y en diferentes niveles de profundidad de un pozo. Igual que en los casos anteriores al análisis de dispersión se realiza únicamente en los componentes de desplazamiento transversal (EW) de los registros en superficie. Las estaciones que se analizan son Coyoacán y Roma-C (con una separación horizontal de 8.1 km) y Unidad Kennedy y Tlacotal (con una separación horizontal de 1.6 km). Las curvas de dispersión teóricas para cada uno de los análisis se calculan con una combinación de los modelos estratigráficos propuestos para los estratos superficiales de las dos estaciones en consideración (Ordaz et al., 1991).

La Figura 4 muestra los valores de velocidad de grupo obtenidos para las estaciones Coyoacán y Roma-c, el cálculo de velocidades de grupo entre estas estaciones muestra información interesante en el intervalo de frecuencia de 0.0 a 0.55 Hz, pero a partir de esta última frecuencia los resultados de velocidad de grupo son muy altos comparados con los valores obtenidos de la curva de dispersión del modelo propuesto.

Finalmente, la Figura 5 muestra los valores de velocidad de grupo obtenidos para las estaciones Unidad Kennedy y Tlacotal. El ajuste entre las curvas es bueno en el intervalo de frecuencias de 0.2 a 0.55 Hz. Fuera de este intervalo los valores de velocidad no pueden relacionarse con la curva teórica de dispersión.

En general, las curvas de dispersión extraídas con el método de dos estaciones muestran buena definición en el intervalo de frecuencias 0.3 - 0.45 Hz. La comparación entre las curvas es bastante buena, sobre todo si se considera que se analiza todo el registro de aceleración. La adición de ruido aleatorio elimina algunos valores que no ajustan la curva de dispersión en frecuencias bajas. El efecto del ruido es mayor en frecuencias mayores que 0.55 Hz y no causa ningún

efecto notable en los puntos cercanos a la curva de dispersión..

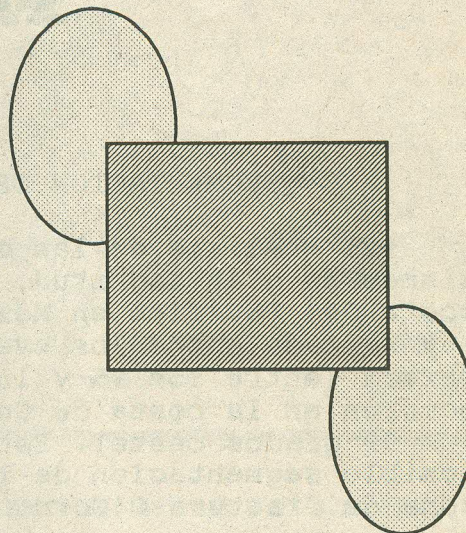
DISCUSION

Los resultados obtenidos muestran que es posible analizar la presencia de dispersión en los acelerogramas de la ciudad de México con un método sencillo de dos estaciones. Esto se ha logrado aún en la zona del lago donde el movimiento es muy complejo. Este hecho es notable ya que resultados preliminares (Calderón et al., 1991) indicaban la dificultad de obtener información en esta zona. En general, los resultados muestran ajustes muy buenos entre las curvas de dispersión teórica y extraída, principalmente en la fase de Airy, lugar donde siempre ocurre la máxima concentración de energía de ondas superficiales. La adición de ruido aleatorio (en el intervalo de 2.5 a 5%) no altera la forma esencial de la curva extraída, pero si elimina, en algunos casos, algunos valores que no son representativos y que afectan la estimación de las velocidades. El uso de ruido permite eliminar valores en frecuencias mayores que 0.55 Hz donde, generalmente, se encuentran problemas debidos a los arribos de ondas de cuerpo.

Hasta el momento, nuestro trabajo ha permitido demostrar la existencia de ondas superficiales entre estaciones de registro de aceleración. La falta de tiempos absolutos (o tiempos muy precisos) no parece ser un factor determinante en la obtención de curvas de dispersión.

AGRADECIMIENTOS

Miguel A. Santoyo (CENAPRED) proporcionó los registros de aceleración del sismo del 31 de mayo de 1990. Juan Martín Gómez González por su ayuda técnica.



CIUDAD DE MEXICO

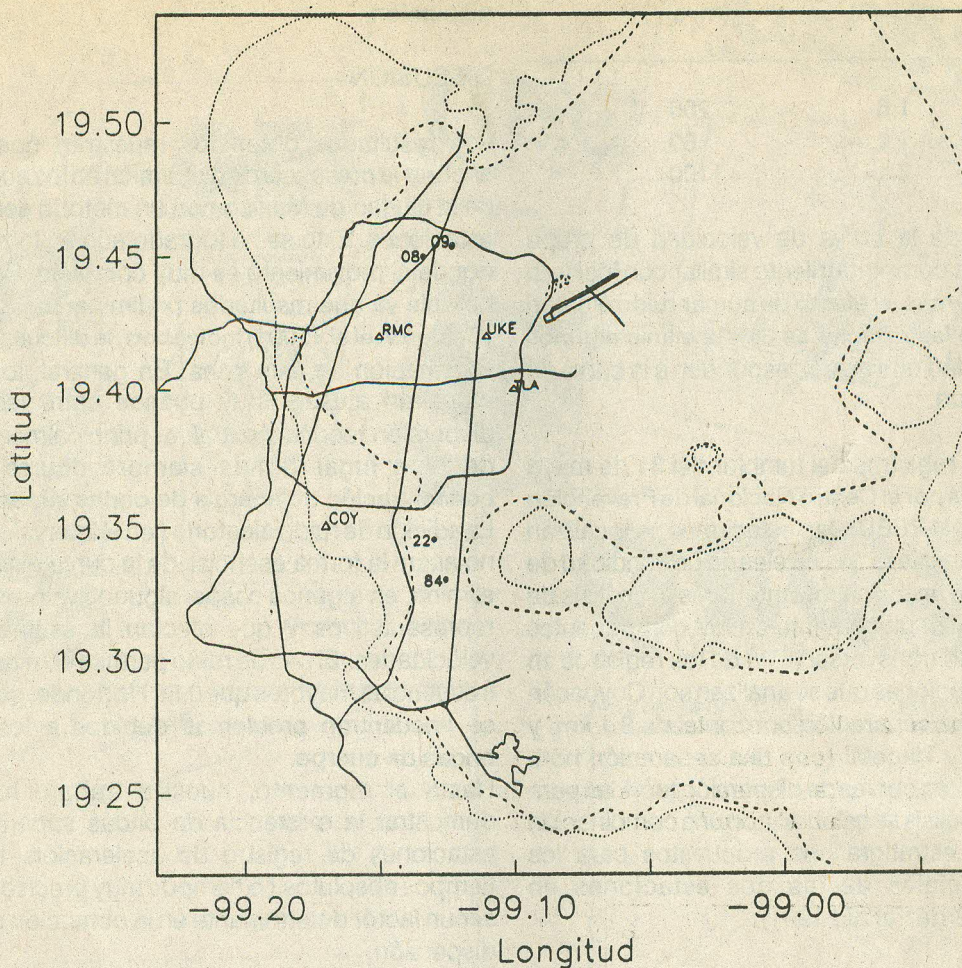


Figura 1. Ubicación de las estaciones analizadas con el método de dos estaciones. Zonificación geotécnica de la ciudad de México.

GEOS
UNION GEOFISICA MEXICANA

SEGMENTACION DE LA PLACA DE COCOS

El análisis de las características focales, de los sismos de gran magnitud, a lo largo de la trinchera en la costa del Pacífico en México indican que existe un cambio muy marcado entre los eventos que ocurren en la costa de Oaxaca (entre los 95 y los 99 grados oeste) y los que ocurren en la costa de Guerrero y Michoacán (al noroeste de los 99 grados oeste). Este aspecto ha llevado a postular la posible segmentación de la Placa de Cocos a lo largo de la zona de fractura O'Gorman.

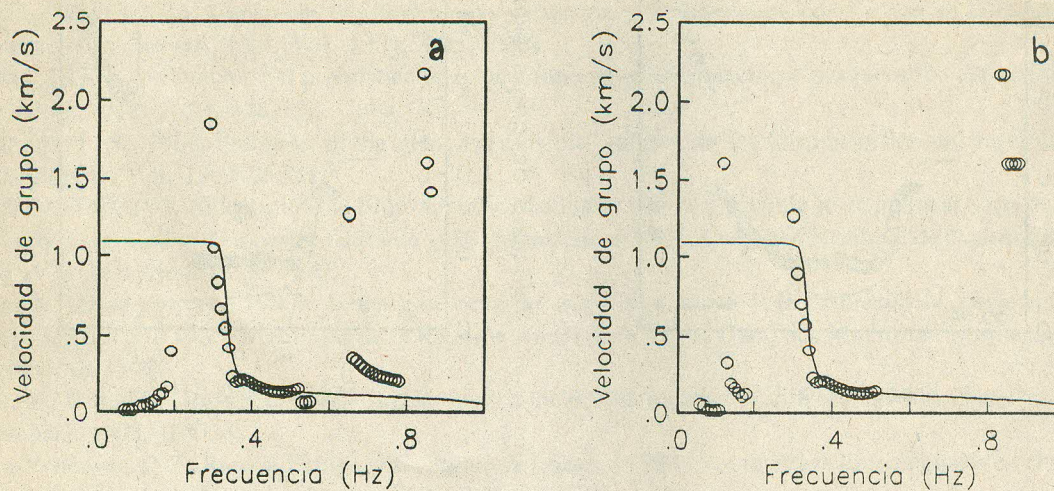


Figura 2. Velocidades de grupo observadas para los desplazamientos EW entre las estaciones 08 y 09. La línea continua muestra los valores teóricos.
a) Cálculos sin ruido y b) cálculos con ruido.

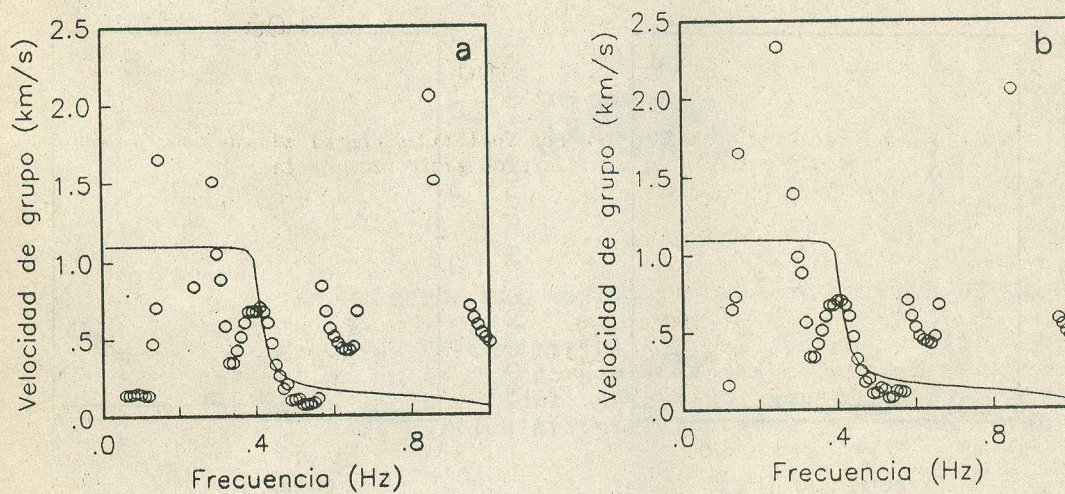


Figura 3. Velocidades de grupo observadas para los desplazamientos EW entre las estaciones 84 y 22. La línea continua muestra los valores teóricos.
a) Cálculos sin ruido y b) cálculos con ruido.

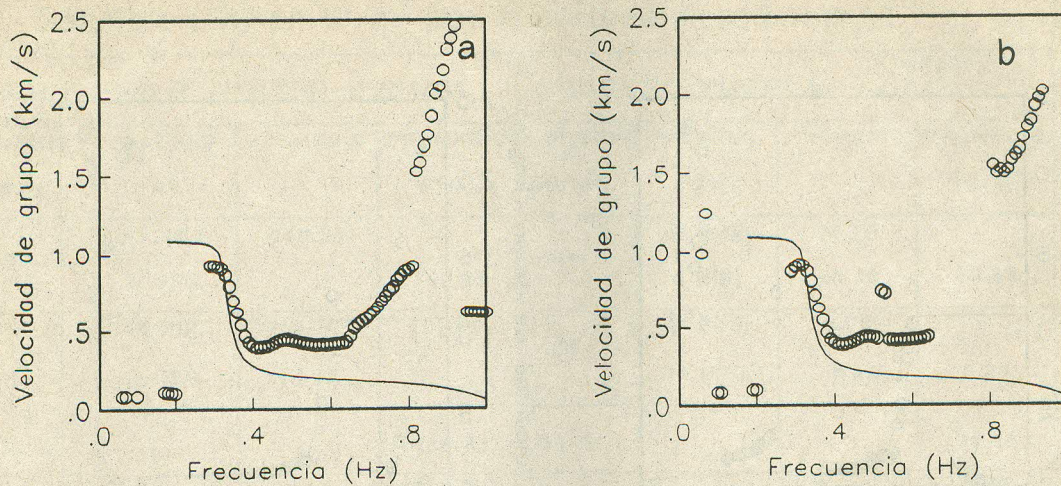


Figura 4. Velocidades de grupo observadas para los desplazamientos EW entre las estaciones Coyoacán y Roma-c. La línea continua muestra los valores teóricos. a) Cálculos sin ruido y b) Cálculos con ruido.

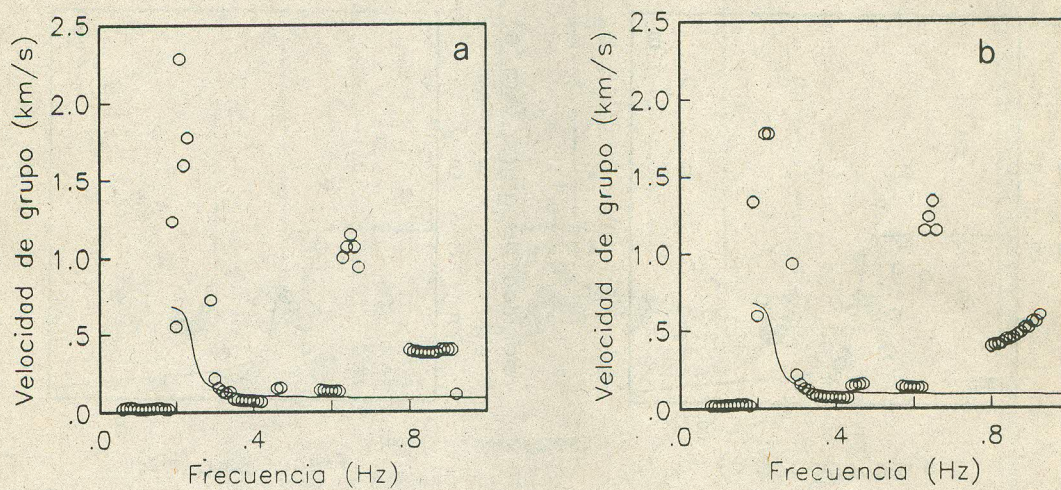


Figura 5. Velocidades de grupo observadas para los desplazamientos EW entre las estaciones Unidad Kennedy y Tlacotal. La línea continua muestra los valores teóricos. a) Cálculos sin ruido y b) Cálculos con ruido.

REFERENCIAS

- Asten, M. W. y J. D. Henstridge (1984). Array estimators and the used of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins, *Geophysics* 49, 1828-1837.
- Calderón C., S. Chávez-Pérez, E. A. Vera y E. Romero-Jiménez (1991). Polarization and dispersion analysis of strong ground motion in México City basin, *Proc. 4th. Int. Conf. Seismic Zonation II*, Stanford., Ca., agosto 25-29, 335-342.
- Dean E. a. y G. R. Keller (1991), Interactive processing to obtain interstation surface wave dispersion, *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 931-947.
- Dziewonski A., s. Bloch y M. Landisman (1969), A technique for the analysis of transients seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am* 65, 951-962.
- Hadiouche O., F., Kruger y R. Kind (1991). Mapping the curst in southeastern Germany using Rayleigh waves in the period range 6-16 s, *Geophys. Res. Lett.* 18, 1087-1090.
- IMSL User 's Manual (1984). Stat/Library, Priblems-Solving Software Systems For Statistical FORTRAN Programming, Houston, TX.
- Kulhánek O., (1976), Introduction to Digital Filtering in Geophysics, Elsevier, Nueva York.
- Li, Y-G y T-L Teng (1990). Observation and analysis of trapped modes in the San Andreas Fault zone, *Society of Exploration Geophysicists Expanded Abstracts with Biographies*, 1990 Annual International Meeting Technical Program, Vol. I, 278-280.
- Ordaz S. M., M.A. Santoyo, S. K. Singh y R. Quaas (1991). Análisis preoliminar de los acelerogramas de pozo obtenidos el 31 de mayo de 1990 en la ciudad de México, Informe interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), México, D.F.
- Rix G. J., K .H. Strokoe, II y J. M. Roeset (1990). Experimental determination of surface wave mode contributions, *Society of Exploration Geophysicists Expanded Abstracts with Biographies*, 1990 Annual International Meeting Technical Program, Vol. I 447-450.
- Woods, M.T., J-J Lévêque y E. O. Okal (1991) . Two-station measurements of Rayleigh wave group velocity along the Hawaiian Swell, *Geophys. Res. Lett.* 18, 105-108.
- Yamanaka H., K. Seo y t. Samano (1989). Effects of sedimentary layeers on surface-wave propagations. *Bull Seism. Soc. Am.* 79, 631-644.



TEMAS DE GEOFISICA EN EDUCACION BASICA

El presidente del Consejo Nacional Técnico de la Educación, Dr. Luis Gamez Jimenez, nos ha solicitado nuetra opinión respecto a los temas que consideramos mas relevantes de Geografía y Geociencias y que deben estar incluidos en los programas de educación básica, desde preprimaria hasta secundaria y normal. La Unión Geofísica está organizando un comité especial para dar respuesta a esta solicitud; proximamente daremos mas detalles con objeto de que puedan participar todos los socios interesados en este asunto.