

EVALUACION ANALITICA DE LA RESPUESTA DEL SUELO DURANTE TERREMOTOS EN SITIOS TIPICOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Milton R. Matus Izaguirre
Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN

La respuesta analítica de algunos perfiles de suelo típicos en la Ciudad de Guatemala durante terremotos se presenta. Varias simulaciones analíticas fueron hechas usando dos procedimientos que resuelven el problema de la propagación vertical de energía en depósitos de capas horizontales. Se efectuaron análisis tanto lineales como no-lineales. Los análisis lineales equivalentes se realizaron con una versión modificada del programa de computadora para propagación de ondas en 1 dimensión SHAKE. Los análisis no-lineales se realizaron con el programa de elementos finitos/diferencias finitas AMPLE. Los efectos de la respuesta del suelo debido a cinco registros fuertes de sismo se estudian para tres sitios diferentes en la Ciudad de Guatemala. También se realizó un estudio de sensibilidad con respecto a la influencia de las variaciones de las rigideces de los suelos, amortiguamientos y velocidades de onda de corte en el lecho rocoso.

Los resultados se presentan como la relación de los espectros de respuesta de pseudo-velocidad calculados en la superficie y los espectros de respuesta del movimiento de entrada especificados en el lecho rocoso.

INTRODUCCION

Centro America es una área donde la amenaza sísmica es un factor de importancia primordial en el diseño de viviendas, edificios e instalaciones de servicios vitales. Con frecuencia los mayores daños sísmicos ocurren en depósitos suaves o sueltos de arcilla o arena donde las sacudidas tienden a ser mucho más fuertes que en roca o suelo duro. Los valores de carga sísmica para fines de diseño ingenieril son usualmente presentados por medio de mapas de amenaza, los cuales reflejan condiciones de carga promedio en lecho rocoso, y por lo tanto, no incluyen los efectos de condiciones locales del suelo. Las contribuciones por el sitio específico a la amenaza sísmica deben ser evaluadas por separado para cada sitio.

Los efectos de la respuesta del suelo durante terremoto en tres perfiles de suelo típico en la Ciudad de Guatemala se evalúan bajo la acción de dos sismos "pequeños" y tres sismos "fuertes", usando procedimientos de análisis lineales y no-lineales, los cuales resuelven los problemas de propagación vertical de ondas sísmicas en depósitos de suelo.

PARAMETROS DE SUELOS

Las propiedades principales que generalmente se usan en análisis de respuesta de sitio son.

- módulo de corte a bajas deformaciones, G_{max} , o velocidad de onda de corte

- densidad de masa

- profundidad al lecho rocoso

- resistencia al cortante bajo carga dinámica rápida

- características de amortiguamiento

- variación del amortiguamiento y módulo de corte con la deformación unitaria de corte

sin embargo, para los suelos que se encuentran en Guatemala muchas de estas propiedades no están disponibles, de tal manera que dichos datos se estimarán de relaciones empíricas y de valores típicos reportados en la literatura cuando faltan las mediciones.

Para arena y arenisca, el módulo de corte inicial se calcula de (Hardin, 1978):

$$G_{max} = A_{max} \frac{f(e)}{a} p_a \left(\frac{\rho'_m}{\rho_a} \right)^{1/2} \quad (1)$$

donde A_{max} = un factor entre 550. y 750.

$$f(e) = 1 / (0.7 + 0.3 e^2) \quad (2)$$

e = relación de vacíos

p_a = presión atmosférica = 100 kPa

$$\rho'_m = \text{presión media efectiva} = \frac{\rho'_v (1 + 2 K_o)}{3} \quad (3)$$

ρ'_v = presión vertical efectiva

Para los sitios con arena reportados en este estudio, estos parámetros se usaron

$A_{max} = 750.$, $K_o = 0.5$, de tal manera que

$$G_{max} = 6.14 (\rho'_v)^{1/2} / (0.7 + 0.3 e^2) \quad (4)$$

donde ρ'_v está en kPa y G_{max} está en MPa

Para los sitios con arcilla, los parámetros para arcilla de Drammen (Andersen et al., 1988) se usaron:

$$G_{max} = 550. (p_a \rho'_m)^{1/2} \quad \text{para } 1 < \text{relación de sobreconsolidación} < 3 \quad (5)$$

de tal manera que, con $p_a = 100$ kPa y $K_o = 0.5$ (arcilla consolidada normalmente), la

siguiente relación se obtiene:

$$G_{\max} = 4.5 (\rho'_v)^{1/2} \quad (6)$$

donde ρ'_v está en kPa y G_{\max} está en MPa.

Para ceniza volcánica pobremente cementada, la siguiente relación empírica entre la presión vertical efectiva y G_{\max} se estableció en base a algunas mediciones superficiales

de velocidades de onda de corte realizadas en varios sitios en la Ciudad de Guatemala:

$$G_{\max} = 44. (\rho'_v)^{1/2} \quad (7)$$

donde ρ'_v está en kPa y G_{\max} está en MPa.

Comparando las ecuaciones 6 y 7, podría pensarse que la cementación de la ceniza puede incrementar G_{\max} en el orden de una magnitud de 10. Aunque, incrementos hasta de un factor de 5 - 6 en G_{\max} debido a la cementación han sido reportados en la literatura

(Wang, 1986), los grandes valores de G_{max} inferidos de las mediciones de velocidades de

onda de corte deberían ser verificados en estudios futuros.

La variación del amortiguamiento versus la deformación unitaria cíclica de corte esta basada en las recomendaciones de Seed e Idriss (1970), ver figura 2. La curva de amortiguamiento para arena es también usada para la ceniza volcánica.

La variación de módulo de corte/ G_{max} versus deformación unitaria cíclica de corte está

también basado en las recomendaciones de Seed e Idriss (1970), ver figura 1.

PERFILES DE SUELO

La Ciudad de Guatemala está ubicada en el graben de Guatemala, donde la mayor parte esta cubierta de depósito cuaternario de piroclásticos. Estos depósitos piroclásticos involucran materiales producidos por eventos volcánicos explosivos. De tal manera que estos materiales frecuentemente tiene una constitución porosa en la cual partículas y conjuntos de partículas están interconectados o cementados por vidrio volcánico y sus derivados intemperizados.

Los depósitos volcanoplásticos son importantes en Centro y Sur América. Se estima que en la Ciudad de Guatemala, la formación cubre 650. km² aproximadamente con espesores de 50 a 250 metros. El basamento de estos depósitos piroplásticos está compuesto principalmente de basalto, andecita y riolita. En muchos sitios, sobre este basalto, hay depósitos aluviales compuestos de arena y gravas mas o menos gruesas, con capas de arcilla intercaladas. Mientrás que en otros sitios, bajo los depósitos piroclásticos, el material es toba soldada, o caliza.

El desarrollo de los modelos de los perfiles típicos de suelo fue efectuado por Franklin Matzdorf, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala. Las características físicas y geotécnicas de estos sitios se basaron en una buena representación de los perfiles de suelo combinado con criterio ingenieril y experiencia. De tal manera que

los siguientes sitios pueden ser considerados representativos de muchas áreas en la Ciudad de Guatemala:

1. Campus de la Universidad del Valle de Guatemala, lado este de la Ciudad de Guatemala, y en adelante denominado Sitio UVG Ver figura 4.
2. Colonia Primero de Julio, lado oeste de la Ciudad de Guatemala, y en adelante denominado Sitio 1JULIO Ver Figura 4.
- 3 Colonia Jocotales, lado norte de la Ciudad de Guatemala, y en adelante denominado Sitio JOC. Ver figura 4.

MOVIMIENTOS FUERTES DE SUELO

Los historiales de aceleración representativos del sismo de diseño en el punto de referencia (tomado como material rocoso en este estudio) fueron seleccionados de varias bases de datos de acelerogramas. Estos movimientos fuertes representan dos niveles de carga sísmica: moderado y fuerte, teniendo aceleraciones pico del suelo (APS) de 0.05g y 0.20g, respectivamente. Las probabilidades de excedencia para estas aceleraciones en la Ciudad de Guatemala no habían sido evaluadas al tiempo de este estudio.

El criterio principal que se siguió para escoger los movimientos fue que hallan sido registrados en sitios considerados como roca o suelos muy duros. Los registros preliminares considerados después de la primera búsqueda fueron:

- 8 registros del Japón, desde 1966 a 1978, 19 componentes, magnitudes entre $M = 4.2$ y $M = 6.4$, distancias epicentrales 7-226 km, APS entre 0.01g y 0.23g, y duraciones entre 10 y 110 segundos.
- 2 registros de México, Septiembre 19 y 21 de 1985. Los registros provienen del arreglo de Guerrero (6 sitios), y de la Ciudad de México (4 sitios), APS entre 0.02g y 0.25g, y duraciones entre 60 y 150 segundos.

- 2 registros de Costa Rica, Abril 22 de 1991. 3 componentes de las estaciones Cachí, San Isidro y Guatuso. Distancia epicentral desde 74 a 100 km., APS entre 0.10g y 0.20g, y duraciones entre 30 y 60 segundos.
- 1 registro de Nicaragua, Mayo 31 de 1978 1 componente del sitio Bayer, Chinandega, APS de 0.12g y duración de 40 segundos.

La lista preliminar fue reducida después basado en varios factores, la aceleración pico del suelo, el espectro de respuesta de pseudo-velocidad, duración, distancia epicentral, y similitudes geológicas. De tal manera que el número de registros usado en los análisis se redujo a cinco

La mayoría de registros originalmente venían digitalizados con un incremento de tiempo de 0.005 segundos, lo cual representa mas de 5000 puntos para cada registro. Para los propósitos de este estudio, el incremento de tiempo se cambió a 0.02 segundos por medio de tomar cada 40 punto del archivo original. Por supuesto que con este procedimiento, el contenido de alta frecuencia se pierde, pero estas altas frecuencias están en el rango que no afecta los resultados de estos análisis en particular. Después de este procedimiento, los espectros de respuesta de pseudo-velocidad y las gráficas de Husid se obtuvieron, con el programa SHAKE(N), ver figuras 6 y 7.

Basados en la distribución de energía con respecto al tiempo mostrados en las gráficas de Husid, se decidió usar solo la porción de los historiales de aceleración que conteneran entre el 5 % y el 95% de la energía total. Estos historiales finales se muestran en la figura 5

En las simulaciones analíticas, los acelerogramas fueron especificados como movimientos en afloramientos rocosos, de tal forma que sufrieron un proceso adicional de filtrado (deconvolución) entre afloramiento rocoso y lecho rocoso debajo del perfil de suelo. Este proceso de filtrado siempre resulta en una reducción del movimiento.

RESPUESTA DINAMICA DE LOS PERFILES DE SUELO

Los análisis fueron ejecutados con los programas para computadora SHAKE92 y AMPLE92, versiones modificadas de los programas SHAKE(N) (Selnes, 1987) y AMPLE (Nadim, 1991). Ambos programas corren en computadoras personales y esencialmente resuelven el problema de propagación de ondas en 1 dimensión, ver figura 3.

Los cambios hechos a los programas originales consistieron en modificaciones para facilitar sus usos y post-proceso, principalmente las posibilidades de dibujar los resultados de una manera fácil y rápida con software estándar.

SHAKE(N) usa un procedimiento iterativo quasi-lineal para considerar las respuesta no-lineales de los suelos, y realiza los cálculos en el dominio de la frecuencia a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Mientras que AMPLE resuelve el problema en el dominio del tiempo por medio del método de elementos finitos/diferencias finitas, de tal forma que puede manejar muy bien respuestas no-lineales durante sismos fuertes.

El propósito de la simulaciones analíticas es establecer factores que ajusten la aceleración pico y el espectro de respuesta del sitio rocoso de referencia dependiendo de las condiciones del sitio. De tal forma que los resultados son resumidos en gráficas que indican la relación entre los espectros de respuesta de pseudo-velocidad del movimiento calculado en la superficie y el movimiento especificado en lecho rocoso.

Las gráficas se presentan en escalas semi-logarítmicas, separando las respuestas debido a sismos escalados a APS de 0.05g (Japon 14/11/68, y México 19/09/85), y 0.20g (México 21/09/85, Costa Rica 22/04/91 y Nicaragua 31/05/78).

Para cada sitio, se consideraron dos velocidades de onda de corte para el lecho rocoso debajo del depósito de suelo, a saber, 1200 y 1800 m/seg.

Los datos mostrados en la figuras incluyen la Media, la Media \pm 1 Desviación Standard

Las respuestas de los perfiles originales se identifican como Site UVG-1, Site 1JULIO-1, y Sitio JOC-1H.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Es bien sabido que las condiciones locales del sitio pueden ejercer una influencia muy pronunciada en la respuesta del suelo durante sismos. También se conoce bien que la variabilidad en la respuesta dinámica puede ser alta cuando se considera la variabilidad de los parámetros del suelo y los acelerogramas de entrada.

En este estudio se decidió realizar un análisis de sensibilidad considerando la influencia de las variaciones en rigideces del suelo, amortiguamiento y velocidades de onda de corte en el lecho rocoso

Tomando los 3 perfiles originales como puntos de partida, los siguientes casos fueron considerados.

Sitio UVG-2M:

Una variante de UVG-1 con rigidez baja de 0 a 8.5 metros de profundidad, y rigidez alta de 8.5 a 53.5 metros de profundidad. Velocidades de onda de corte de 1200-1800. m/seg. Ver figura 4.

Sitio UVG-3H:

Rigidez igual a 0.80 de la rigidez de UVG-1. Velocidades de onda de corte de 1200-1800 m/seg. Ver figura 4

Sitio UVG-4H:

Rigidez igual a 0.60 de la rigidez de UVG-1 Velocidades de onda de corte de 1200-1800. m/seg Ver figura 4.

Sitio 1JULIO-MI:

Una variante de 1JULIO-1 con rigidez alta de 0 a 8.5 metros y rigidez baja de 8.5 a 53.5 metros Velocidades de onda de corte de 1200-1800 m/seg. Ver figura 4

Otro grupo de simulaciones se hicieron con cambios en los valores de amortiguamiento. El amortiguamiento para la ceniza volcánica probablemente cementada se eligió como el amortiguamiento de la arcilla, pero manteniendo las velocidades de onda de corte de 1200-1800 m/seg. Estos casos se identificaron anteponiendo la letra H a los sitios originales

El último grupo de simulaciones fueron hechas aplicando el amortiguamiento de la ceniza volcánica igual al amortiguamiento de la arcilla, y velocidades de onda de corte en el lecho rocoso de 500-800 m/seg. Estos casos se identificaron anteponiendo la letra M a los sitios originales

ANALISIS DE RESULTADOS

La discusión se dividirá en dos grupos de acuerdo con la aceleración pico de los movimientos de entrada: "pequeños" para movimientos con 0.05g, y "fuertes" para movimientos con 0.20g.

Sitio UVG-1, "pequeños", figura 8(a). La amplificación es mas pronunciada en el rango de periodos de 0.1 a 1.0 segundos, con un valor pico medio de 2.5 para un periodo de 0.3 segundos. Pequeña amplificación para periodos mayores de 1.0 segundo, y casi constante.

Sitio UVG-1, "fuertes", figura 8(c) El mismo patron que el caso anterior.

Sitio UVG-2M, "pequeños", figura 9(a). En este sitio se manifestaron altas no-linealidades en los 10 metros superiores, por lo que se presentan los resultados obtenidos con el programa AMPLE. La amplificación principia con un valor medio de 3.0 para un periodo de 0.1 segundos. Luego incrementa hasta un valor medio de 4.5 para un periodo de 0.15 segundos, y luego decrece gradualmente hasta un valor de 1.1 para periodos de hasta 5. segundos.

Sitio UVG-2M, "fuertes", figura 9(c). La amplificación comienza con un valor de 2.0 para un periodo de 0.1 segundos, luego incrementa hasta un valor medio de 3.5 para periodos entre 0.15 y 0.25 segundos. Para periodos entre 0.25 y 1.0 segundos, la

amplificación media varía de 3.5 a 1.2. Finalmente, para periodos entre 1.0 y 10. segundos, la amplificación muestra un valor medio casi constante de 1.1

Sitio UVG-3H, "pequeños" y "fuertes", figuras 10(a) y 10(c). La amplificación muestra un valor medio pico de 2.9 para un periodo de 0.3 segundos. Decece gradualmente hasta un valor de 1.0 para periodos de 4.0 segundos.

Sitio UVG-4H, "pequeños" y "fuertes", figuras 11(a) y 11(c). Comportamiento similar al sitio UVG-3H.

Sitio 1JULIO-1, "pequeños", figura 12(a). La amplificación muestra un valor medio pico de 3.8 para periodos cercanos a 0.7 segundos. Luego decece gradualmente hasta 1.5 para un periodo de 2.0 segundos, y finalmente decece linealmente hasta 1.3 para un periodo de 10 segundos.

Sitio 1JULIO-1, "fuertes", figura 12(c). La amplificación varía en valor medio de 1.7 a 2.5 para periodos entre 0.1 y 0.3 segundos. Luego decece hasta 1.8 para un periodo de 0.4 segundos. Muestra un valor medio pico de 3.7 para periodos entre 0.75 y 1.2 segundos. Luego decece a 1.3 para periodos de 4.0 segundos.

Sitio 1JULIO-M1, "pequeños" y "fuertes", figuras 13(a) y 13(c). Comportamiento similar al caso anterior, excepto que la amplificación es menor para periodos entre 0.1 y 0.4 segundos.

Sitio JOC-1H, "pequeños", figura 14(a). La amplificación muestra un descenso constante, partiendo de un valor medio de 3.9 cerca del periodo de 0.1 segundos. Disminuye hasta 1.0 para periodos de 5.0 segundos.

Sitio JOC-1H, "fuertes", figura 14(c). Comportamiento similar al caso anterior., con la diferencia que el valor medio pico es mas o menos constante de 3.0 para periodos entre 0.1 y 0.3 segundos. Casi no ocurre amplificación para periodos mayores de 1.0 segundos.

Sitios para los casos H. No ocurren cambio de forma, pero los valores son ligeramente menores que los sitios originales. No se muestran las gráficas de estos casos en este reporte

Casos M:

Sitio M-UVG-1, figuras 8(b) y 8(d). Cambios drásticos respecto del caso UVG-1. La amplificación media varía casi linealmente desde 1.4 a 1.1 para periodos entre 0.1 y 1.3 segundos. No hay amplificación para periodos mayores.

Sitio M-UVG-2M, figuras 9(b) y 9(d). Comportamiento algo similar al sitio UVG-2M. Valor medio pico de amplificación de 3.0 para periodos entre 0.13 y 0.20 segundos. luego decrecen hasta 1.0 para periodos de 6.0 segundos.

Sitio M-UVG-3H, figuras 10(b) y 10(d). Comportamiento similar a M-UVG-1. La amplificación media varía desde 1.5 a 1.1 para periodos entre 0.1 y 1.3 segundos. Comparando este caso con UVG-3H, puede notarse que la amplificación se reduce en el rango de periodos cortos.

Sitio M-UVG-4H, figuras 11(b) y 11(d). Este caso muestra el mismo patrón de variación de la amplificación que el anterior caso. Es decir, se reducen las amplificaciones en el rango de periodos cortos.

Sitio M-1JULIO-1, figuras 12(b) y 12(d). Comportamiento más o menos similar al sitio 1JULIO-1, pero con valores medios menores que 1JULIO-1.

Sitio M-1JULIO-M1, figuras 13(b) y 13(d). Comportamiento similar al caso 1JULIO-M1. Es decir, valores medios picos en rango de periodos de 0.65 a 1.1 segundos.

Sitio JOC-2H, figuras 14(b) y 14(c). Comportamiento similar a JOC-1H, pero con valores medios menores de amplificación

Para los casos M, tomando el amortiguamiento de la ceniza volcánica igual al amortiguamiento de la arcilla, lo cual representa un aumento en el amortiguamiento, se traduce en un incremento de la disipación de la energía. Para los casos con velocidades de onda de corte en el lecho rocoso de 500 y 800 m/seg, los resultados de amplificación muestran un descenso en los efectos de respuesta de suelo en el movimiento de la superficie.

CONCLUSIONES

La principal conclusión es que la mayor influencia de la respuesta del suelo en algunos sitios típicos de la Ciudad de Guatemala se da en el rango de periodos cortos, abajo de 1.0 segundos.

Comparado con sitio rocoso, el espectro de respuesta en un sitio dado puede ser 1.5 a 2.5 veces más severo para periodos abajo de 1.0 segundos. Esto afectará primeramente a las casas y edificios bajos o rígidos.

Los resultados son similares para los casos donde el amortiguamiento de la ceniza se toma igual al amortiguamiento de la arcilla cuando se supone una velocidad de onda de corte alta.

Datos que puedan usarse para verificar los resultados analíticos son escasos en la Ciudad de Guatemala. Hay varios eventos (APS del orden de 0.05g) registrados en la superficie, pero no existen registros en roca o afloramiento rocoso para el mismo evento que pueda usarse para chequear los factores de amplificación obtenidos en las simulaciones.

Es altamente recomendable usar tanto datos analíticos como empíricos para usar los resultados en evaluaciones ingenieriles, por lo que algunas tareas futuras en este campo podrían ser:

- Instalar acelerógrafos en varios sitios de la Ciudad de Guatemala. Los sitios deben incluir ambos tipos de sitios: roca y suelo, y las características geotécnicas de dichos sitios deben ser detalladas. Es deseable que los sitios a escoger muestren una respuesta netamente en 1 dimensión, de tal forma que sitios que puedan experimentar efectos en 2 y 3 dimensiones (efectos topográficos) deben evitarse.
- Establecer las propiedades dinámicas ingenieriles de la ceniza volcánica pobremente cementada y otros tipos de suelo que existen en la Ciudad de Guatemala para reducir la incertidumbre en los parámetros del suelo.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue desarrollado en Oslo, Noruega, como parte del Proyecto de Investigación "Reduction of Natural Disasters in Central America Earthquake Preparedness and Hazard Mitigation. Seismic Zonation and Earthquake Hazard Assessment. Task 4: Soil Response Effects" El autor agradece el apoyo de The Norwegian Agency for Development Cooperation (NORAD), The Norwegian Seismic Array (NORSAR), Norwegian Geotechnical Institute (NGI), El Centro de Coordinación para la Reducción de Desastres Naturales en America Central (CEPREDENAC), y Universidad del Valle de Guatemala Extensivo el agradecimiento a Empresa Municipal de Agua, Banco Nacional de la Vivienda, y varios constructores privados

REFERENCIAS

- Andersen, K H , A. Kleven, and D. Heien (1988). Cyclic soil data for gravity structures. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 114, No. 5, pp. 517-539.
- Hardin, B.O. (1978). The nature of stress-strain behavior for soils. Proceedings of the specialty conference on earthquake engineering and soil dynamics, ASCE, Pasadena, Vol. 1, pp. 3-90.
- Nadim, F. (1991). AMPLE- A Computer Program of Analysis of Amplification of Earthquakes. Norwegian Geotechnical Institute, Report No. 525285, July 1991.
- Seed, H.B , and L.M Idriss (1970). Soil Moduli and damping factor for dynamic response analyses. University of California, Berkeley, College of Engineering. Earthquake Engineering Research Center, Report EERC 70-10.
- Selnes, P.B (1987). SHAKE(N) - A Computer Program for Analysis of Earthquake Response in Horizontally layered sites
Norwegian Geotechnical Institute, Report No 51508-23, August 1987
- Wang, Y. D. (1986) Investigation of constitutive relations for weakly cemented sands.
Ph D. Thesis, University of California, Berkeley, California, U.S.A

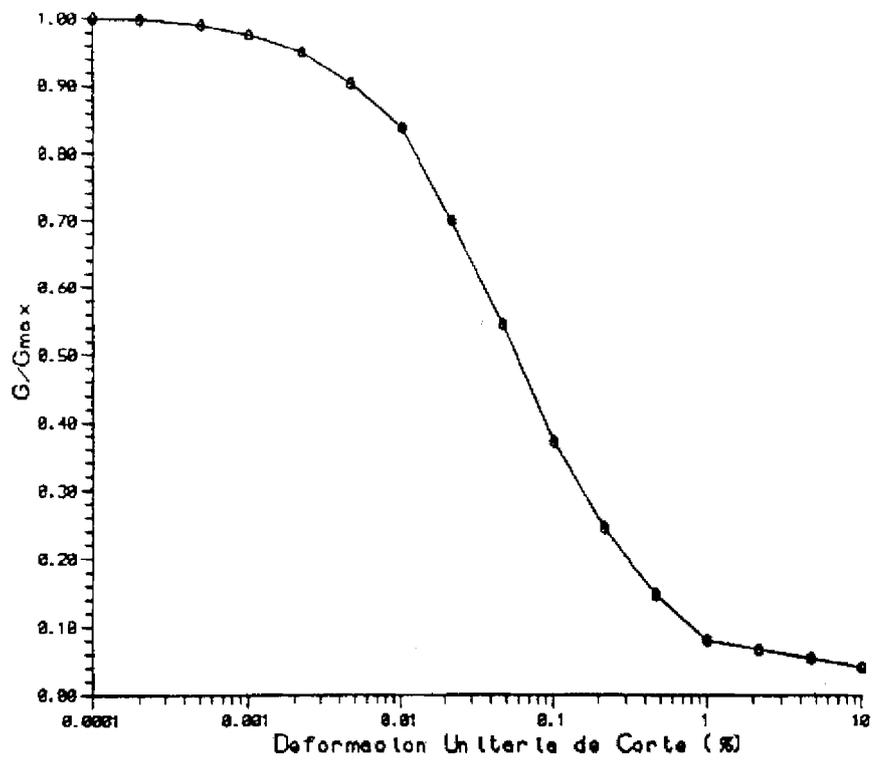


Figura 1 Degradación de Modulo para Arena y Arcilla

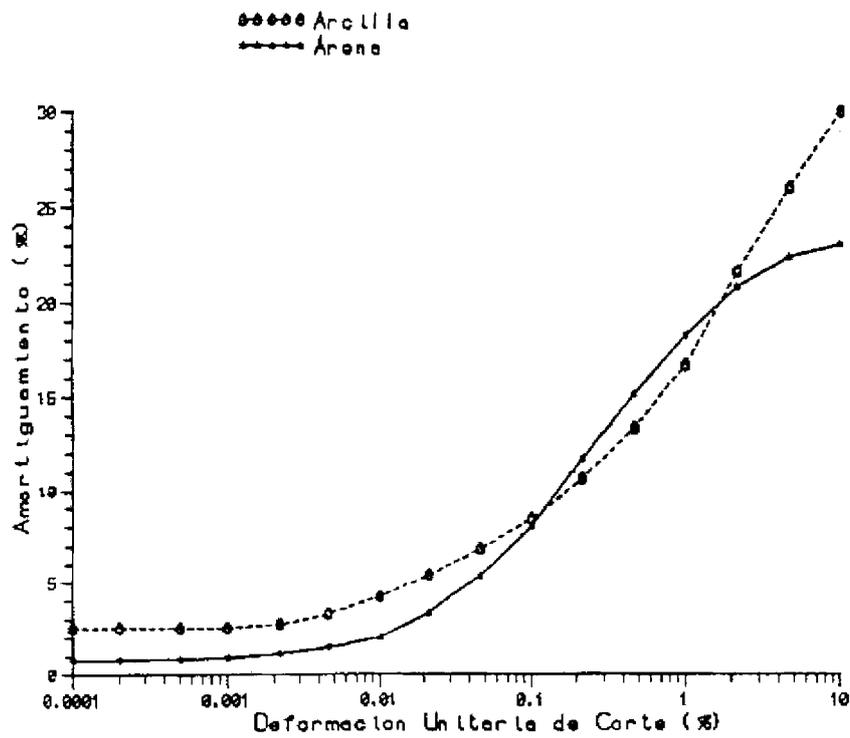
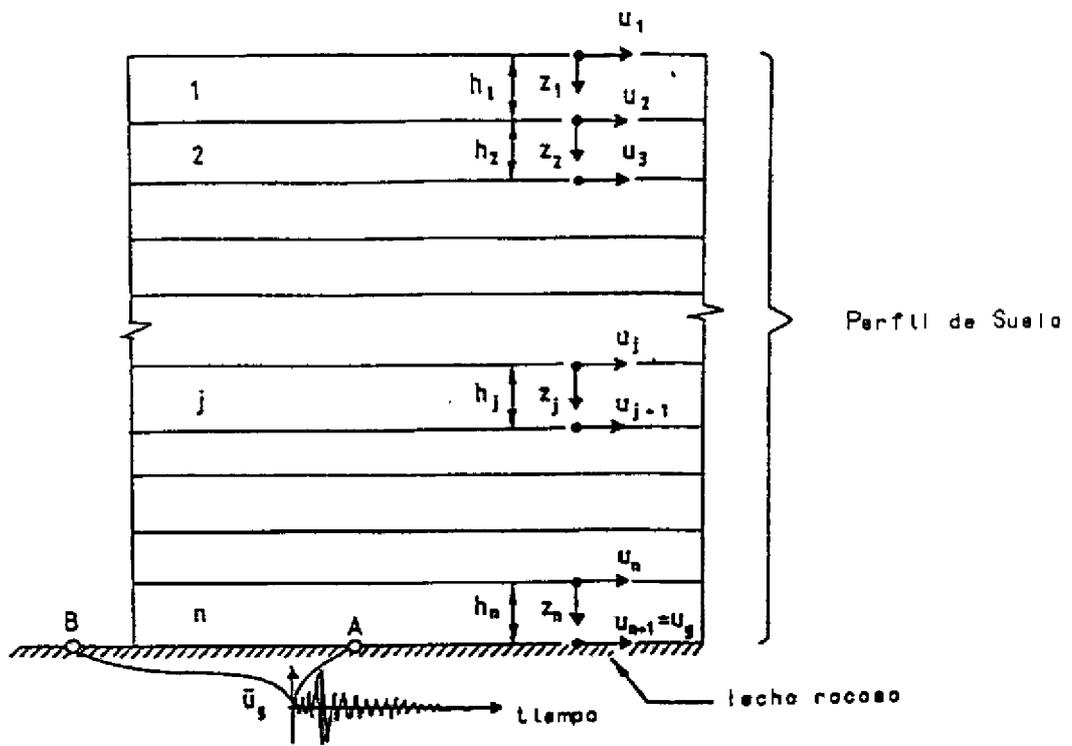
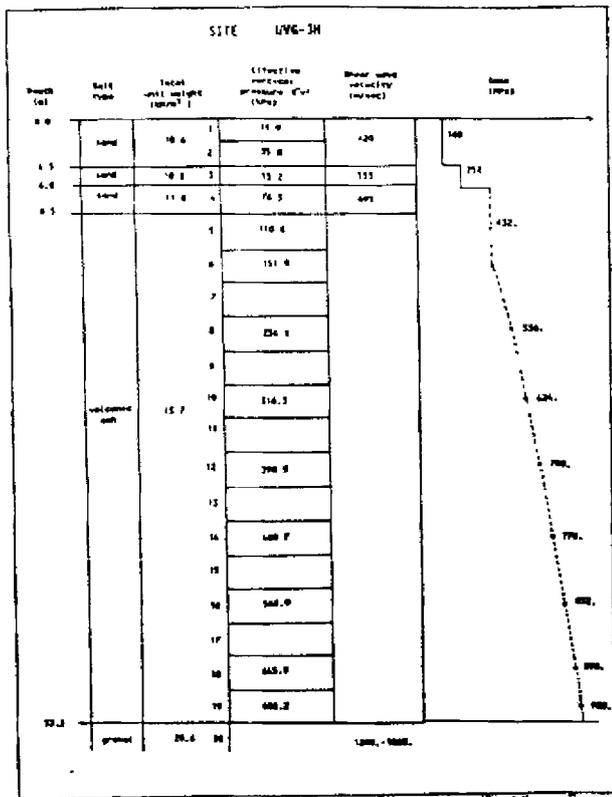


Figura 2 Variación del Amortiguamiento



- A: Movimiento de control especificado en el lecho rocoso
- B: Movimiento de control especificado en afloramiento rocoso (no hay suelo presente encima)

Figure 3 Idealization of the problem of wave propagation in the programs of computation SHAKE(ND) and AMPLE.



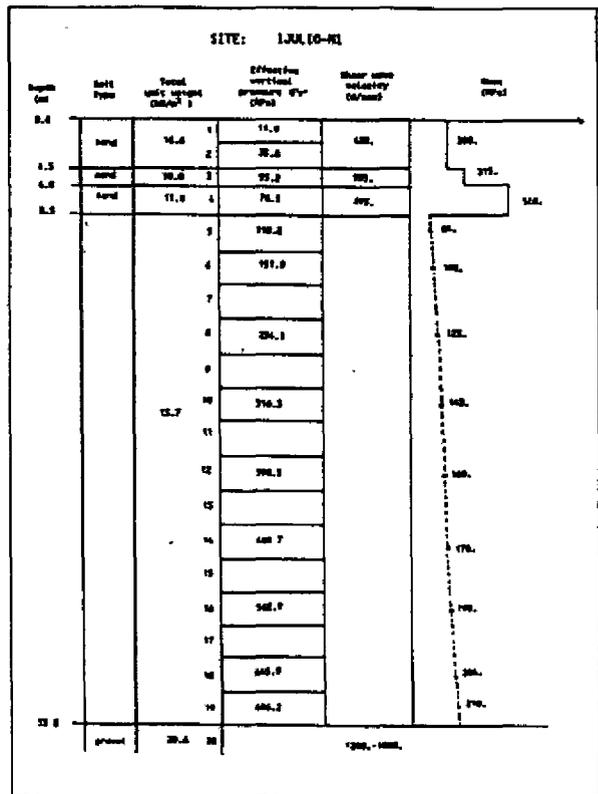
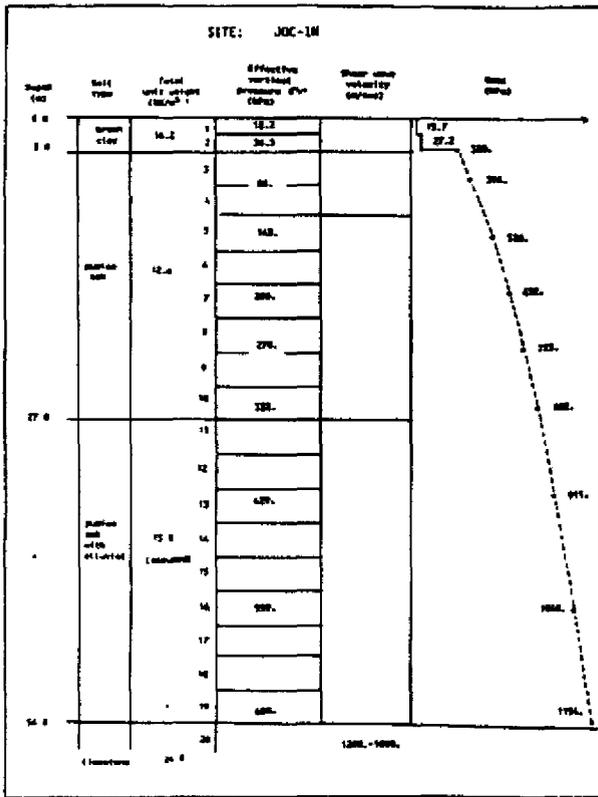
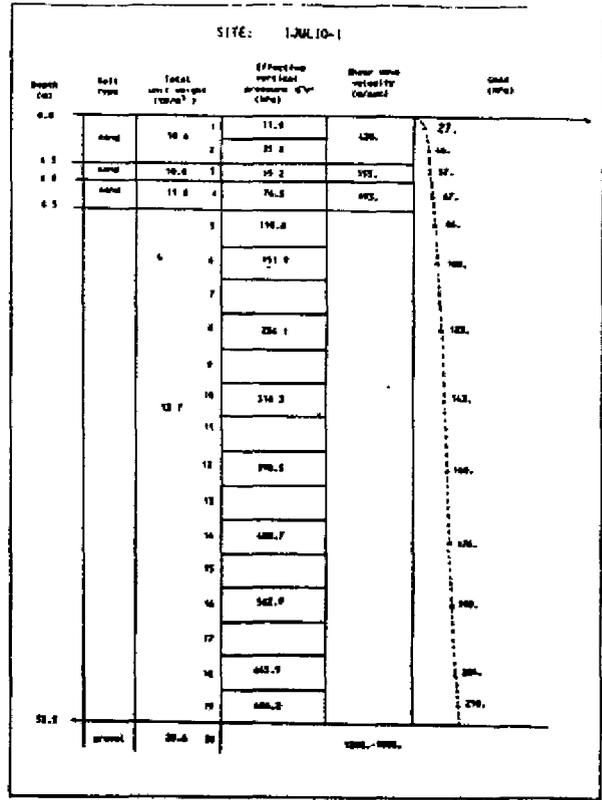
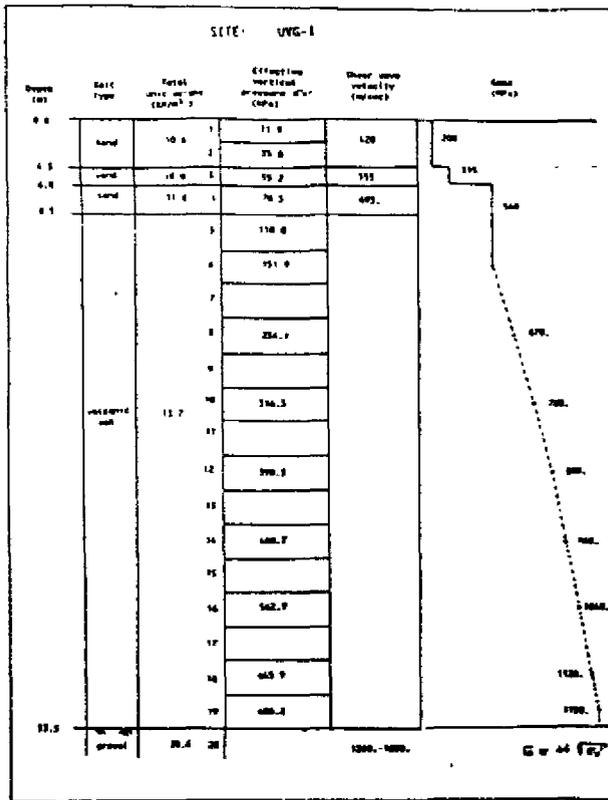


Figure 4 ... continuation

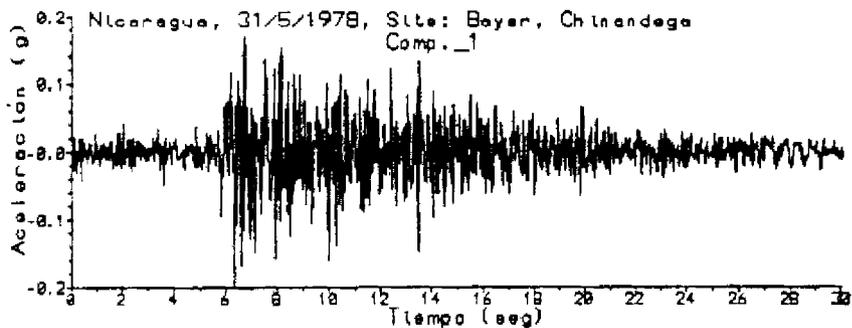
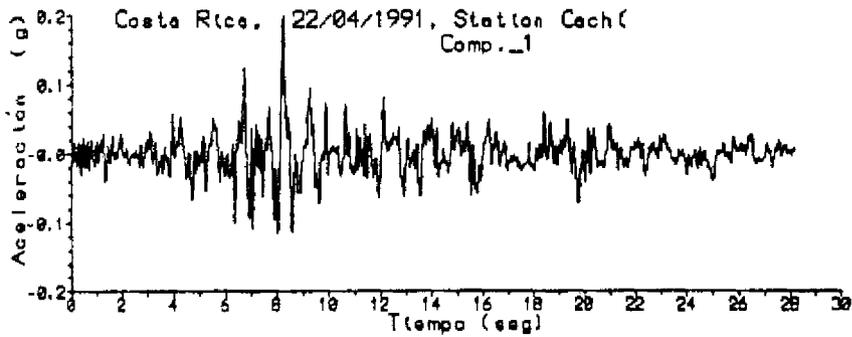
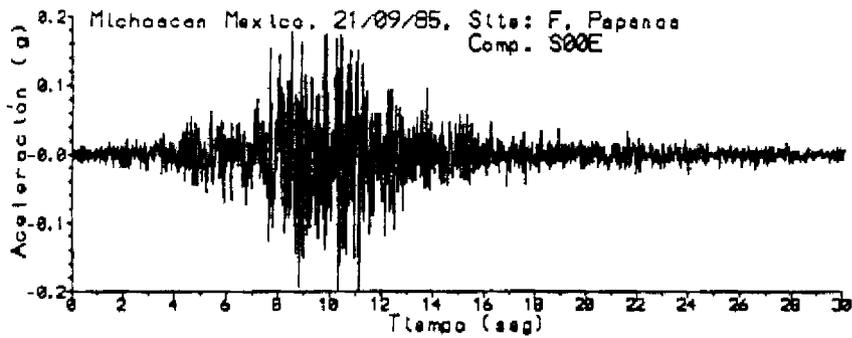
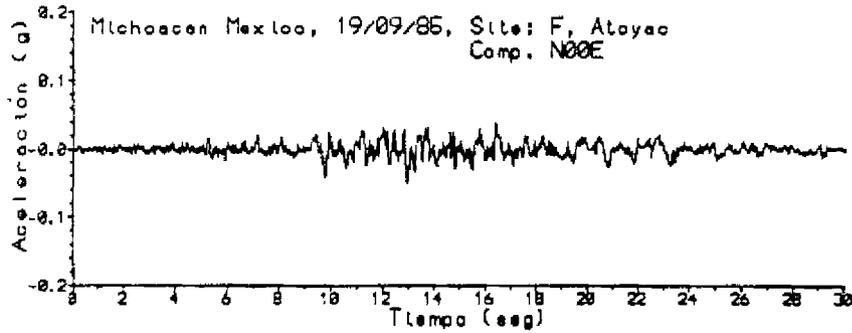
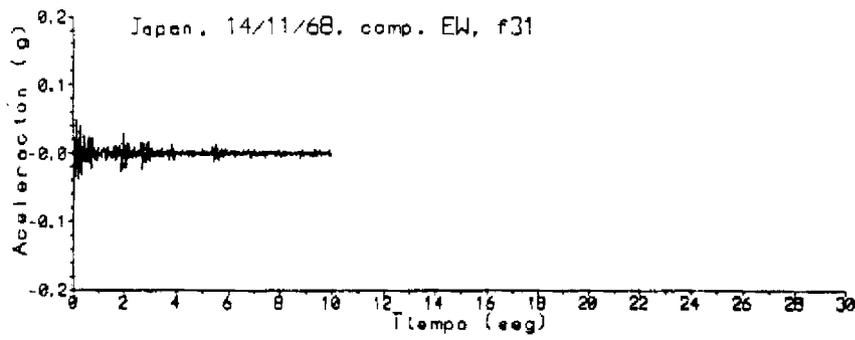


Figura 5 Acelerogramas usados en las simulaciones analíticas

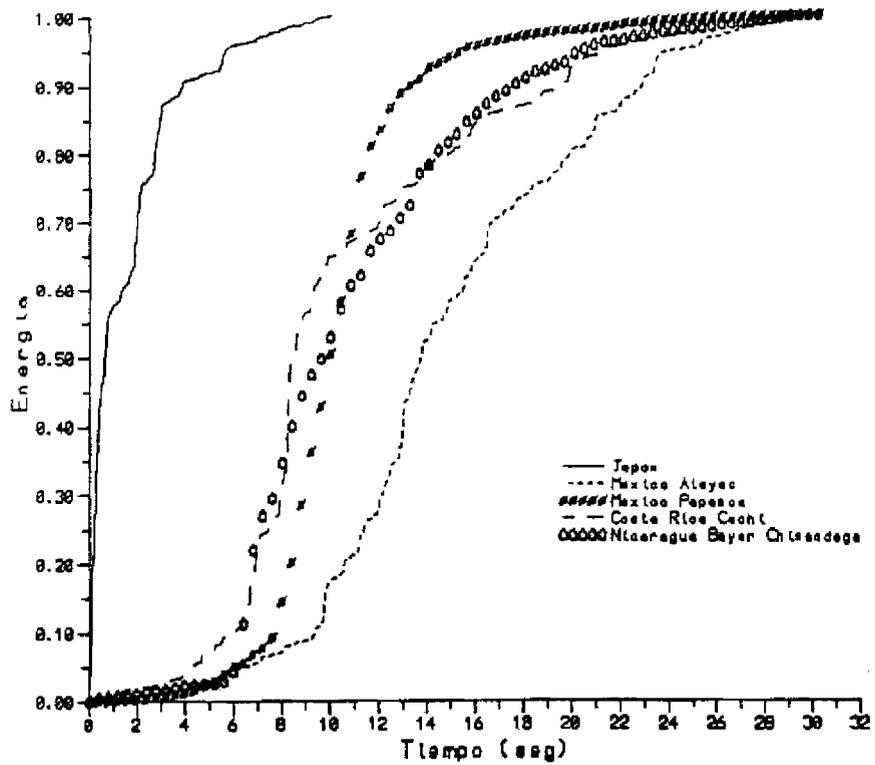


Figura 6 Gráficas de Huelo

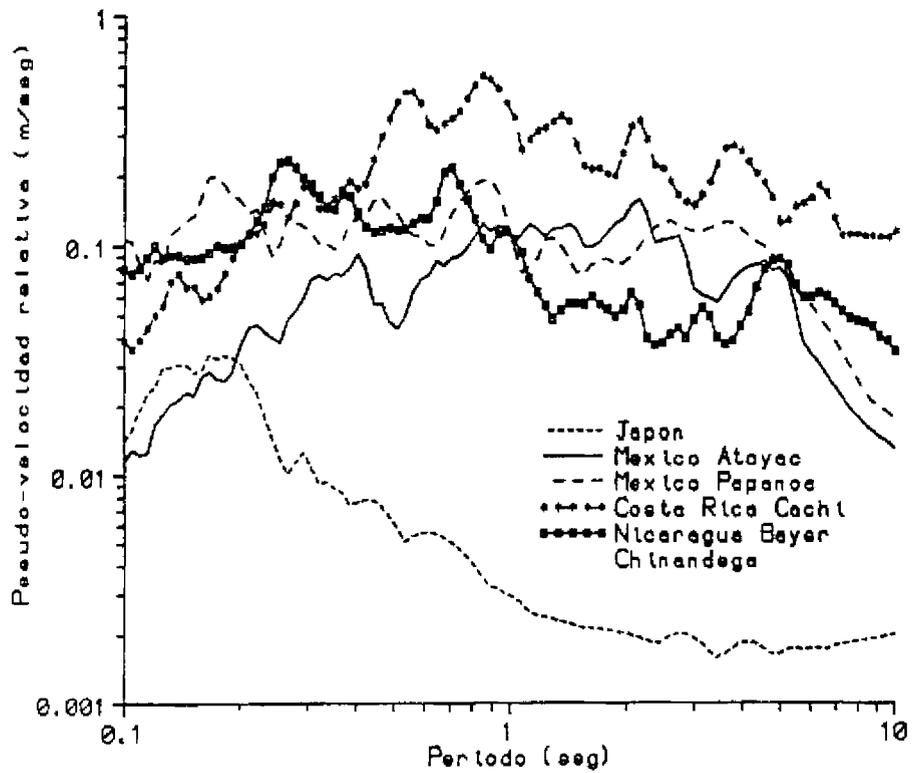


Figura 7 Espectros de Respuesta de Aclarogramas de figura 5

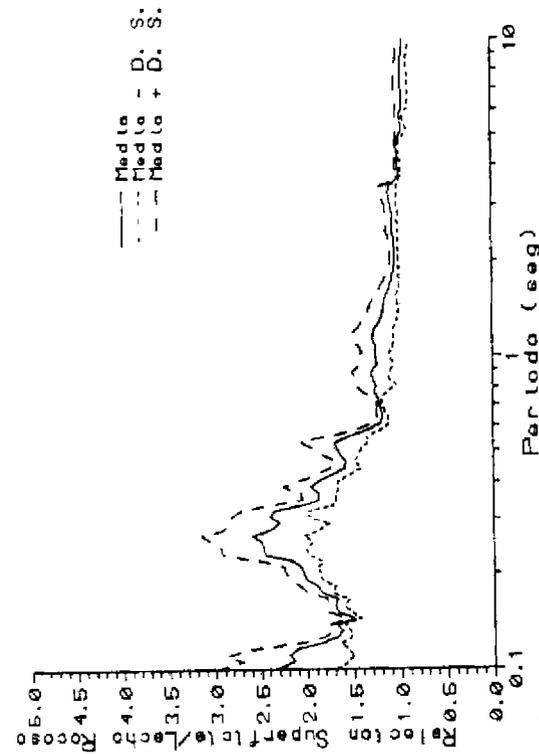


Figure 8(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-LVG-1, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismo: Japon, Mexico Atlayac

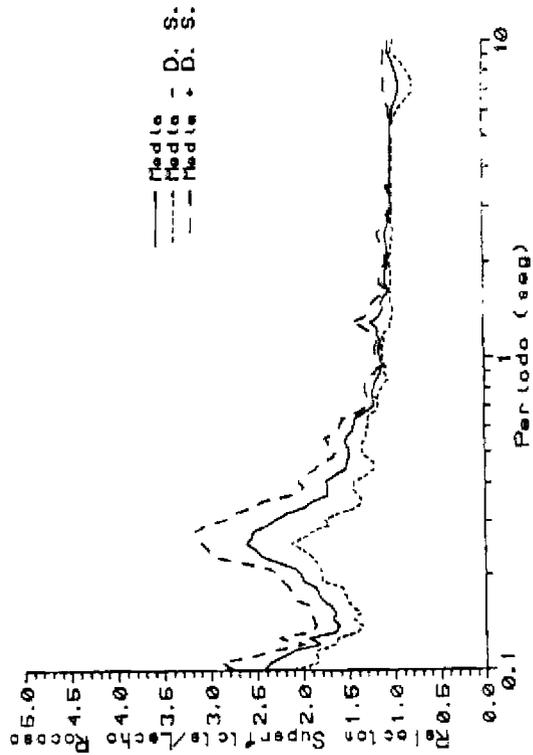


Figure 8(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-LVG-1, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismo: Mexico Papenoe, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

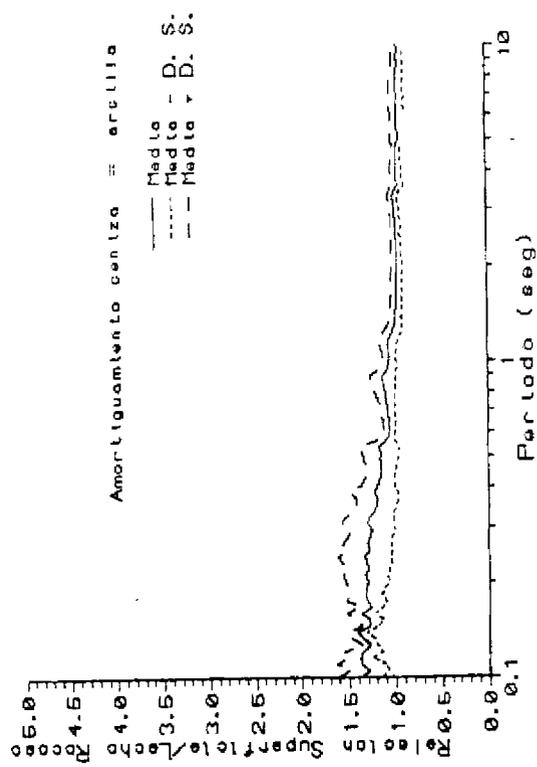


Figure 8(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-LVG-1, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismo: Japon, Mexico Atlayac

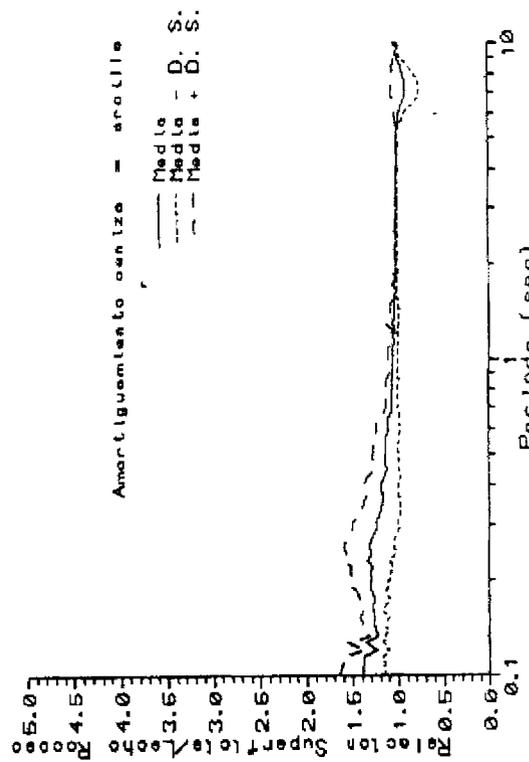


Figure 8(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-LVG-1, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismo: Mexico Papenoe, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

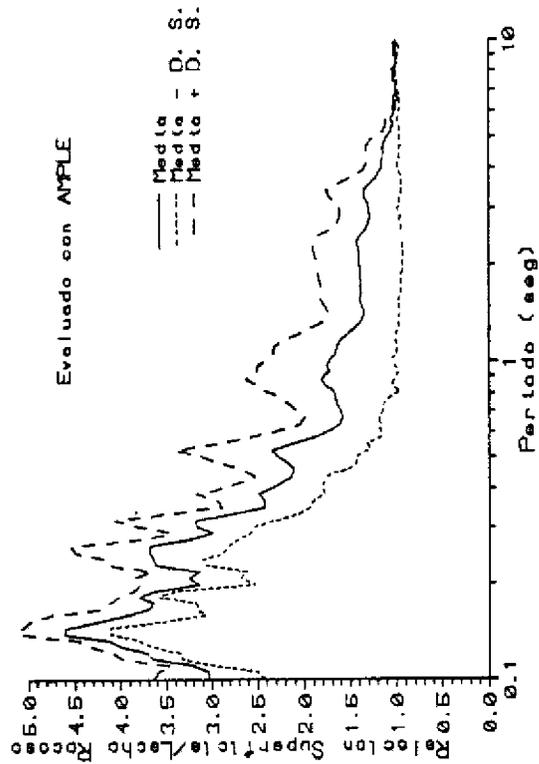


Figure 9(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-2M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Japan, Mexico Atoyac

Figure 9(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-2M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Japan, Mexico Atoyac

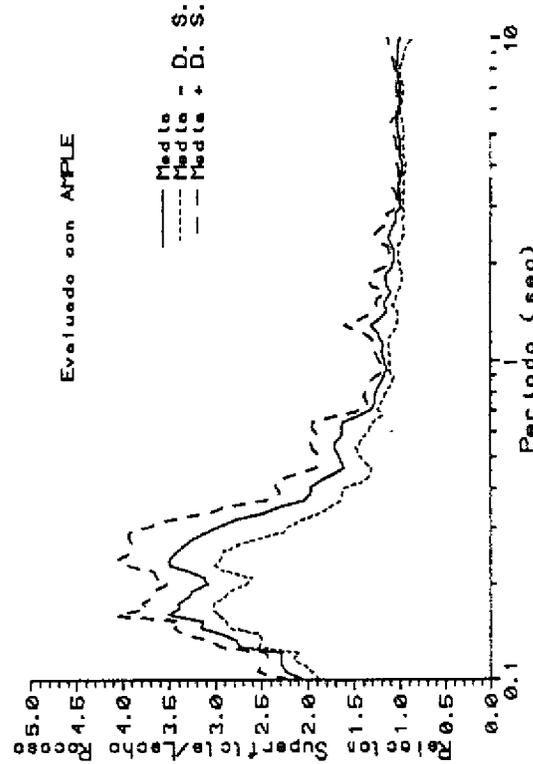


Figure 9(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-2M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Mexico Papantla, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

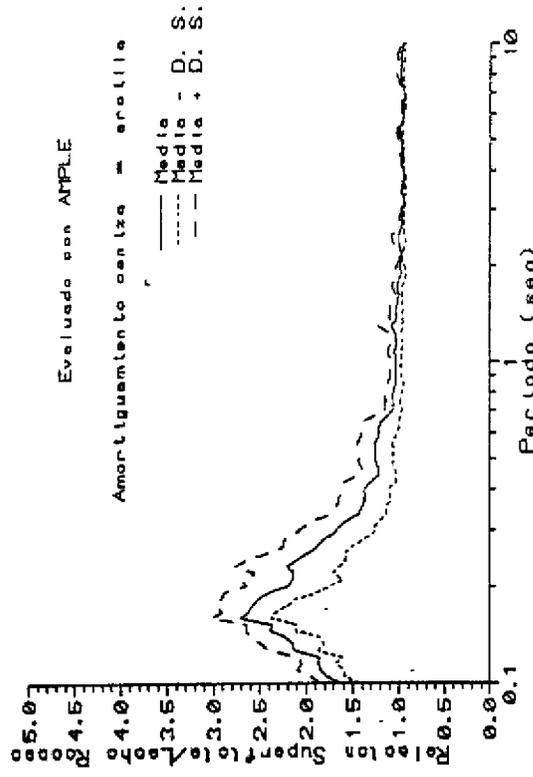


Figure 9(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-2M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Mexico Papantla, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

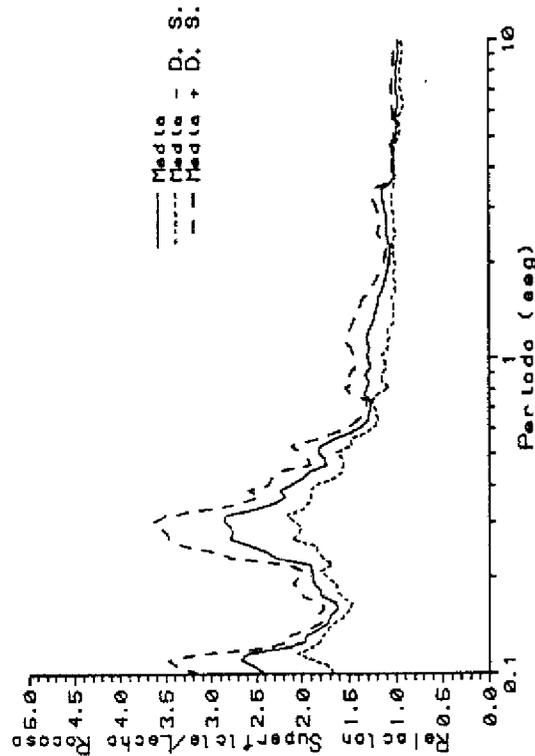


Figure 10(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio UVG-3H, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

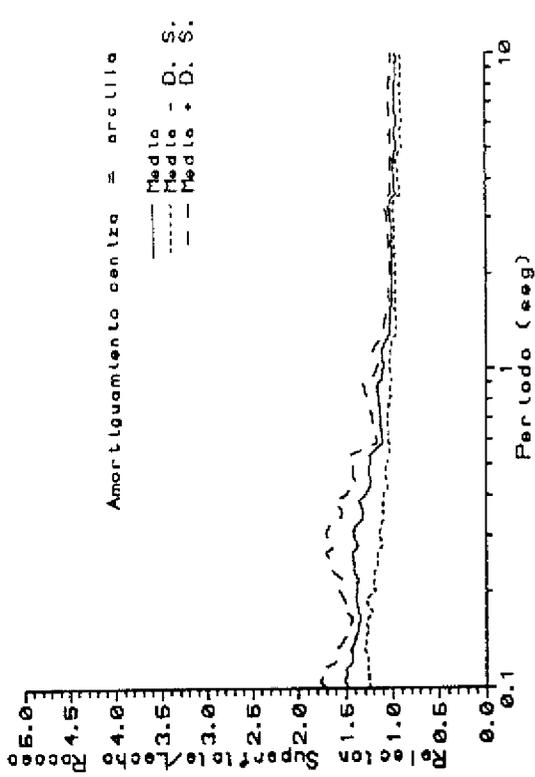


Figure 10(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-3H, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

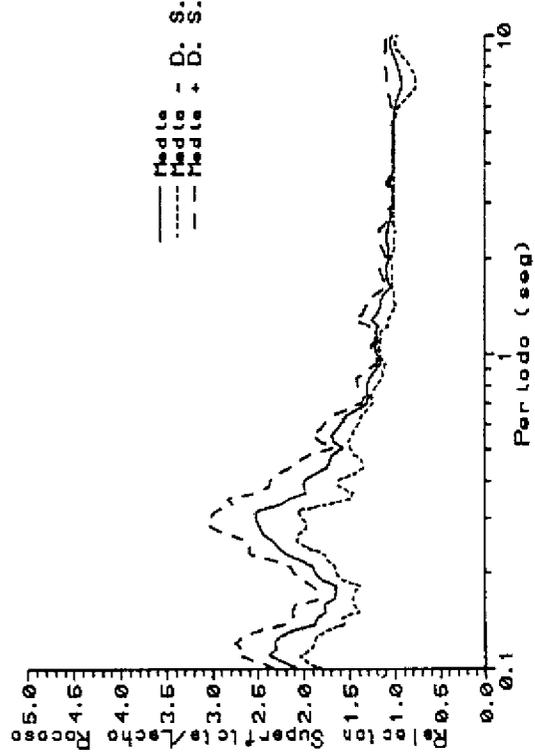


Figure 10(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio UVG-3H, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Mexico Papanoa, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

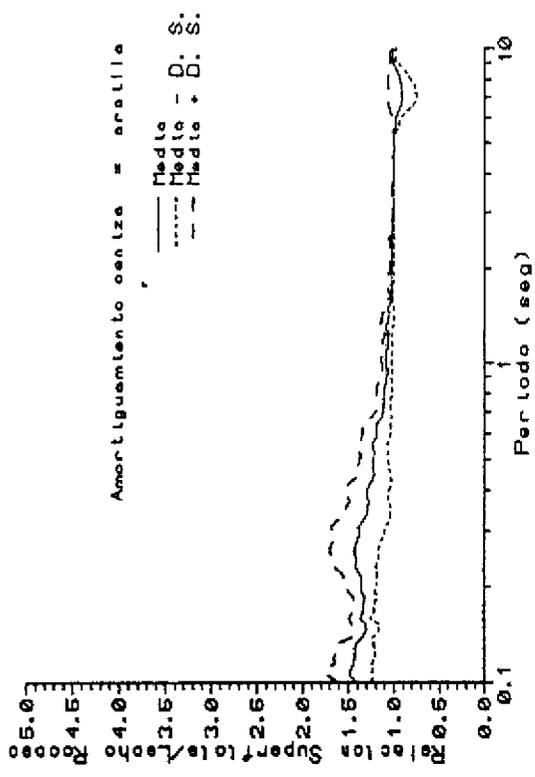


Figure 10(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UVG-3H, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Mexico Papanoa, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

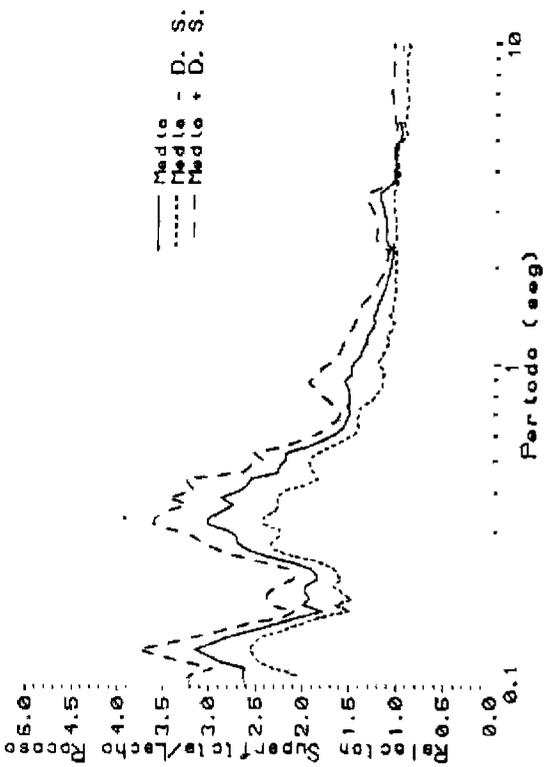


Figura 11(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio UMG-4H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Siemas: Japon, Mexico Atoyac

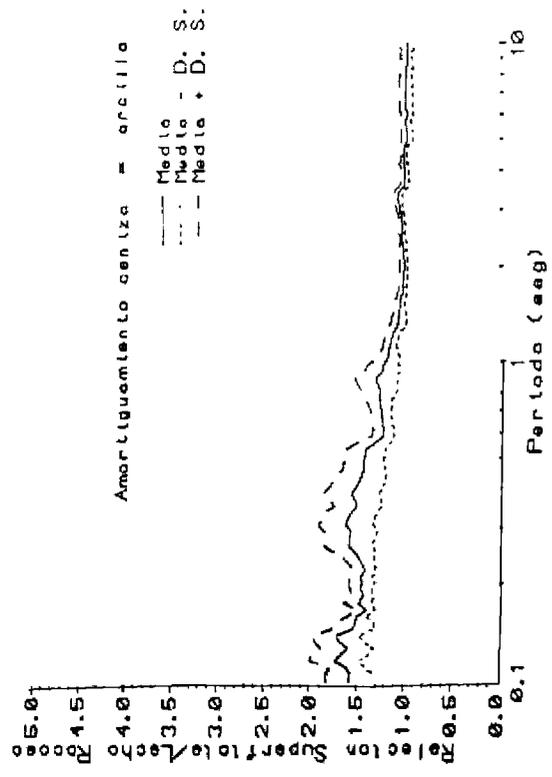


Figura 11(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UMG-4H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Siemas: Japon, Mexico Atoyac

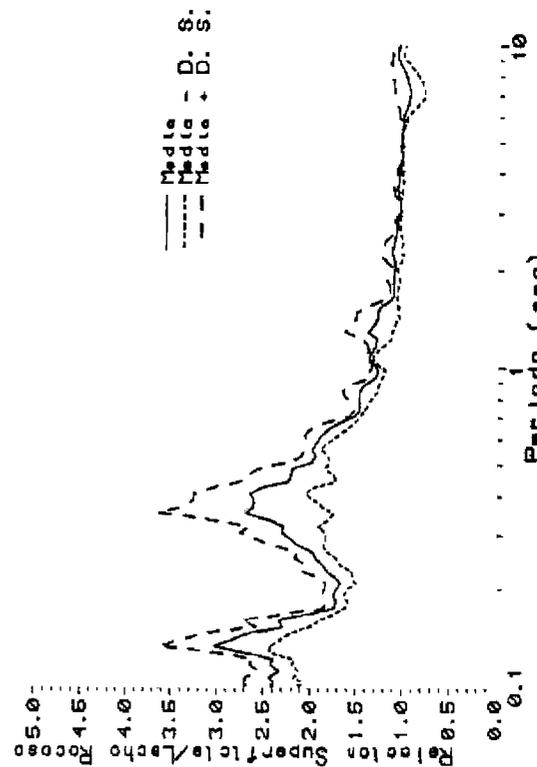


Figura 11(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UMG-4H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Siemas: Japon, Mexico Atoyac

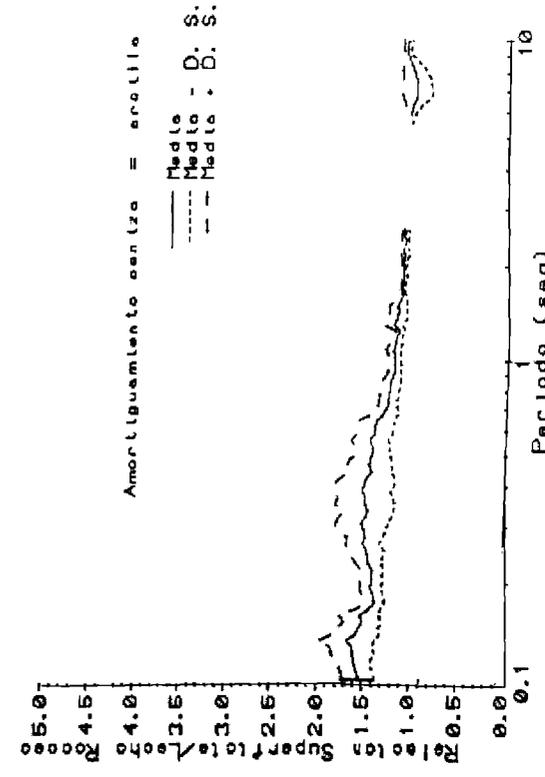


Figura 11(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-UMG-4H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Siemas: Japon, Mexico Atoyac

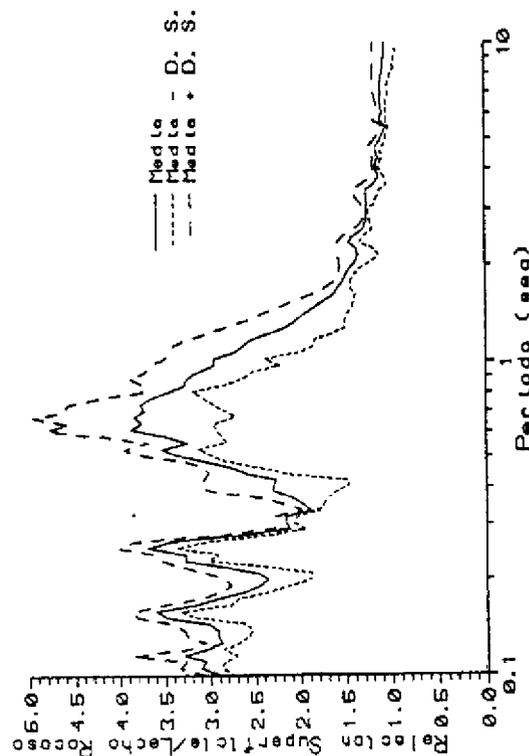


Figure 12(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-1 JULIO-1, 5% Amortig., Val. On de Corte roca 1200-2000. m/seg. Stemos: Japon, Mexico Atoyac

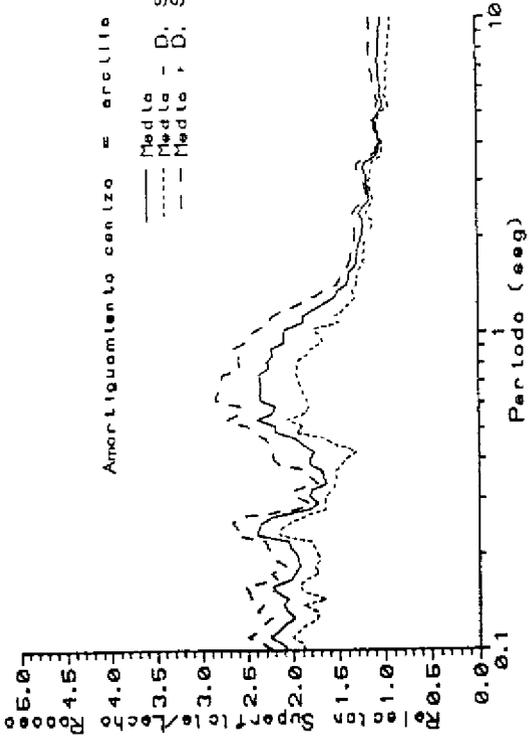


Figure 12(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-1 JULIO-1, 5% Amortig., Val. On de Corte roca 500-800. m/seg. Stemos: Japon, Mexico Atoyac

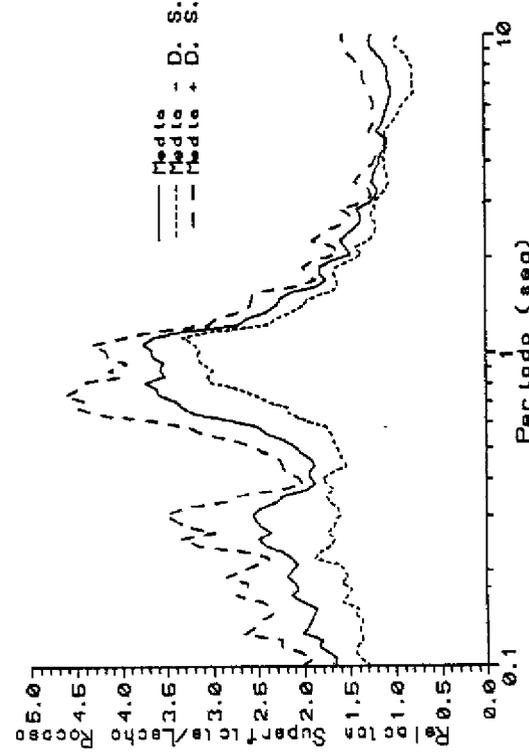


Figure 12(e) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-1 JULIO-1, 5% Amortig., Val. On de Corte roca 1200-2000. m/seg. Stemos: Mexico Papanoa, Costa Rica Cahli, Nicaragua Chthendege

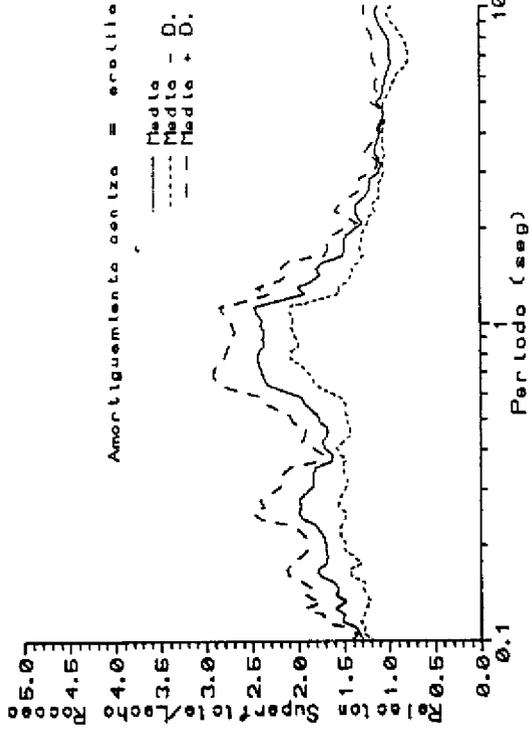


Figure 12(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio M-1 JULIO-1, 5% Amortig., Val. On de Corte roca 500-800. m/seg. Stemos: Mexico Papanoa, Costa Rica Cahli, Nicaragua Chthendege

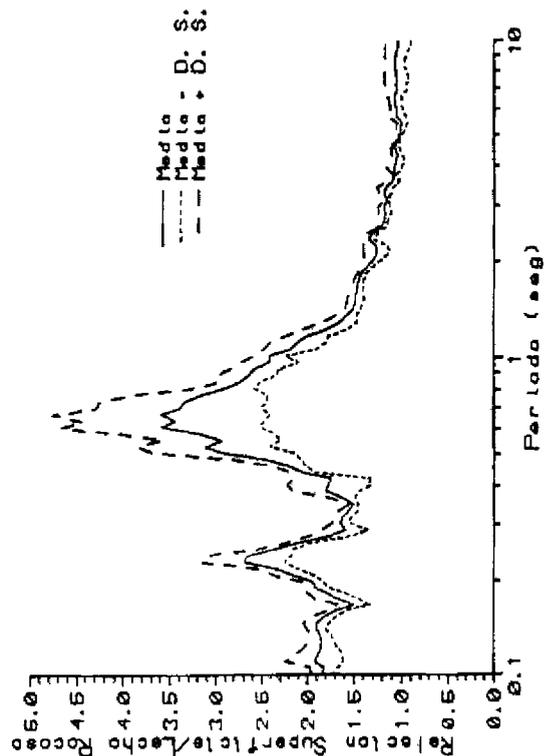


Figura 13(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Site H-1 JULIO-M1, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Japan, Mexico Atoyac

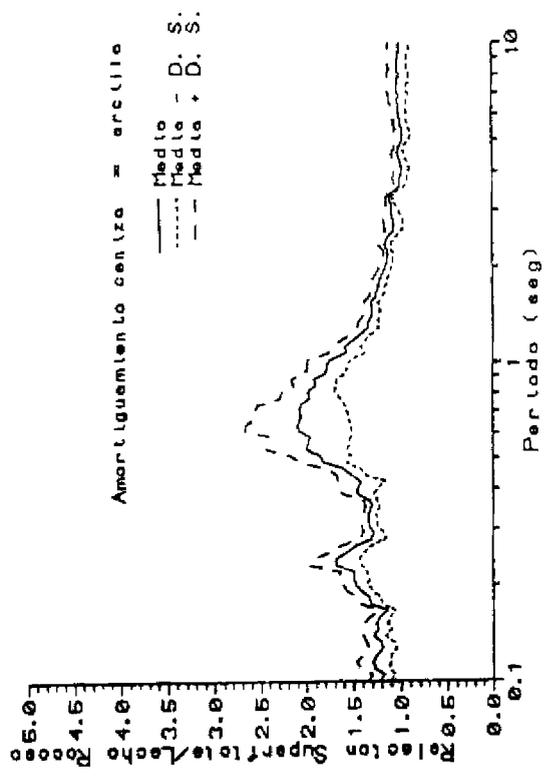


Figura 13(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Site H-1 JULIO-M1, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Japan, Mexico Atoyac

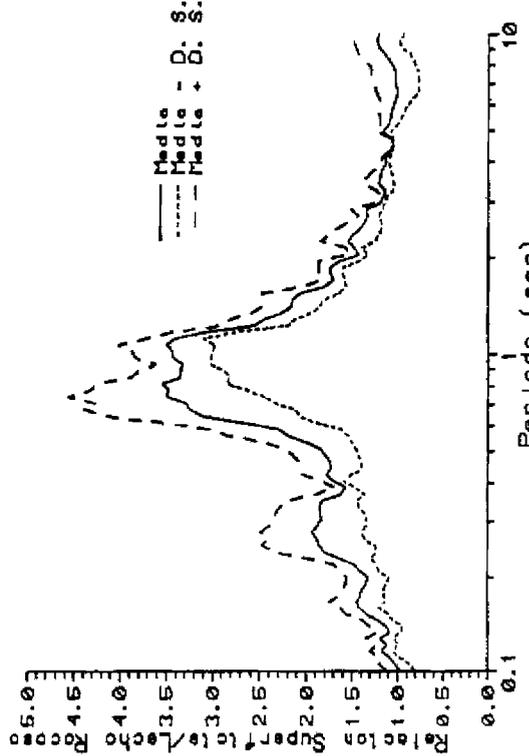


Figura 13(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Site H-1 JULIO-M1, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Mexico Papenoe, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

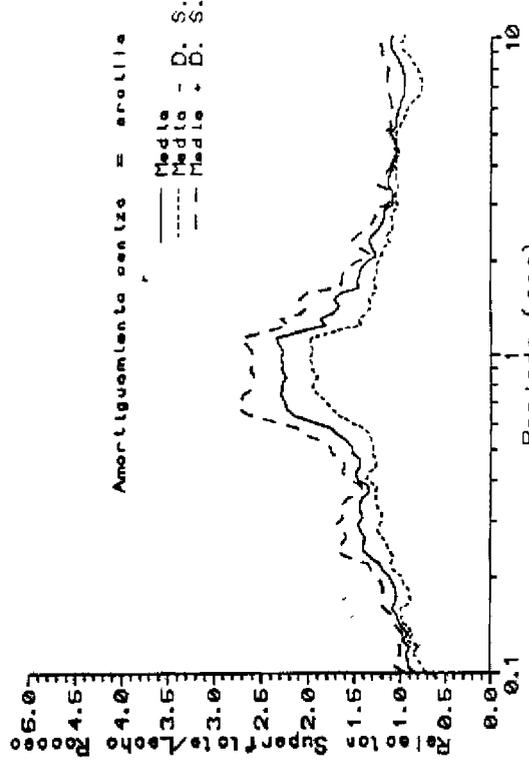


Figura 13(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Site H-1 JULIO-M1, 5% Amortig., Val. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Mexico Papenoe, Costa Rica Cahui, Nicaragua Chinandega

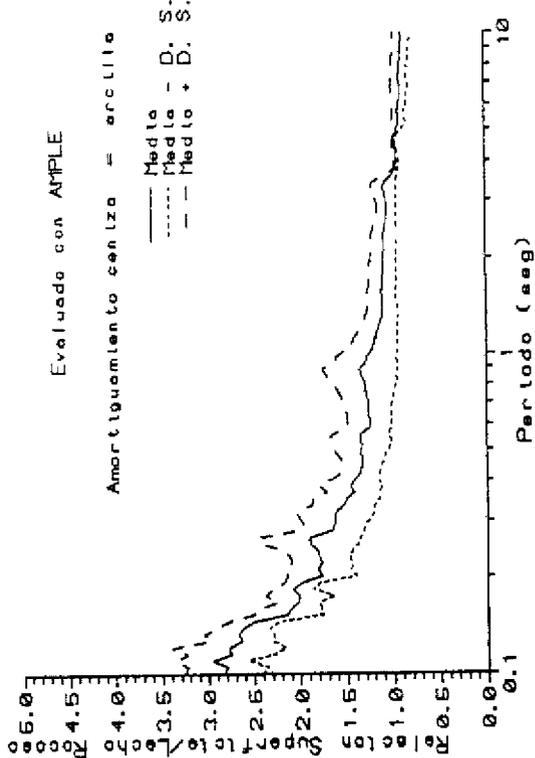


Figure 14(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio JOC-2H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

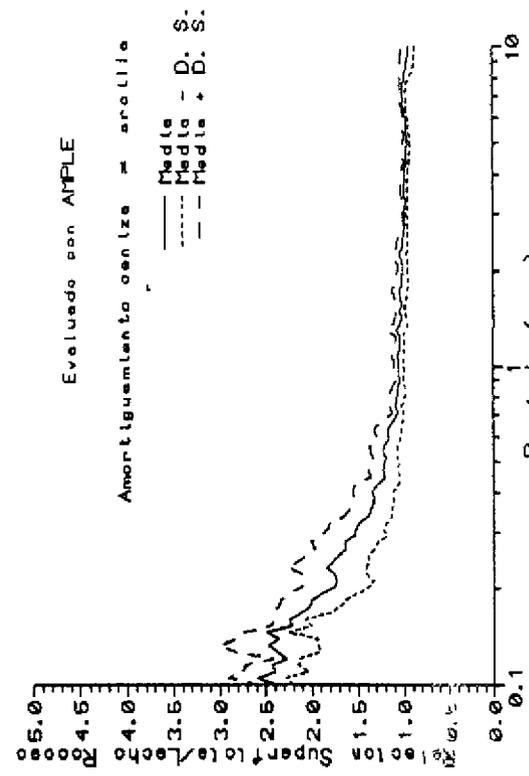


Figure 14(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio JOC-2H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Mexico Papenoo, Costa Rica Ceohi, Nicaragua Chinendega

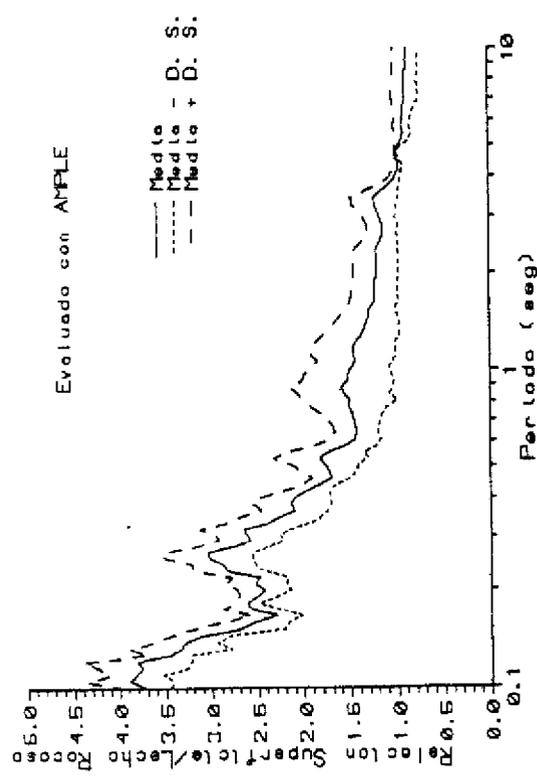


Figure 14(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio JOC-1H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

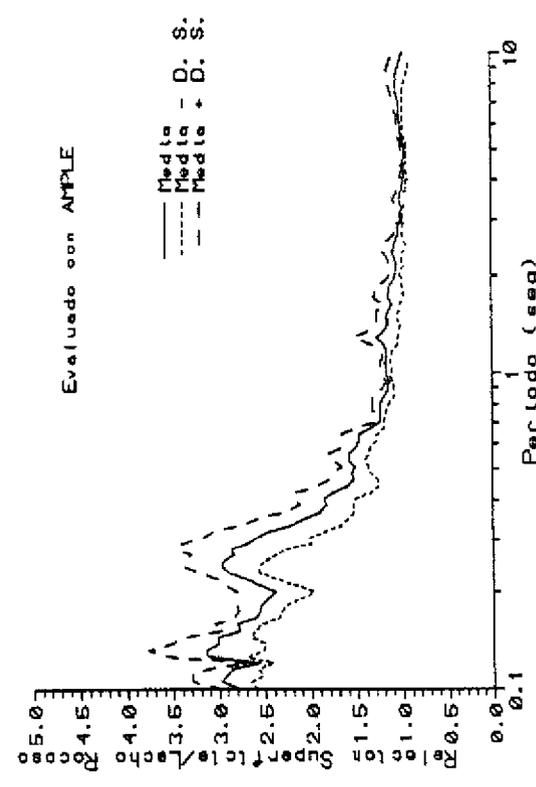


Figure 14(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio JOC-1H, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Mexico Papenoo, Costa Rica Ceohi, Nicaragua Chinendega

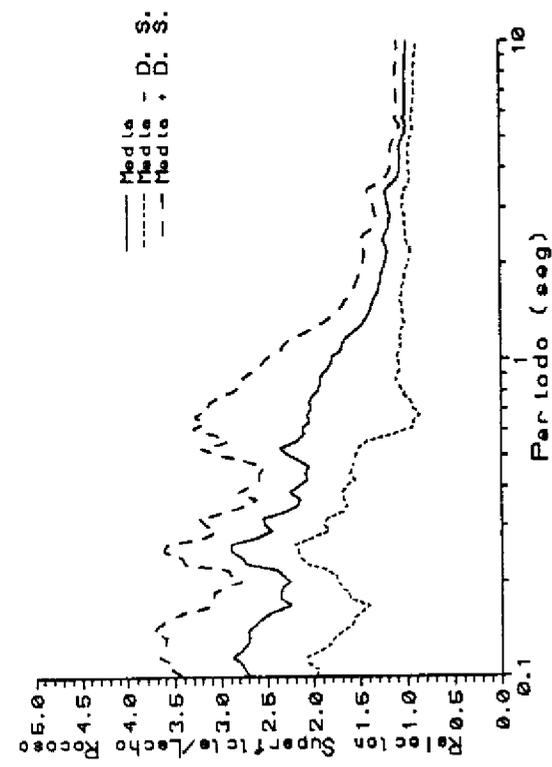


Figura 15(a) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio TODOS, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

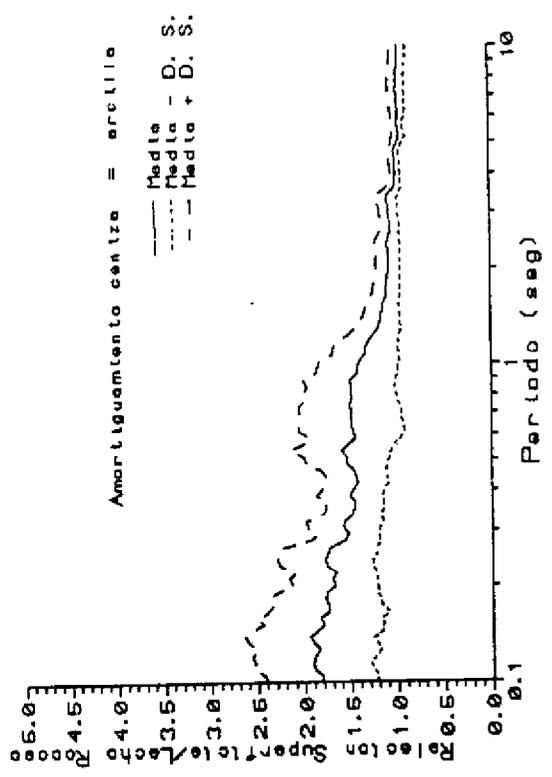


Figura 15(b) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio TODOS-M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Japon, Mexico Atoyac

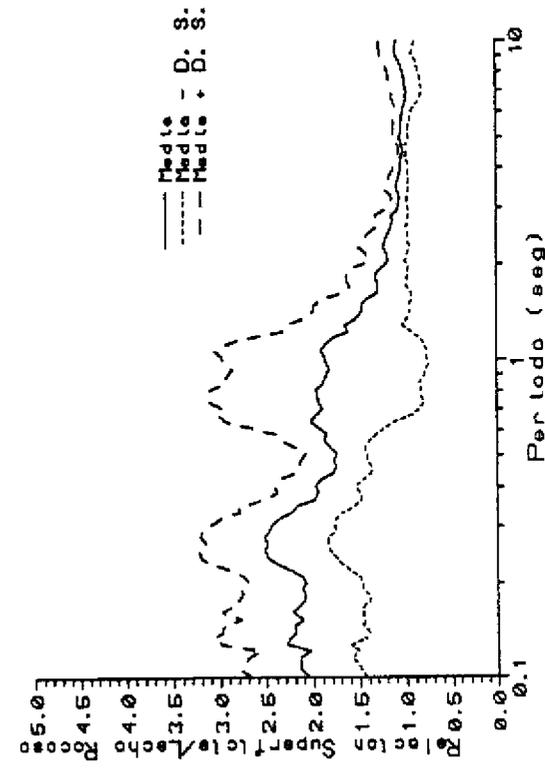


Figura 15(c) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio TODOS, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 1200-2000. m/seg. Sismos: Mexico Papanday, Costa Rica Cachi, Nicaragua Chinandega

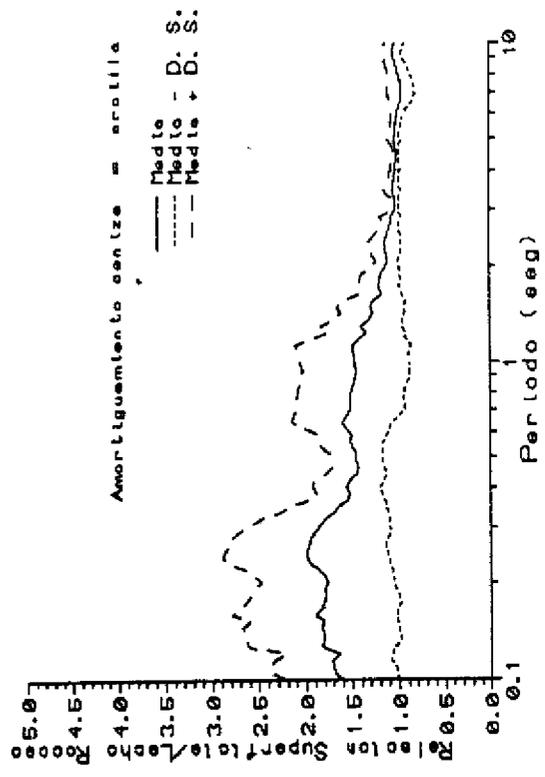


Figura 15(d) Espectro Pseudo-velocidad relativa Sitio TODOS-M, 5% Amortig., Vel. Onda Corte roca 500-800. m/seg. Sismos: Mexico Papanday, Costa Rica Cachi, Nicaragua Chinandega

SISTEMA MURO LISTO

(SINTESIS)

Josè R. Ortiz.

LCP Int. y Mezcladora S.A.

- 1- Importancia de la seguridad estructural en edificaciones para viviendas ante eventos sísmicos: caso del terremoto de Hanshin (Kobe) del 17 de enero, 1995, y del Terremoto de México
- 2- Experiencia con el sistema muro listo en el terremoto del 22 de abril de 1991, en Limón, Costa Rica.
- 3- Necesidad de implementar un código sísmico específico para la construcción de edificaciones para vivienda de uno y dos pisos para cada uno de los diferentes sistemas constructivos, breve exposición de la sección III, del código sísmico de Costa Rica 1986.
- 4- Comportamiento estructural del sistema muro listo
- 5- Breve reseña de los ensayos de laboratorio que se realizan con el sistema muro listo para dos pisos