

1.6 REFERENCIAS

- Abubakirov, I. R., and Gusev, A. A., 1989. Estimation of scattering properties of lithosphere of Kamchatka based on Monte-Carlo simulation of record envelope of a near earthquake, Submitted to Phys Earth Planet Inter.
- Aki, K., 1969. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, *J. Geophys. Res.*, 74: 615-631.
- Aki, K., 1973. Scattering of P waves under the Montana LASA, *J. Geophys. Res.*, 78: 1334-1346.
- Aki, K., 1980. Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere, *J. Geophys. Res.*, 85: 6496-6504.
- Aki, K., Tsujiura, M., Hori, M. and Goto, K., 1958. Spectral study of near earthquake waves, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 36: 71-98.
- Aki, K. and Tsujiura, M., 1959. Correlation study of near earthquake waves. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 37: 203-232.
- Aki, K. and Chouet, B., 1975. Origin of coda waves; source, attenuation and scattering, *J. Geophys. Res.*, 80: 3322-3342.
- Aki, K. and Richards, P. G., 1980. *Quantitative Seismology*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, Calif. pp. 1-932.
- Capon, J., 1974. Characterization of crust and upper mantle structure under LASA as a random medium, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 64: 235-266.
- Chernov, L. A., 1960. Wave propagation in a random medium, McGraw-Hill, New York, pp. 35-57 and 84-124.
- Dainty, A. M. and Toksoz, M. N., 1981. Seismic codas on the earth and the moon: a comparison, *Phys. Earth Planet Int.*, 26: 250-260.
- Flatte, S. M., Dashen, R. Munk, W. H., Watson, K. M. and Zachariasen, F., 1979. *Sound Transmission Through a Fluctuating Ocean*, Cambridge Univ. Press, New York, pp. 1-299.
- Flatte, S. M., and Wu, R. S., 1988. Small-scale structure in the lithosphere and asthenosphere deduced from arrival time and amplitude fluctuations at NORSAR, *J. Geophys. Res.*, 93: 6601-6614.
- Frankel, A. and Clayton, R. W., 1986. Finite difference simulations of seismic scattering: implications for the propagation of short-period seismic waves and models of crustal heterogeneity, *J. Geophys. Res.*, 91: 6465-6489.
- Frankel, A. and Wennerberg, L., 1987. Energy-flux model of seismic coda: separation of scattering and intrinsic attenuation, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 77: 1223-1251.
- Gao, L. S., Lee, L. C., Biswas, N. N., and Aki, K., 1983a. Comparison of the effects between single and multiple scattering on coda waves for local earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 73: 377-389.
- Gao, L. S., Biswas, N. N., Lee, L. C., and Aki, K., 1983b. Effects of multiple scattering on coda waves in three dimensional space, *Pure Appl. Geophys.*, 121: 3-15.
- Goldberg, J. E., Bogdanoff, J. L. and Sharp, D. R., 1964. The response of simple non-linear systems to a random disturbance of the earthquake type, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 54: 263-274.
- Gusev, A. A. and Abubakirov, I. R., 1987. Monte-Carlo simulation of record envelope of a near earthquake, *Phys. Earth Planet Inter.*, 49: 30-36.
- Hamada, K., Ohtake, M., Okada, Y., Matsumura, S. and Sato, H., 1985. A high quality digital network for microearthquake and ground tilt observations in the Kanto-Tokai area, Japan, *Earthq. Predict.*, 3: 447-469.
- Herraiz, M. and Espinosa, A. F., 1987. Coda waves: a review, *Pure Appl. Geophys.*, 125: 499-577.
- Hoshiba, M., 1990. Simulation of multiple scattered coda wave excitation the energy conservation law, *Phys. Earth Planet Inter.*, this volume.
- Ishimaru, A., 1978. *Wave propagation and scattering in random media*, Vol. 1 and 2, Academic Press, New York, pp. 1-572.
- Kopnischev, Y. F., 1975. A model of generation of the tail of the seismogram (in Russian), *Dokl. Akad. Nauk, USSR*, 222: 333-335.
- Kopnischev, Y. F., 1977. The role of multiple scattering in the formation of a seismogram's tail (in Russian), *Izvestiya, Akad. Nauk, USSR, Physics of the Solid Earth*, 13: 394-398.
- Lee, L. C. and Jokipii, J. R., 1975. Strong scintillations in astrophysics II. A theory of temporal broadening of pulses, *Astrophys. J.*, 201: 532-543.
- Malin, P. E., 1980. A first order scattering solution for modelling elastic wave codas -I. The acoustic case, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 63: 361-380.
- Marquardt, D. W., 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters, *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, 11: 431-441.
- Matsumoto, S., and Hasegawa, A., 1990. Estimation of relative site effect, coda Q and scattering strength from the records obtained by large airgun experiments, *Phys. Earth Planet Inter.*, in press.
- Mayeda, K., F. Su, and K. Aki, 1990. seismic albedo from the total seismic energy dependence on hypocentral distances in southern California, *Phys. Earth Planet Inter.*, in press.
- Obara, K., 1989. Regional extension of the S wave reflector beneath the Kanto district, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 16: 839-842.

- Obara, K. and Sato, H., 1988a. Existence of an S wave reflector near the upper plane of the double seismic zone beneath the southern Kanto district, Japan, *J. Geophys. Res.*, 93: 15037-15045.
- Obara, K. and Sato, H., 1988b. Numerical simulation of coda envelopes including reflection phase (in Japanese), *Programme Abstracts Seismol. Soc. Japan*, 2: B 76.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., and Vetterling, W. T., 1987 *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, 735 pp.
- Sato, H., 1977. Energy propagation including scattering effect: single isotropic scattering approximation, *J. Phys. Earth*, 25: 27-41.
- Sato, H., 1978. Mean free path of S waves under the Kanto district of Japan, *J. Phys. Earth*, 26: 185-198.
- Sato, H., 1982. Coda wave excitation due to non-isotropic scattering and non-spherical source radiation, *J. Geophys. Res.*, 87: 8665-8674.
- Sato, H., 1984a. Attenuation and envelope formation of three component seismograms of small local earthquakes in randomly inhomogeneous lithosphere, *J. Geophys. Res.*, 89: 1221-1241.
- Sato, H., 1984b. Scattering and attenuation of seismic waves in the lithosphere: Single scattering theory in a randomly inhomogeneous medium (in Japanese), *Rep. Natl. Res. Ctr. Disast. Prev.*, 33: 101-186.
- Sato, H., 1988a. Is the single scattering model invalid for the coda excitation at long lapse time?, *Pure Appl. Geophys.*, 128: 43-47.
- Sato, H., 1988b. Fractal interpretation of the linear relation between logarithms of maximum amplitude and hypocentral distance, *Geophys. Res. Lett.*, 15: 373-375.
- Sato, H., 1989. Broadening of seismogram envelopes in the random inhomogeneous lithosphere base don the parabolic approximation: South-eastern Honshu, Japan, *J. Geophys. Res.*, 94: 17735-17747.
- Sato, H., 1990. Unified approach to amplitude attenuation and coda excitation in the randomly inhomogeneous lithosphere, *Pure Appl. Geophys.*, 132: 93-121.
- Scherbaum, F., G'illard, D. and Deichmann, N., 1989 Analysis of coda composition of microearthquake clusters in Northern Switzerland, Abstract, S 13, 25th General Assembly, IASPEI, Istanbul, Turkey.
- Scherbaum, F., and Sato, H., 1990. Inversion of full seismogram envelopes based on the parabolic approximation: estimation of randomness and Q_s^{-1} in S-E Honshu, Japan, *J. Geophys. Res.*, in press.
- Shang, T. and L. Gao, 1988. Transportation theory of multiple scattering and its application to seismic coda waves of impulsive source, *Scientia Sinica (Series B)*, 31: 1503-1514.
- Spudich, P. and T. Bostwick, 1987. Studies of the seismic coda using an earthquake cluster as a deeply buried seismograph array, *J. Geophys. Res.*, 92: 10526-10546.
- Sreenivasiah, I, Ishimaru, A., and Hong, T. S., 1976. Two frequency mutual coherence function and pulse propagation in a random medium: an analytic solution to the plane wave case, *Radio Science*, 11: 775.
- Toksoz, N. M., Dainty, A. M., Reiter, E., and Wu, R. S., 1988. A model for attenuation and scattering in the earth's crust, *Pure Appl. Geophys.*, 128: 81-100.
- Trifunac, M. D. and Brady, A. G., 1975. A study on the duration of strong earthquake ground motion, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 65: 581-626.
- Uscinski, B. J., 1974. The propagation and broadening of pulses in weakly irregular media, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 336: 379-392.
- Wesley, J. P., 1965. Diffusion of seismic energy in the near range, *J. Geophys. Res.*, 70: 5099-5106.
- Wu, R. S., 1982. Attenuation of short period seismic waves due to scattering, *Geophys. Res. Lett.*, 9: 9-12.
- Wu, R. S. and Aki, K., 1988a. Seismic wave scattering in three-dimensionally heterogeneous earth, *Pure Appl. Geophys.*, 128: 1-6.
- Wu, R. S. and Aki, K., 1988b. Multiple scattering and energy transfer of seismic waves-separation of scattering effect from intrinsic attenuation. II. Application of the theory to Hindu-Kush region, *Pure Appl. Geophys.*, 128: 49-80.
- Xie, J. and Nuttli O. W., 1988. Interpretation of high-frequency coda at large distances: stochastic modelling and method of inversion, *Geophys. J.*, 95: 579-595.
- Zeng, Y., F. Su, and K. Aki, 1990. Scattering wave energy propagation in a medium with randomly distributed isotropic scatterers, Part I, theory. preprint.

1.7 TABLA

Tabla 1. Varios modelos para envolventes de sismogramas en inhomogeneidades aleatorias

Efectos Modelo	Excitación de coda y atenuación de amplitud: ángulo de dispersión grande	Ensanchamiento del pulso y retraso del pico máximo: difracción fuerte y dispersión hacia adelante
<i>Enfoque de dispersores puntuales</i>	Modelo de retrodispersión sencilla: decaimiento de coda en el hipocentro (Aki y Chouet, 1975)	
	Modelo de dispersión simple isotrópica: Dependencia espacio-temporal de la distribución de energía de la coda; 3-D (Sato, 1977); 2-D (Kopnichev, 1975)	
	Modelo de dispersión múltiple: excitación de coda por dispersión de orden superior (Kopnichev, 1977; Gao et al., 1983a,b).	
	Simulación de Monte-Carlo: decaimiento de coda para un amplio rango de distancias (Gusev y Abubakirov, 1987; Abubakirov y Gusev, 1989); relación de conservación de energía (Hoshiba, 1990).	
<i>Proceso de difusión</i>	Modelo de difusión (Wesley, 1965).	
<i>Enfoque de transporte de energía</i>	Modelo de flujo de energía (Frankel y Wennerberg, 1987)	
	Solución estacionaria de energía de coda en 3-D (Wu y Aki, 1988b).	
	Distribución espacio-temporal de energía de coda en 2-D (Shang y Gao, 1988).	
<i>Modelo híbrido</i>	Síntesis de envolventes de coda: un reflector inmerso en un medio dispersivo (Obara y Sato, 1988a,b).	
<i>Basado en la ecuación de onda</i>	Síntesis de coda en un semi-espacio de capas con inhomogeneidades aleatorias basado en la aproximación de Born para dispersión de onda acústica (Malin, 1984).	Síntesis de envolventes de onda S a una distancia grande: la aproximación parabólica para componentes de inhomogeneidades de velocidad aleatorias de longitud de onda grande (Sato, 1989).

Síntesis de envolventes
de sismogramas de 3 comp
de temblores locales:
aproximación de Born para
dispersión de amplitudes
de ondas elásticas vectoriales
debidas a componentes de in-
homogeneidades aleatorias de
longitud de onda corta (Sato,
1984a).

Simulación de diferencias finitas para ondas sísmicas
en 2-D (Frankel y Clayton, 1986).

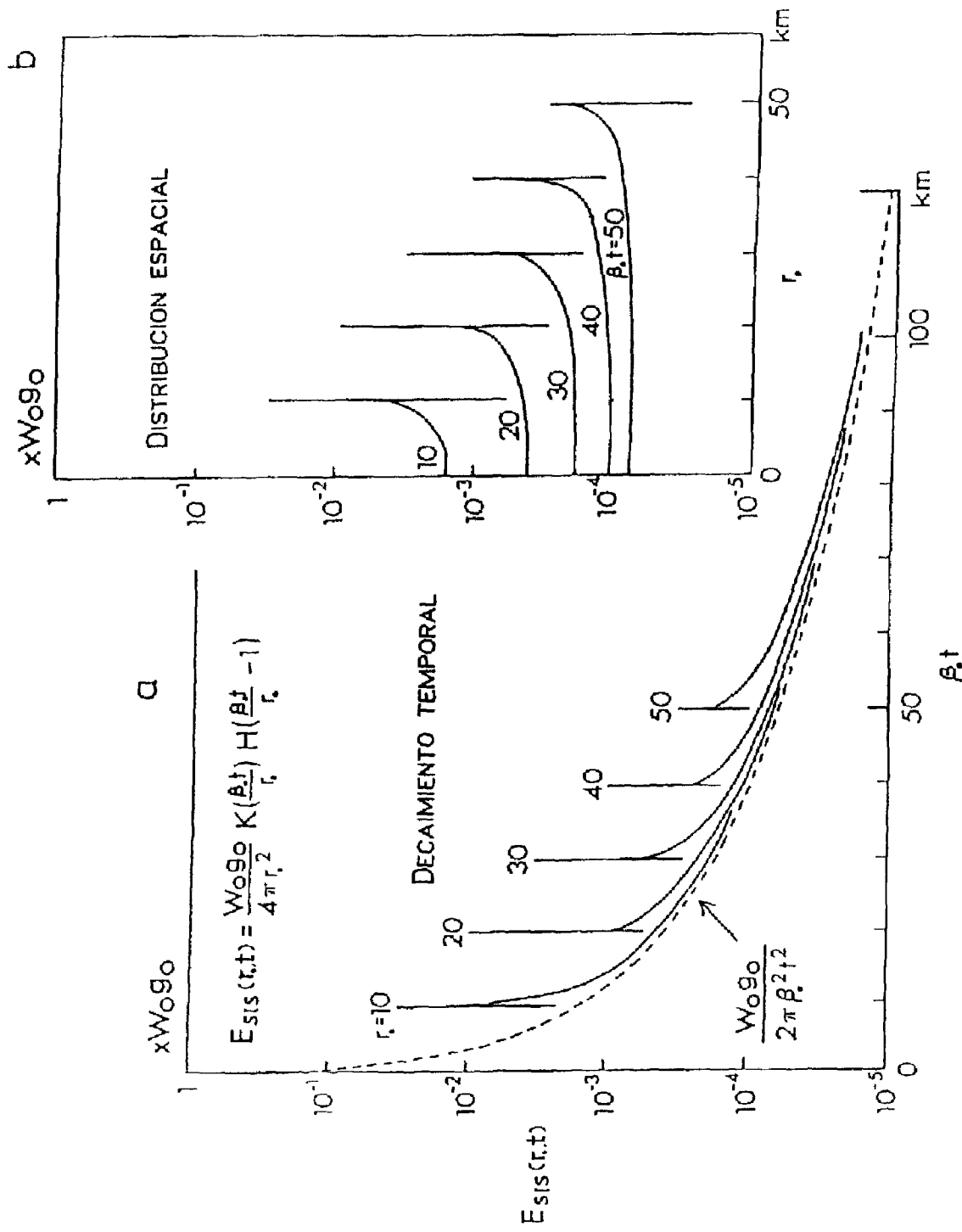


Figura 1. Cambio temporal (a) y cambio espacial (b) en la densidad de energía dispersada en un modelo de dispersión isotrópica simple (Ecuación (2)) en un medio tridimensional, donde $Q_c = 0$. La curva discontinua muestra el modelo de retrodispersión (Ecuación (1)) de Aki y Chouet (1975).

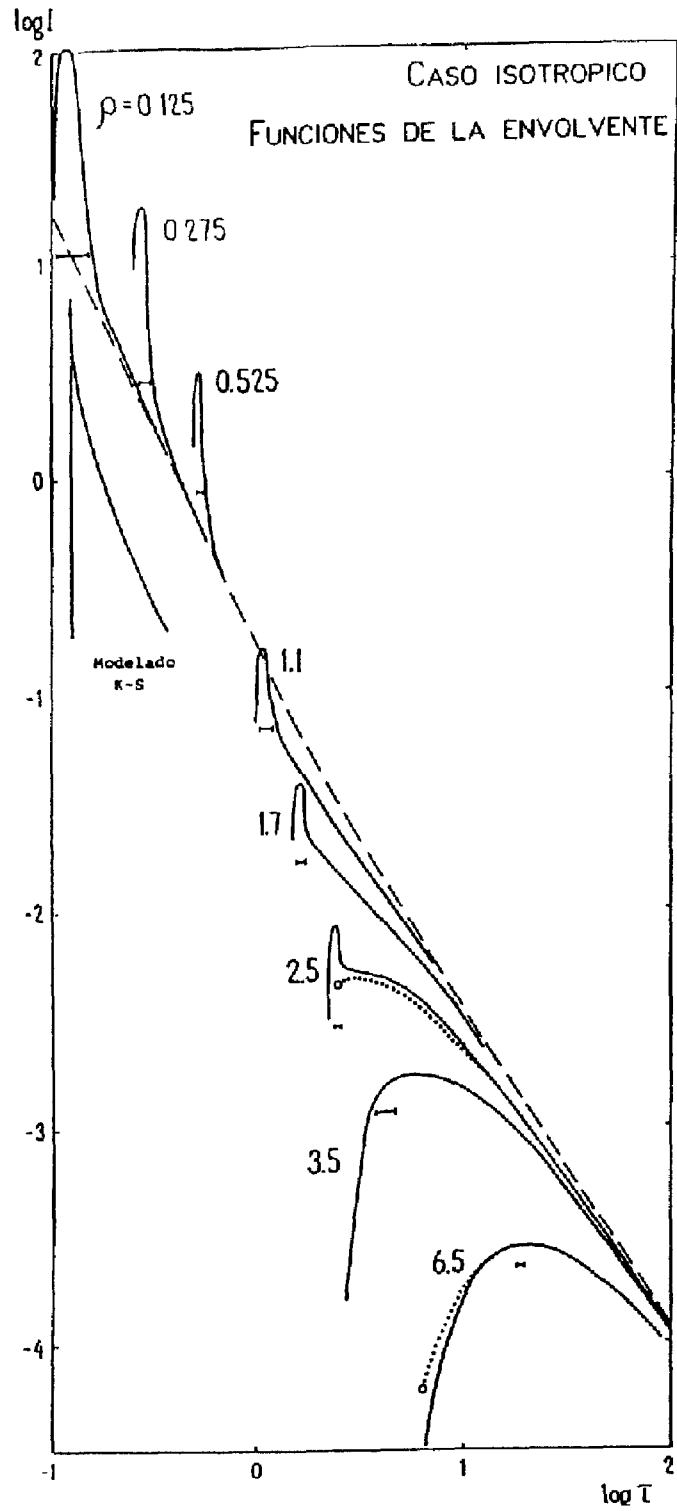


Figura 2. Potencia simulada numéricamente del sismograma I en un medio tridimensional para dispersión isotrópica (de Gusev y Abubakirov, 1987, Figura 2), donde $\tau = g\beta_0 t$ es el tiempo normalizado por el tiempo medio libre. La línea discontinua es la asíntota dada por la Ecuación (5).

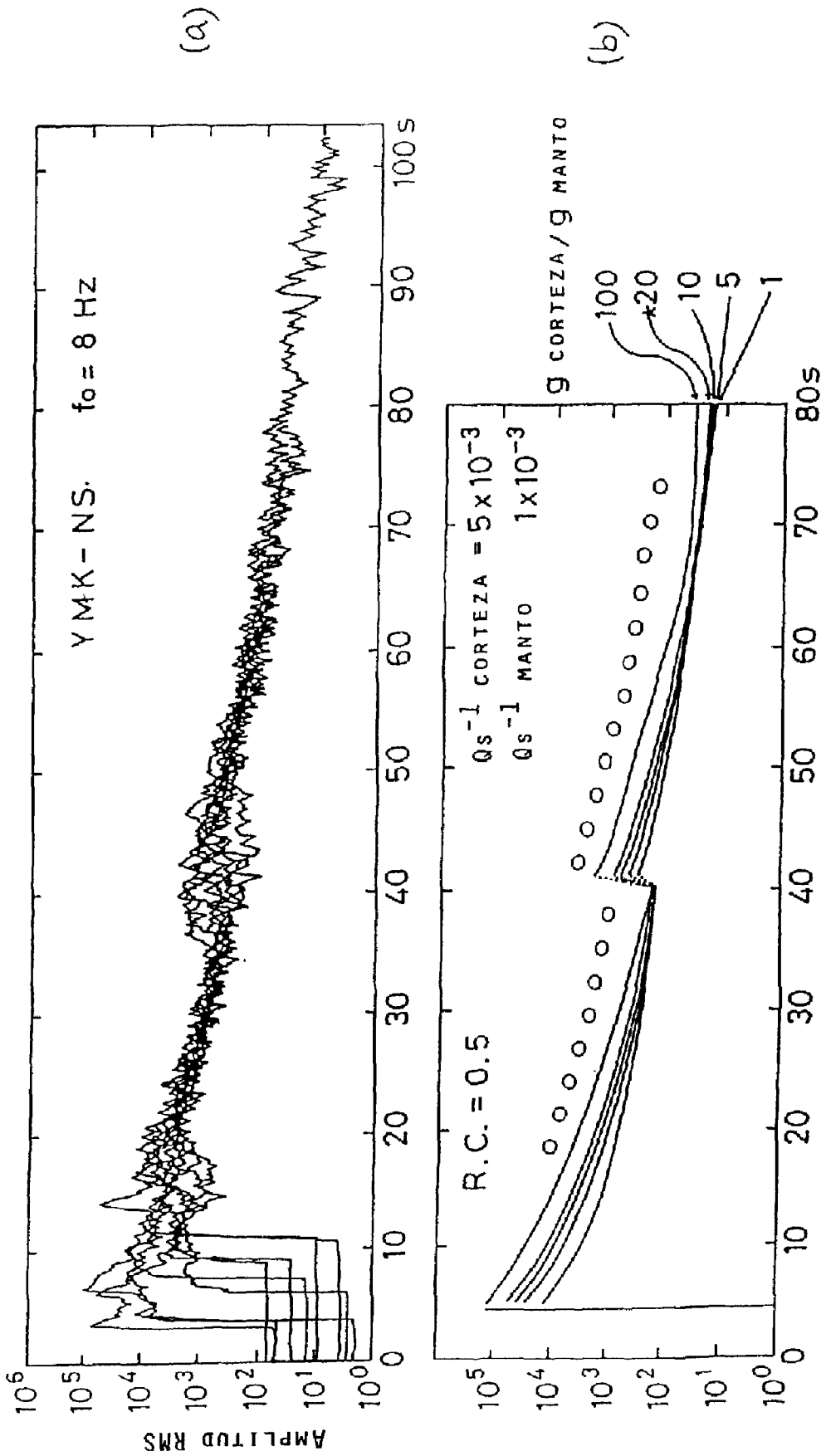


Figura 3. a. Trazos RMS-LOG filtrados con pasabanda para la banda de 8 Hz (componente NS) de un temblor cortical ocurrido cerca del frente volcánico en Kanto, Japón (de Obara y Sato, 1988b). Se encuentra un desplazamiento antes y después de la fase S reflejada en la amplitud RMS de la coda S. b. Los círculos abiertos corresponden al promedio de la traza RMS filtrada por pasabanda. Las líneas continuas muestran trazas simuladas correspondientes a modelos de dos capas con diferentes razones en g (de Obara y Sato, 1988b).

REFLECTOR DE LA ONDA S CERCA DE LA SISMICIDAD SUPERIOR DE LA PLACA PACIFICA SUBDUCENTE

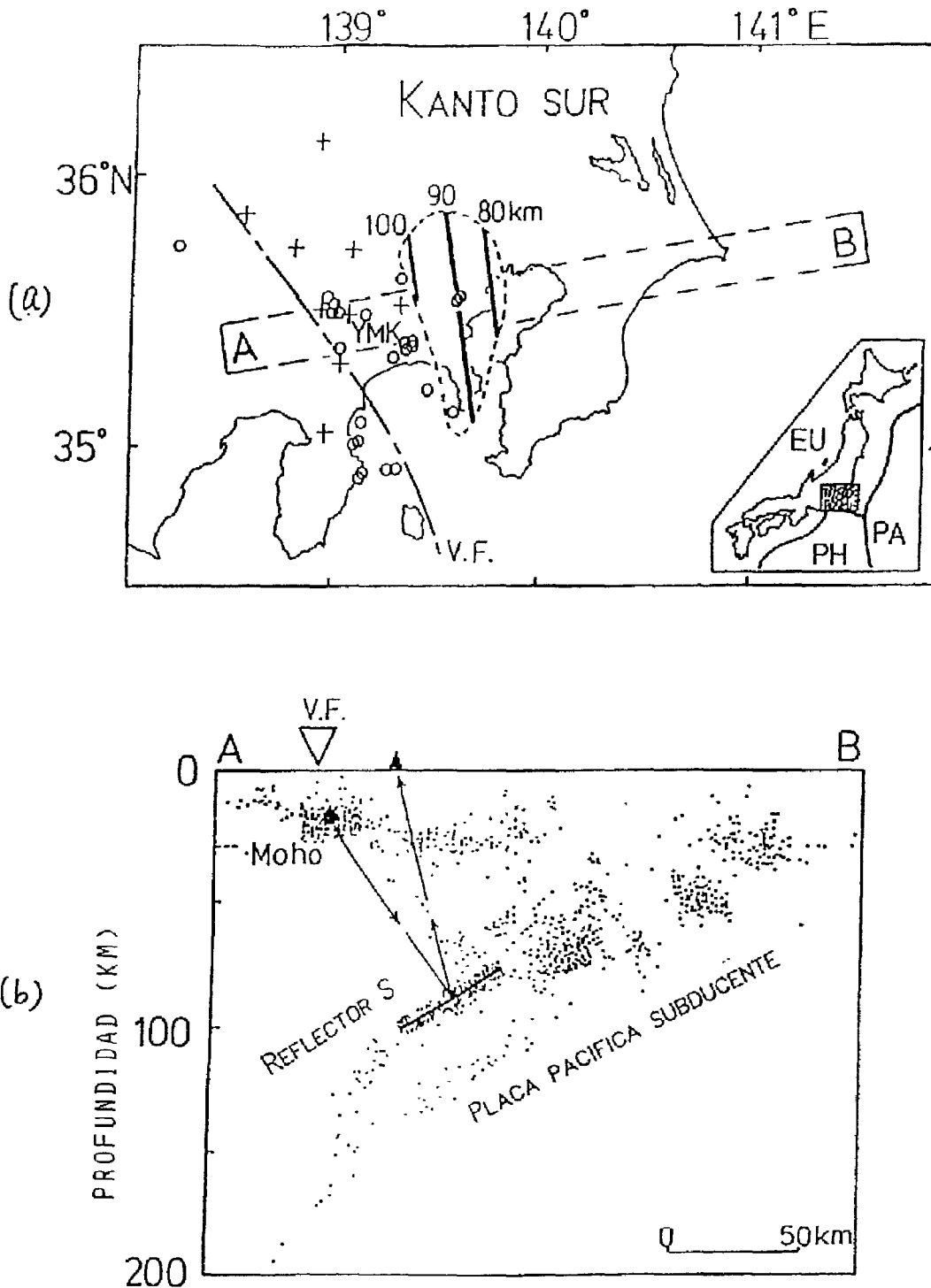


Figura 4. a. Localización del reflector de la onda S en Kanto del Sur, Japón, donde las líneas gruesas continuas son los contornos de profundidad y V.F. denota el frente volcánico. Las cruces y los círculos abiertos muestran respectivamente a las estaciones sísmicas y los epicentros de los temblores utilizados (de Obara y Sato, 1988a).
 b. Vista de la sección vertical (A-B) del reflector de onda S (línea continua gruesa) cerca de la zona superior de sismicidad de la placa Pacífica subducente (de Obara y Sato, 1988a). Las flechas muestran un típico rayo sísmico reflejado.

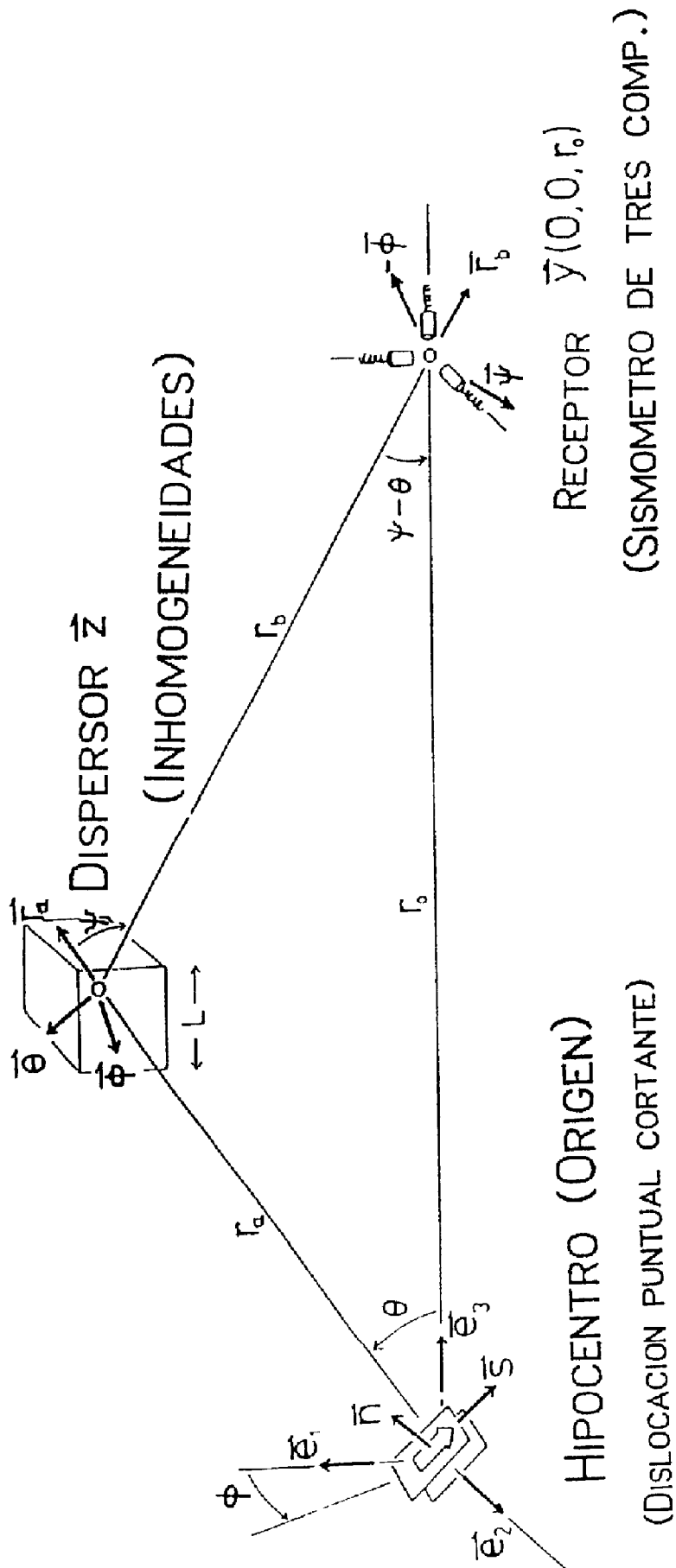


Figura 5. Configuración del hipocentro, el receptor y el dispersor para el cálculo de envolventes de sismogramas de tres componentes basados en la aproximación de Born para dispersión de amplitudes de ondas elásticas, que son radiadas desde una fuente puntual de dislocación cortante.

ENVOLVENTES DE AMPLITUDES DE VELOCIDAD

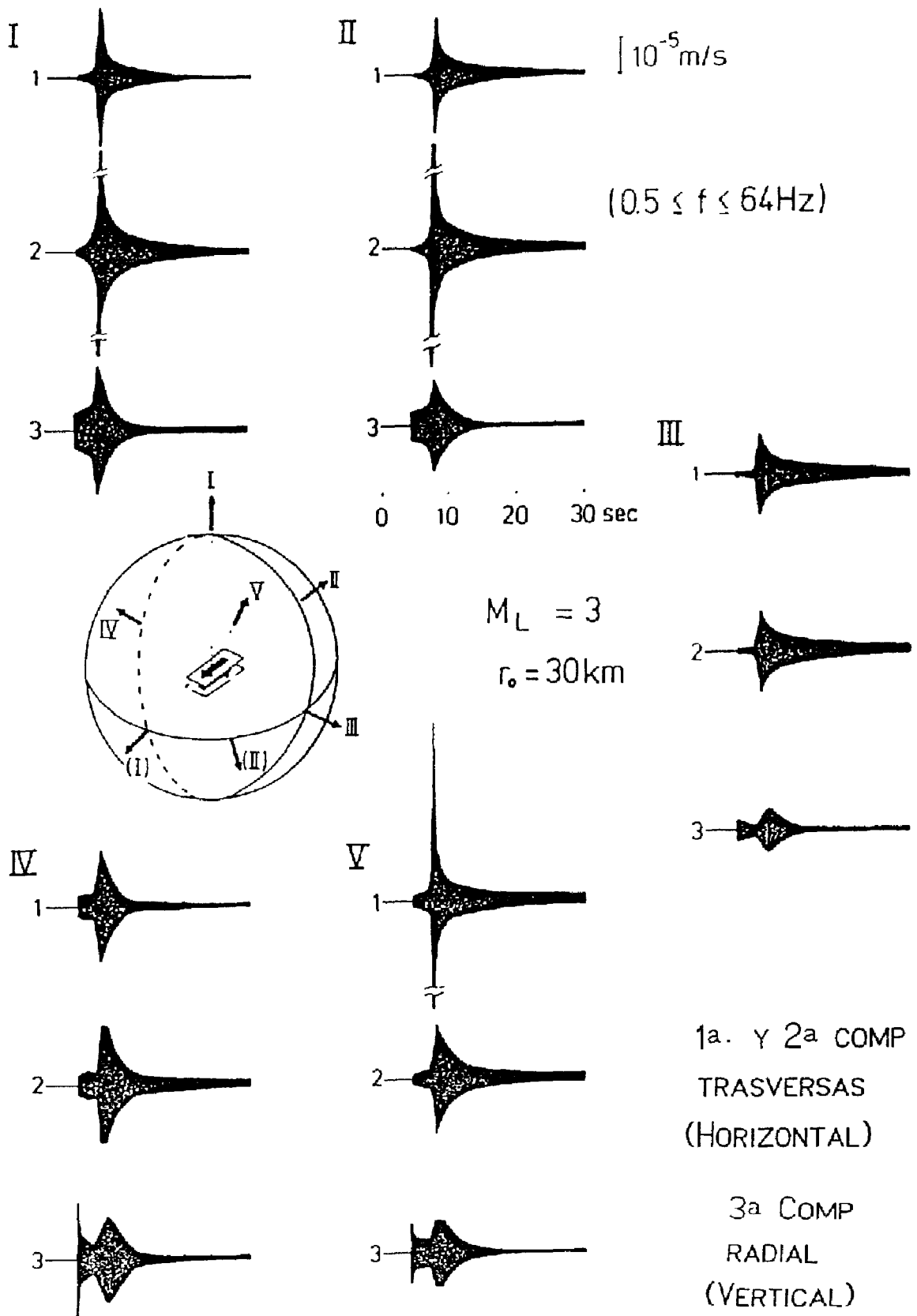


Figura 6. Envolventes simuladas de sismogramas de tres componentes de un temblor local con magnitud 3, a 30 km de distancia, en cinco direcciones. La primera y segunda componentes del sismómetro son transversas, y la tercera está en la dirección radial desde la dislocación cortante puntual (de Sato, 1984a).

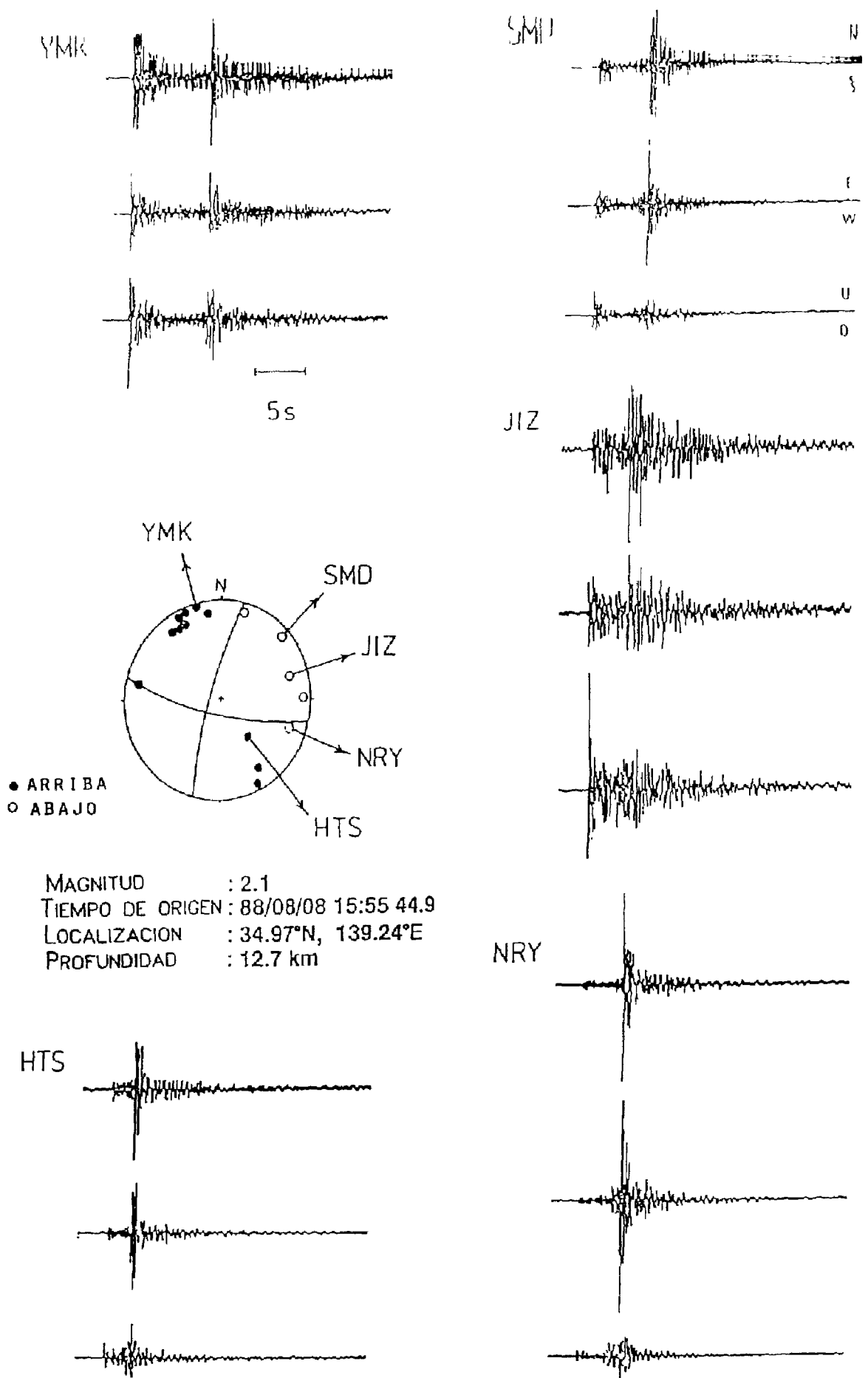
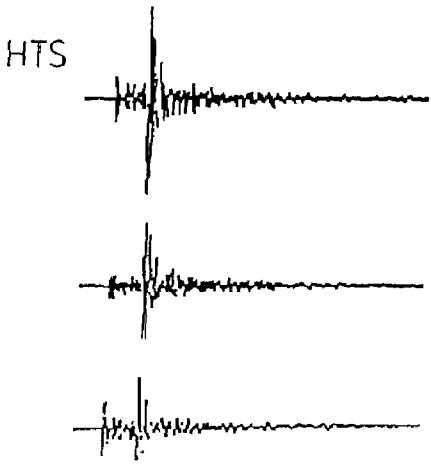
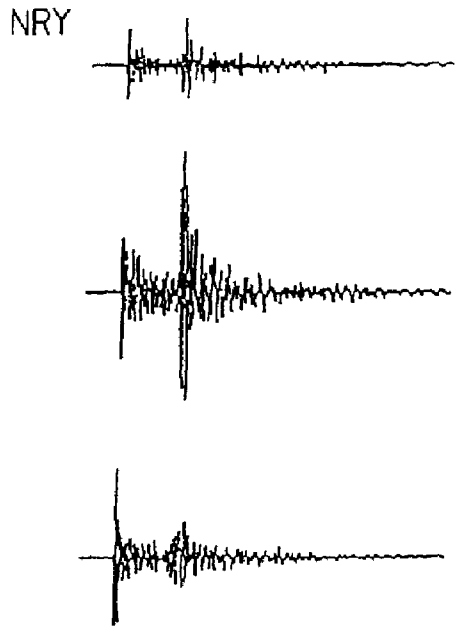
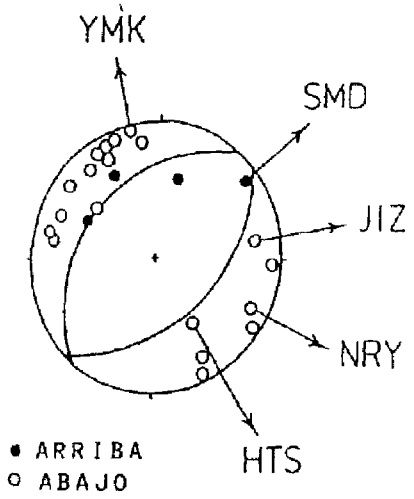
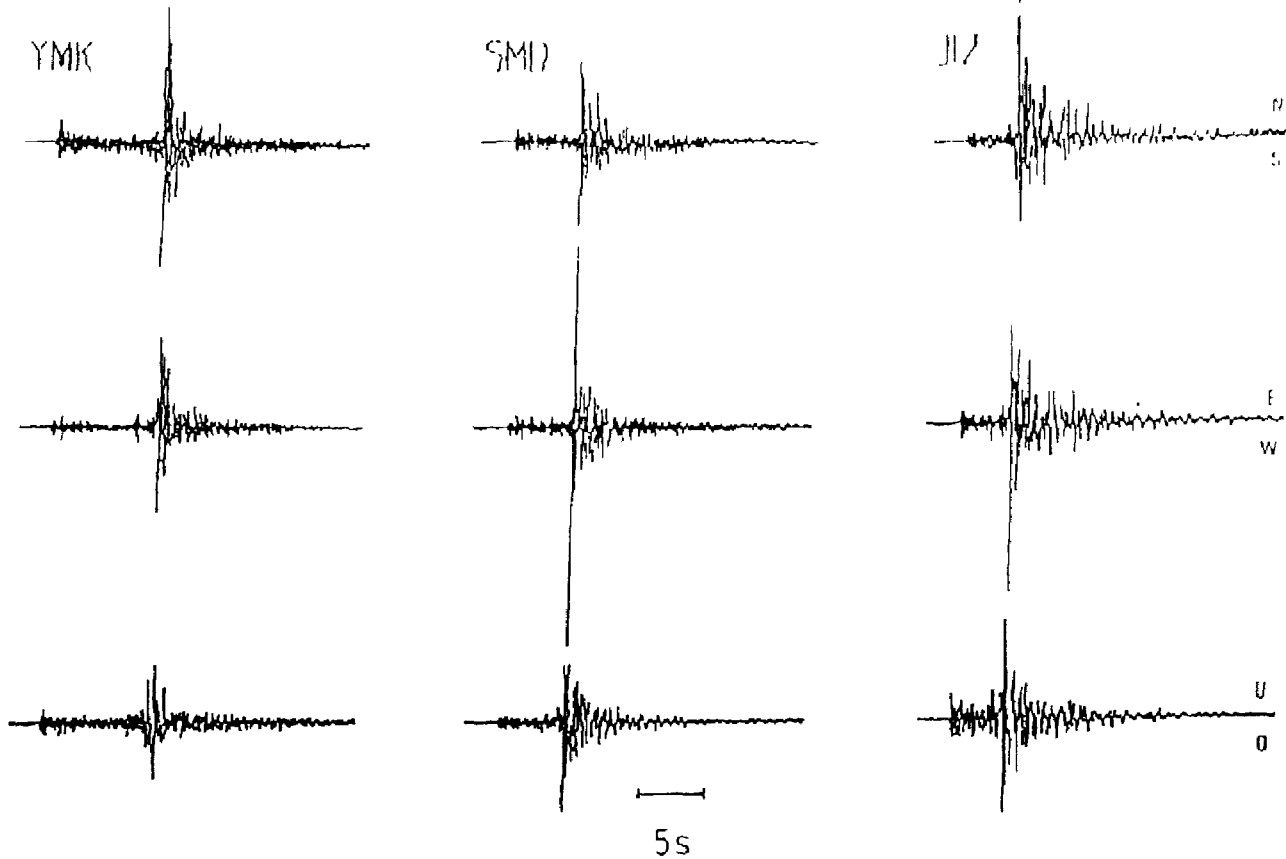


Figura 7. Sismogramas de tres componentes observados de un temblor local ocurrido al Este de la península de Izu, Japón: a, tipo transcurrente; b, tipo falla inversa. Los movimientos iniciales de la onda P están proyectados sobre el hemisferio inferior



MAGNITUD : 2.1
 TIEMPO DE ORIGEN : 88/08/08 22:33 41.2
 LOCALIZACION : 34.95°N, 139.24°E
 PROFUNDIDAD : 12.3 km

Figura 7. Sismogramas de tres componentes observados de un temblor local ocurrido al Este de la península de Izu, Japón: a, tipo transcurrente; b, tipo falla inversa. Los movimientos iniciales de la onda P están proyectados sobre el hemisferio inferior.

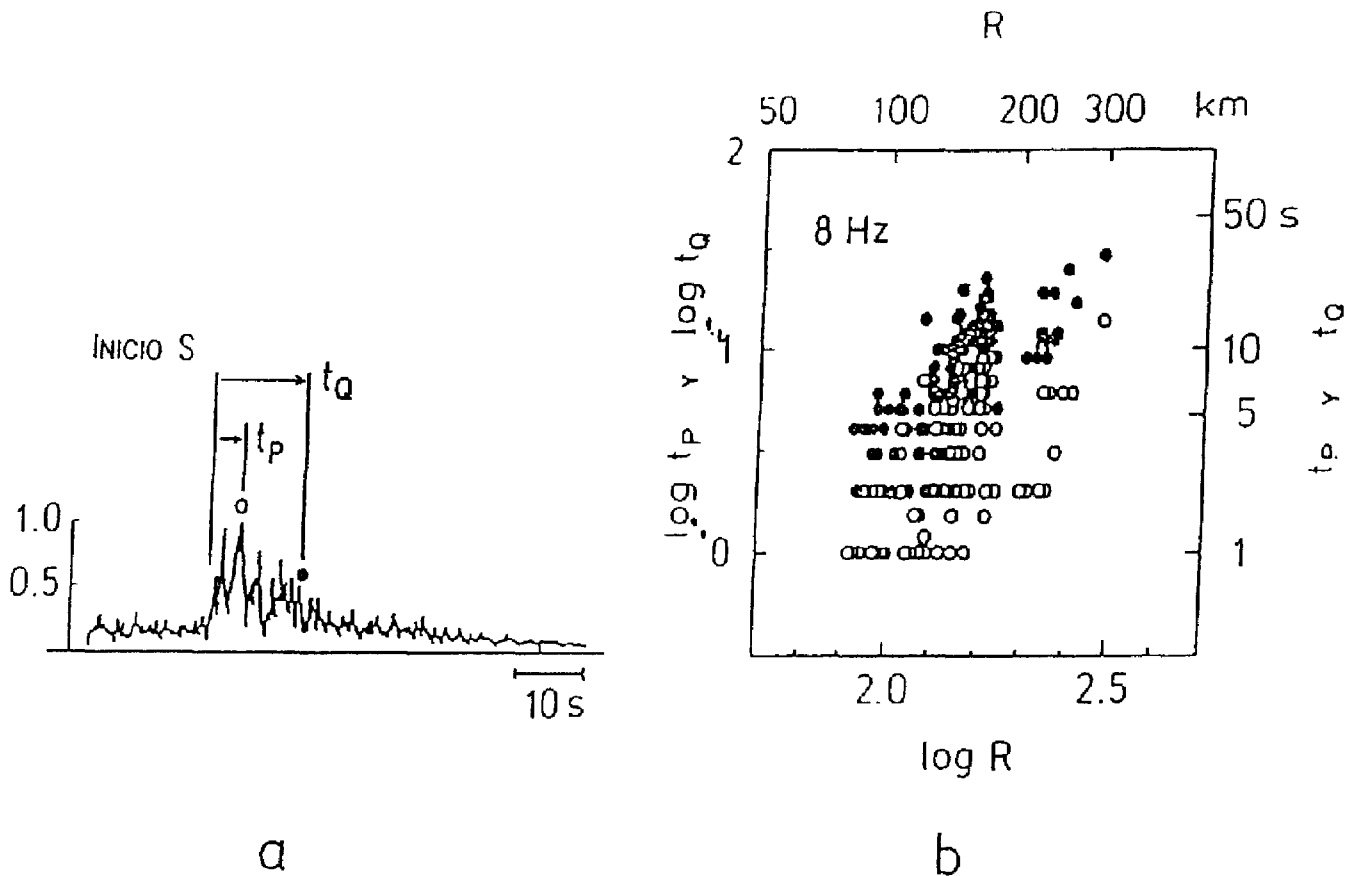
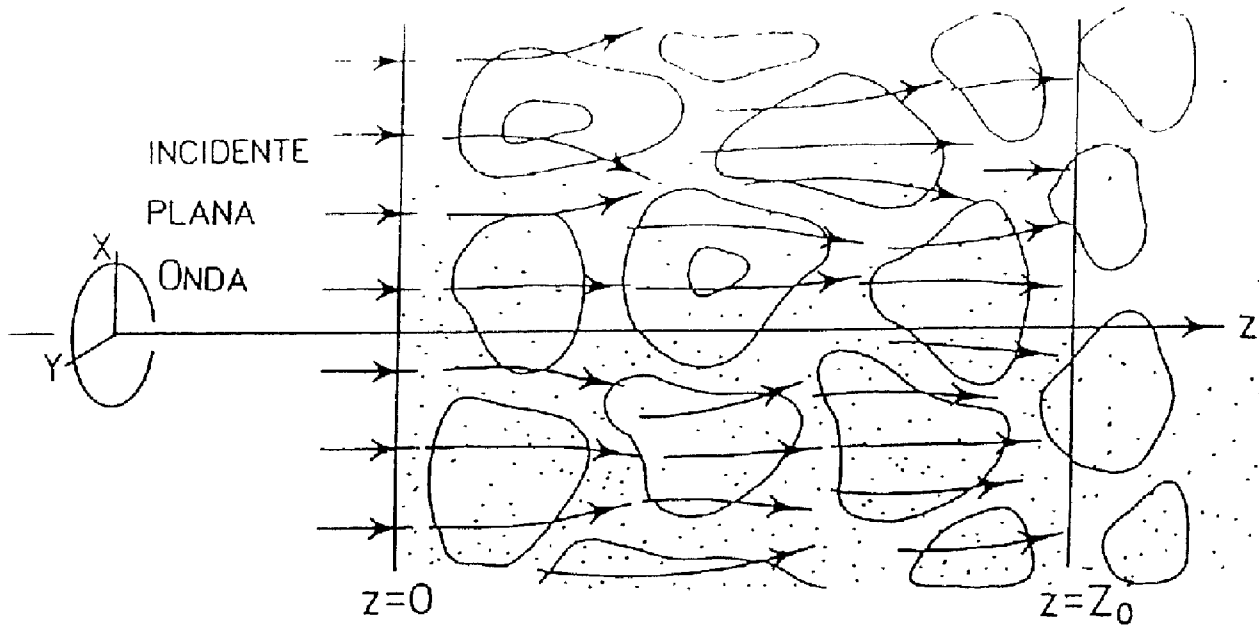
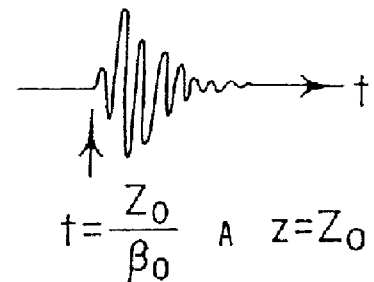
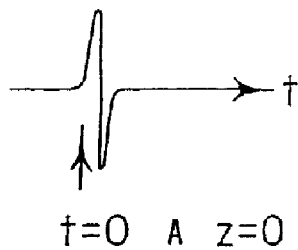


Figura 8. a. Trazo RMS de un sismograma filtrado con pasabanda (componente NS, banda de 8 Hz) de un temblor con distancia hipocentral intermedia, en el Sureste de Honshu, Japón. las barras, los círculos abiertos y los círculos sólidos muestran respectivamente el inicio de la onda S, el arribo del pico de amplitud máxima S, y el arribo del pico de amplitud media (semi-máxima). b. Gráficas log-log del retraso de pico t_p (en segundos), representados por círculos abiertos, y anchura de tiempo t_q (en segundos), representada por círculos sólidos, versus distancia hipocentral R (en kilómetros), para la banda de 8 Hz (de Sato, 1989).

MEDIO HOMOGENEEO MEDIO INHOMOGENEO $\alpha k_c \gg | \)$



FORMA DE ONDA



AMPLITUD M.S.



ENSANCHAMIENTO DE LA ENVOLVENTE
RETRASO DEL ARRIBO DEL PICO

Figura 9. Ilustración esquemática del decaimiento de una onda impulsiva que se propaga a través de un semi-espacio inhomogéneo ($z' > 0$). El cambio temporal, no en la forma de onda, sino en la amplitud MS, se estudia basándose en la aproximación parabólica.

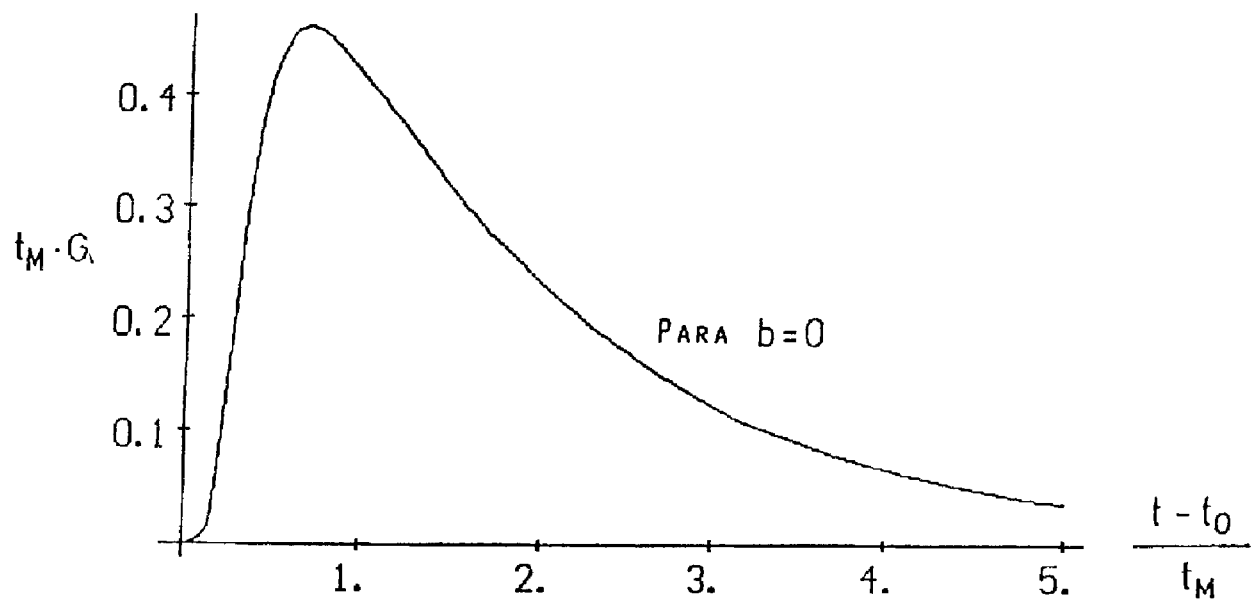
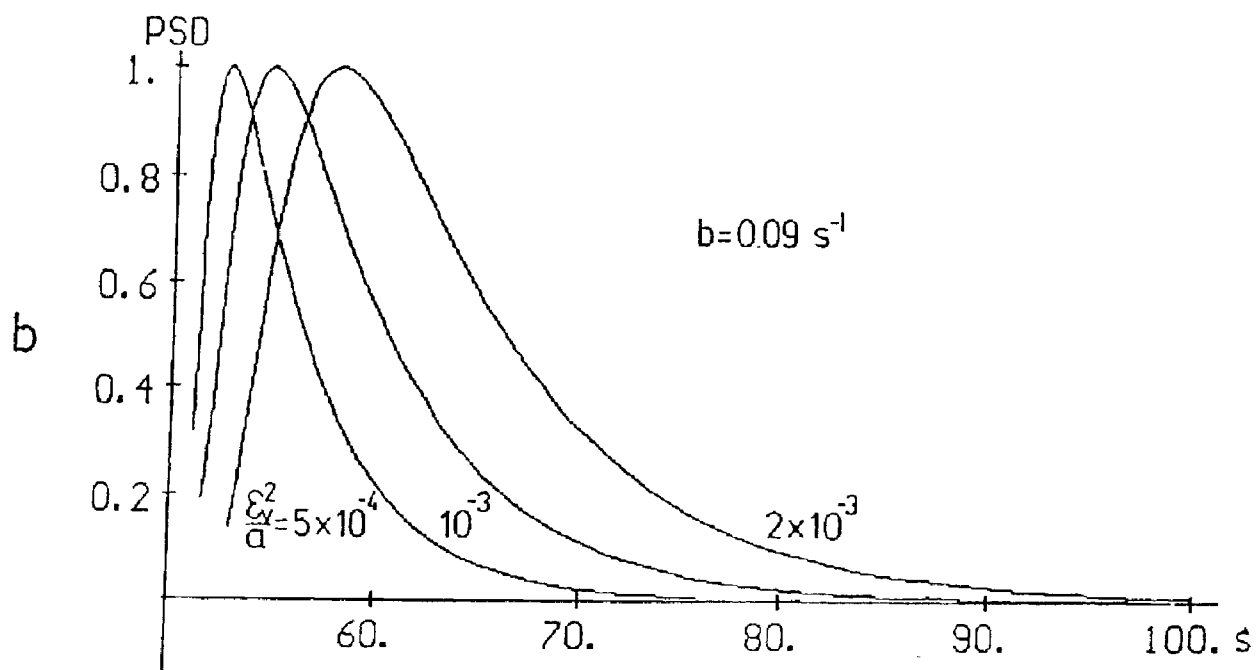
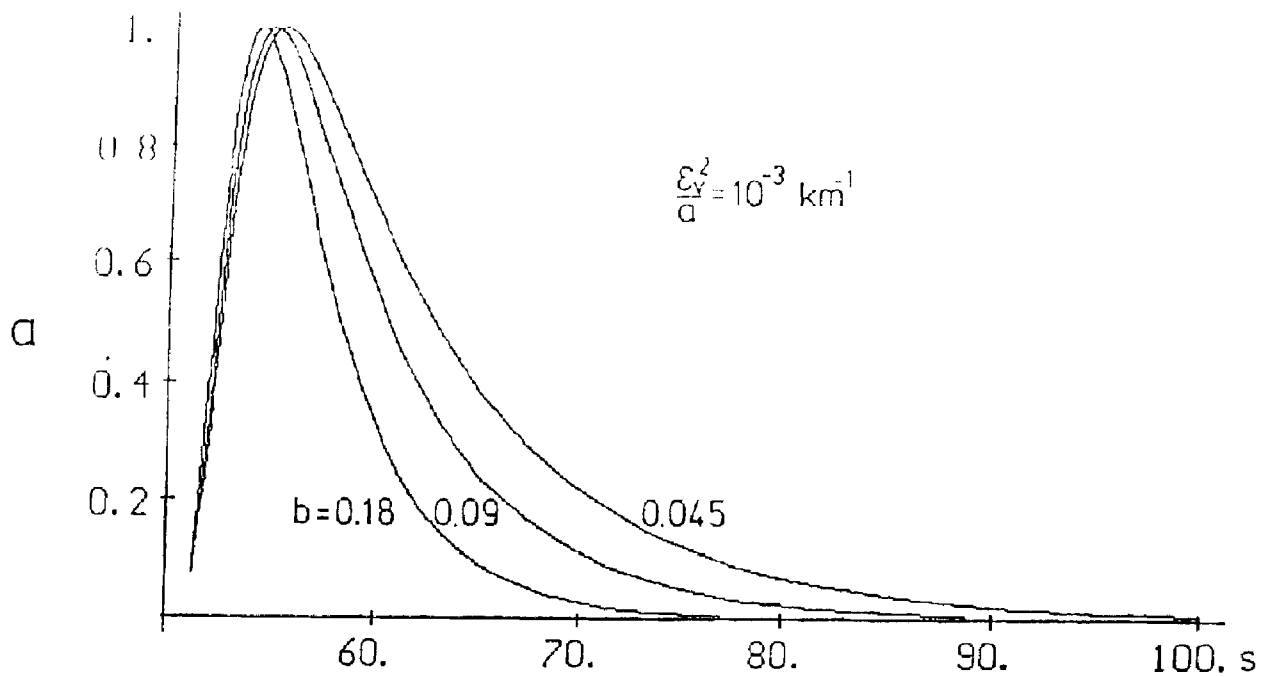


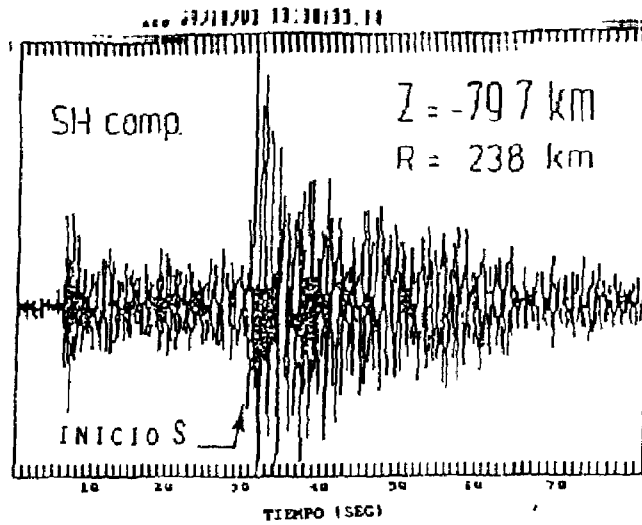
Figura 10. Cambio temporal en la densidad espectral de poder G para una entrada impulsiva en $z = 0$ como condición inicial en el caso que b ($= 2\pi f_c Q_s^{-1}$) = 0, donde t_0 es el tiempo de viaje y t_M es el tiempo característico.



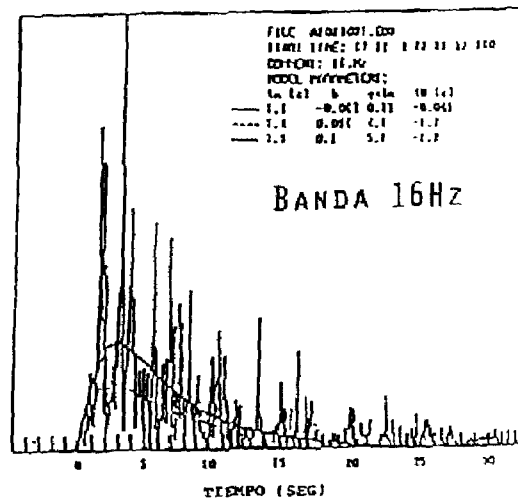
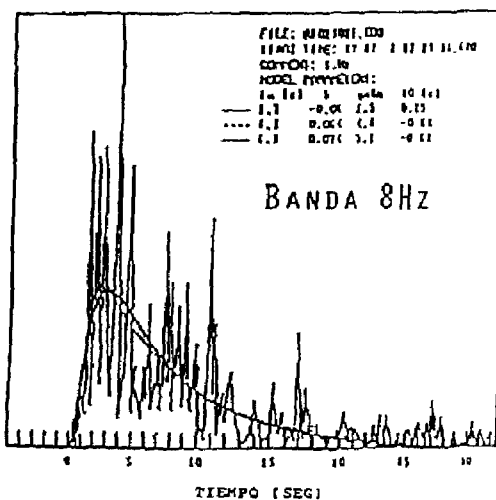
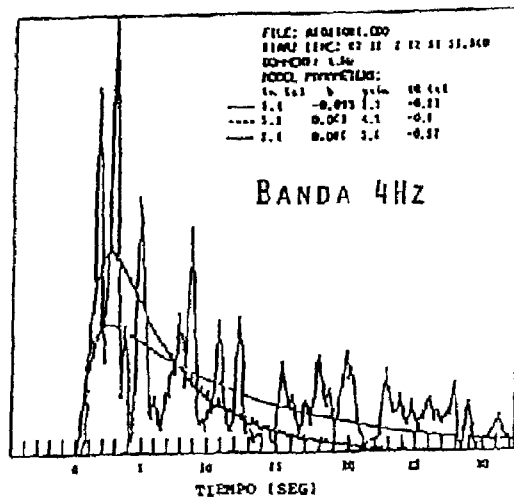
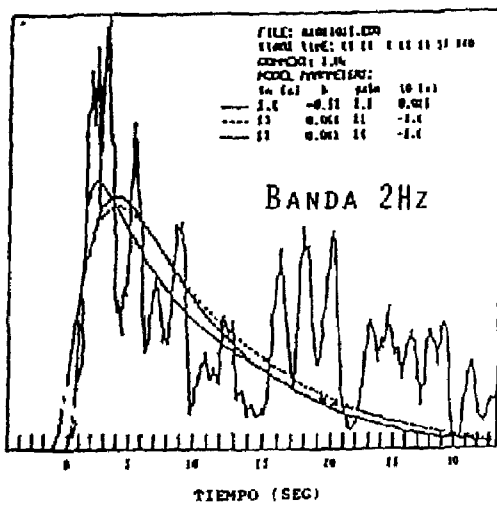
LAPSO DE TIEMPO

Figura 11. $G(t)$ normalizada por el valor del pico máximo en $R = 200 \text{ km}$.
 a. Valores diferentes de b ($\equiv 2\pi f c Q s^{-1}$) y valor fijo de $\epsilon\beta^2/\alpha$.
 b. Diferentes valores de $\epsilon\beta^2/\alpha$ y valor fijo de b .

(a)



(b)



INVERSION NO LINEAL BASADA EN LA APROXIMACION PARABOLICA

Figura 12. Ejemplo de inversión no lineal de la envolvente de un sismograma completo (de Scherbaum y Sato, 1990).

a. Sismograma de velocidad de la componente SH.

b. Sismogramas MS filtrados con pasabanda para cuatro bandas de frecuencia, donde las líneas delgadas, las líneas discontinuas y las líneas gruesas muestran la inversión no lineal correspondiente a tres constricciones diferentes.