

RESPUESTA SISMICA OBSERVADA EN TRES NIVELES DEL SUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Acosta Ch., José G., Huerta L., Carlos I., Mendoza G., Luis H.

Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada
Av. Espinoza # 843 Col. Obrera, Ensenada B.C., C.P. 22830

RESUMEN:

La respuesta sísmica observada en tres niveles del subsuelo de la Ciudad de México fue analizada mediante técnicas de análisis espectral. Las series de tiempo observadas corresponden a los registros de aceleración de sismos ocurridos en los meses de agosto de 1989 y mayo de 1990, en las costas mexicanas del océano pacífico. Se analizaron las características de las series de tiempo y sus espectros correspondientes. Además, se calcularon las funciones de transferencia para un modelo unidimensional del subsuelo y se compararon con las obtenidas a partir de los datos observados. El análisis de esta información evidencia, para la componente horizontal de la aceleración pico, que no existe gran diferencia entre los niveles de observación a 0 m y -40 m de profundidad. Respecto del contenido espectral, dos bandas bien diferenciadas muestran diferente contenido de energía: una se localiza a períodos menores de 1.0 s y otra a períodos mayores de 1.8 s. El período dominante característico de la zona del sitio PCC es del orden de 2.0 s, mismo que no se observa en el registro del nivel -40 m, al menos no predominantemente, mas si se hace evidente en el nivel de observación de -20 m.

INTRODUCCION:

El conocimiento acumulado sobre el efecto de los sismos en la Ciudad de México hasta antes de 1985, establece que las respuestas del movimiento del terreno en diferentes sitios del valle presentan claras diferencias en las amplitudes y en los períodos dominantes de las series de aceleración. Características que han permitido la clasificación de las diferentes zonas de la ciudad. Lo anterior, aunado a las condiciones locales del subsuelo (propiedades mecánicas) establece una estrecha relación entre las características de los movimientos sísmicos y las condiciones locales del subsuelo, ya que pueden provocar considerables amplificaciones de los desplazamientos en la superficie. En consecuencia es manifiesto que la factibilidad de establecer la relación respuesta sísmica-condiciones locales del subsuelo depende del conocimiento que se tenga de las propiedades mecánicas de las rocas que constituyen los estratos. La reciente capacitación de registros de aceleración a profundidad en el sitio PCC de la Ciudad de México, además de la información geotécnica compilada por FICA-CICSE, propicia las condiciones para analizar

la respuesta dinámica de suelos ante solicitaciones sísmicas.

INFORMACION GEOTECNICA:

Se dispone de 23 sondeos geotécnicos localizados dentro del valle de México, que cuentan con una descripción de las propiedades índice y mecánicas del subsuelo. Además, se cuenta con una información sobre la profundidad de la cima de la Capa Dura (CD) y los Depósitos Profundos (DP) en 726 puntos localizados principalmente en la porción central del valle. Esta información fue obtenida de la Fundación ICA. En la figura 1 se muestra la localización de los sondeos, los límites de las tres zonas en que el suelo de la cuenca de México ha sido dividido de acuerdo a sus características geotécnicas (Marsal y Mazari, 1959), y el modelo del perfil estratigráfico empleado en las pruebas de modelado de las funciones de transferencia.

INFORMACION SISMICA:

Se utilizaron los registros de aceleración capturados con los acelerómetros de pozo que la Fundación ICA tiene instalados en el sitio Puesto Central de Control (PCC) del Metro de la Ciudad de México. En el mapa de la figura 1 se muestra el sitio de registro PCC con un círculo relleno. Los acelerómetros se encuentran instalados a tres niveles del subsuelo: 40, 20 y 0 metros de profundidad; con tres componentes ortogonales en cada uno, Norte-Sur, Vertical y Este-Oeste, con 200 muestras por segundo por canal, frecuencia natural del sensor de 50 Hz, amortiguamiento de 0.7 y constante electrodinámica, de 1.25 Voltios/g (g = aceleración de la gravedad). Los acelerogramas empleados en este trabajo corresponden a tres sismos ocurridos en la trinchera Mesoamericana en los meses de agosto de 1989 y mayo de 1990, aproximadamente a 400 kilómetros de distancia del sitio de registro, figura 1. La tabla 1 contiene la información disponible sobre esos tres sismos. Asimismo, se utilizaron registros de ruido sísmico ambiental, con los acelerómetros en los tres niveles de observación en PCC.



METODOLOGIA:

Varios autores (Rosenblueth, 1952. Zeevaert, 1964. Herrera et al, 1965) han reconocido la gran importancia de los efectos de tipo unidimensional en la amplificación del movimiento sísmico del terreno. Para analizar los cambios que experimenta la señal sísmica durante su propagación por los estratos superficiales del valle de México, en este trabajo, en su primera fase, se empleó una técnica de modelado unidimensional.

En específico se utilizó el método lineal de Thomson-Haskell para la propagación de ondas, que consiste en obtener las matrices de propagación que involucran las propiedades elásticas de los estratos y relacionan los estados de esfuerzo y desplazamiento tanto en la base como en la cima de la capa. Este método, que ha sido utilizado por varios autores como E. Kausel y J. M. Roesset, 1981; E. Kausel y R. Peek, 1982, considera ondas del tipo SH, SV y P, para cualquier ángulo de incidencia.

Para el análisis de los acelerogramas registrados en PCC, las series de tiempo de las aceleraciones observadas en los tres niveles fueron sometidas al conjunto de procesos que conforman el paquete normal de procesamiento, desarrollado en CICESE para aplicarse en computadora personal (Acosta, 1990): edición, correcciones instrumentales, de línea base, tendencia parabólica, filtrado y cálculo de espectros de Fourier y de respuesta.

ANÁLISIS DE LAS SERIES DE TIEMPO:

Comportamiento de los picos de aceleración:

La figura 2 muestra las series de tiempo para los tres terremotos, en tres componentes y los tres niveles de observación, con sus amplitudes en cm/s^2 . La tabla 2 contiene los valores pico de la aceleración observada y corregida (cm/s^2), en las componentes N00E (columna MAX1), vertical (columna MAX2), N90E (columna MAX3), resultante horizontal (MAXR), el acimut al cual ocurre la máxima amplitud de la resultante horizontal (columna AMR), el máximo porcentaje de ocurrencia (columna MPO) del acimut a lo largo de la resultante (columna AMP); también contiene una medida de la potencia total integrada a partir de la resultante horizontal y pesada por un factor de 0.01 (columna J).

La observación más evidente a partir de la tabla 2 es el mayor nivel de amplitudes en la profundidad de -20 m, lo cual gráficamente también se puede apreciar en las gráficas de las series de tiempo de aceleración que se muestran en la figura 2. En éstas es posible apreciar como se distorsiona la forma de onda al pasar de un nivel a otro, tanto en el contenido de frecuencias como en amplitud. Ya desde esas figuras se observa el reforzamiento de las altas

frecuencias en el nivel de -20 m y la amplificación de las frecuencias bajas en superficie.

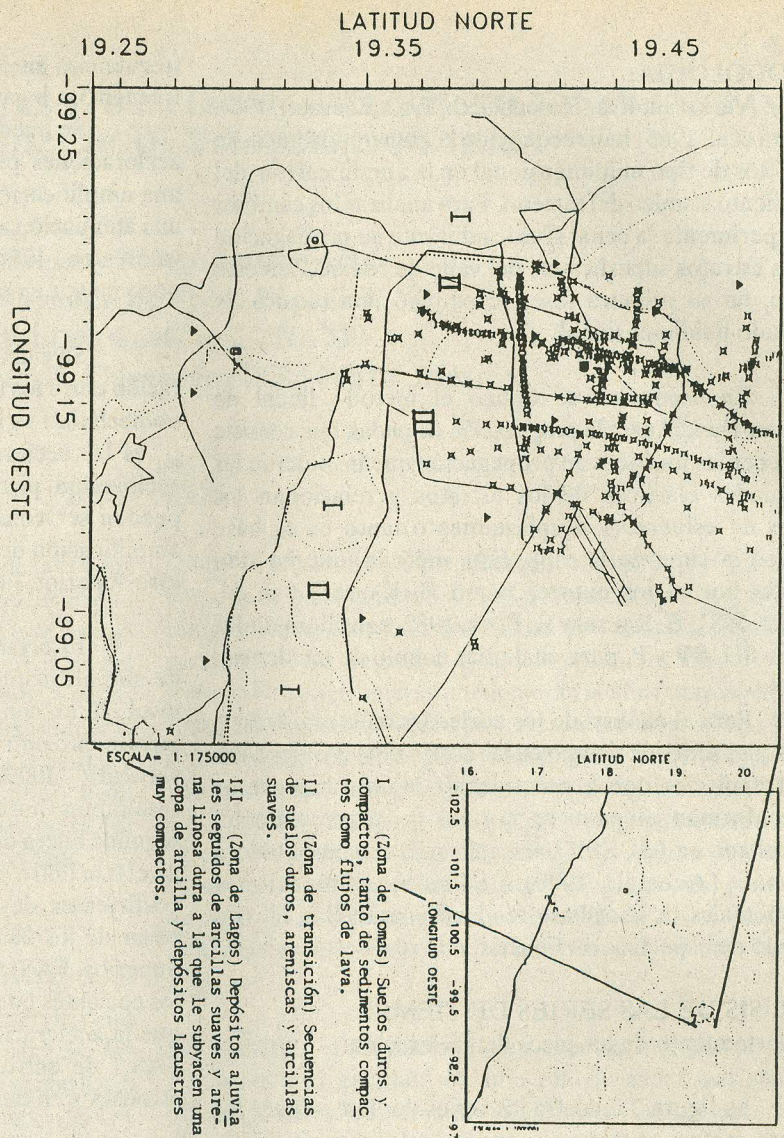
Se puede observar la interesante evolución de las aceleraciones pico en la resultante horizontal: primero una amplificación al pasar del nivel -40 m a -20 m; luego una atenuación al llegar a superficie. De tal manera que los valores en -40 m y superficie son semejantes (acaso un poco mayor en superficie).

Se calcularon los cocientes de los picos de aceleración entre los tres niveles y se presentan en la tabla 3. La nomenclatura se interpreta de la siguiente manera: $a_{0,1}/a_{40,1}$ es la aceleración pico del nivel 0, canal 1, entre la aceleración pico del nivel 40, canal 1. Esos cocientes pueden ser considerados como coeficientes globales de amplificación de la aceleración pico al pasar de un nivel a otro superior, independientes de la frecuencia.

Es notable en la tabla 3 que los mayores coeficientes de amplificación se presentan al pasar del nivel -40 m al nivel -20 m, con porcentajes de hasta el 400%. El mayor incremento entre los canales individuales se observa en el vertical (400%), aunque la razón de potencias de las resultantes horizontales es de ese mismo tamaño. La segunda hilera de la misma tabla contiene los cocientes del nivel 0 m entre el nivel -20 m, los cuales representan a los coeficientes de amplificación de la aceleración pico al pasar de los 20 m de profundidad (Formación Arcillosa Superior, FAS) a la superficie libre. Prácticamente todos los cocientes en esa línea son menores a 1.0, lo cual indica que la aceleración sufre una atenuación al abandonar la FAS (de entre el 200% al 500%), sufriendo la mayor atenuación en canal N00E y la potencia resultante horizontal).

El producto de los coeficientes a_{20}/a_{40} y a_0/a_{20} arroja el coeficiente total de amplificación para toda la columna sedimentaria entre -40 m y 0 m; valores que, por supuesto, son idénticamente obtenibles con los cocientes directos a_0/a_{40} , los cuales se encuentran anotados en la primera hilera de la tabla 3. En todos los casos la amplificación entre los niveles -40 m y -20 m fué totalmente eliminada por la atenuación entre -20 y 0, para resultar en pequeños incrementos o decrementos en la aceleración. La mayor amplificación en superficie se observa en el canal vertical; las componentes horizontales y su resultante quedaron sólo marginalmente amplificadas.

Análisis espectral. La figura 3 corresponde a los espectros de Fourier de los eventos 120889, 110590 y 310590, que se han graficado con el objeto de analizar el comportamiento de los valores máximos de la amplitud espectral (dominante), dentro de la banda de períodos de 0.5 a 4.0 s (de interés en ingeniería sísmica) correspondientes a los niveles de observación (N.O.): 0, -20 y -40 m en sus tres componentes. Se observa que la característica general más



Modelo de subsuelo típico del sitio PCC.

Formación	Parámetros iniciales				Parámetros estimados			
	H m	Vs m/s	ρ ton/m ³	β mm/m	Vs m/s	ρ ton/m ³	β mm/m	
MS	4.15	62	0.1429	0.03	90	0.1429	0.02	
FAS	28.25	66	0.1276	0.03	70	0.1276	0.05	
CD	3.10	108	0.1276	0.01	150	0.1276	0.02	
FAI	10.5	80	0.1447	0.02	80	0.1447	0.04	
DP	-6.0	130	0.1800	0.01	300	0.1800	0.07	

a) Modelo Inicial.

b) Modelo Final.

Perfil estratigráfico usado en el modelado de la respuesta sísmica. Se indican los niveles de observación 0, -20 y -40 m. Los parámetros iniciales fueron obtenidos de diversas fuentes bibliográficas. Los parámetros estimados son los que mostraron ser más consistentes con los datos observados. MS: Manto Superficial. FAS: Formación Arcu-llosa Superior. CD: Capa Dura. FAI: Formación Arcu-llosa Inferior. DP: Depósitos Profundos.

Figura 1.- Localización de sitios con información geotécnica y modelos del perfil estratigráfico típico del subsuelo en el sitio PCC.

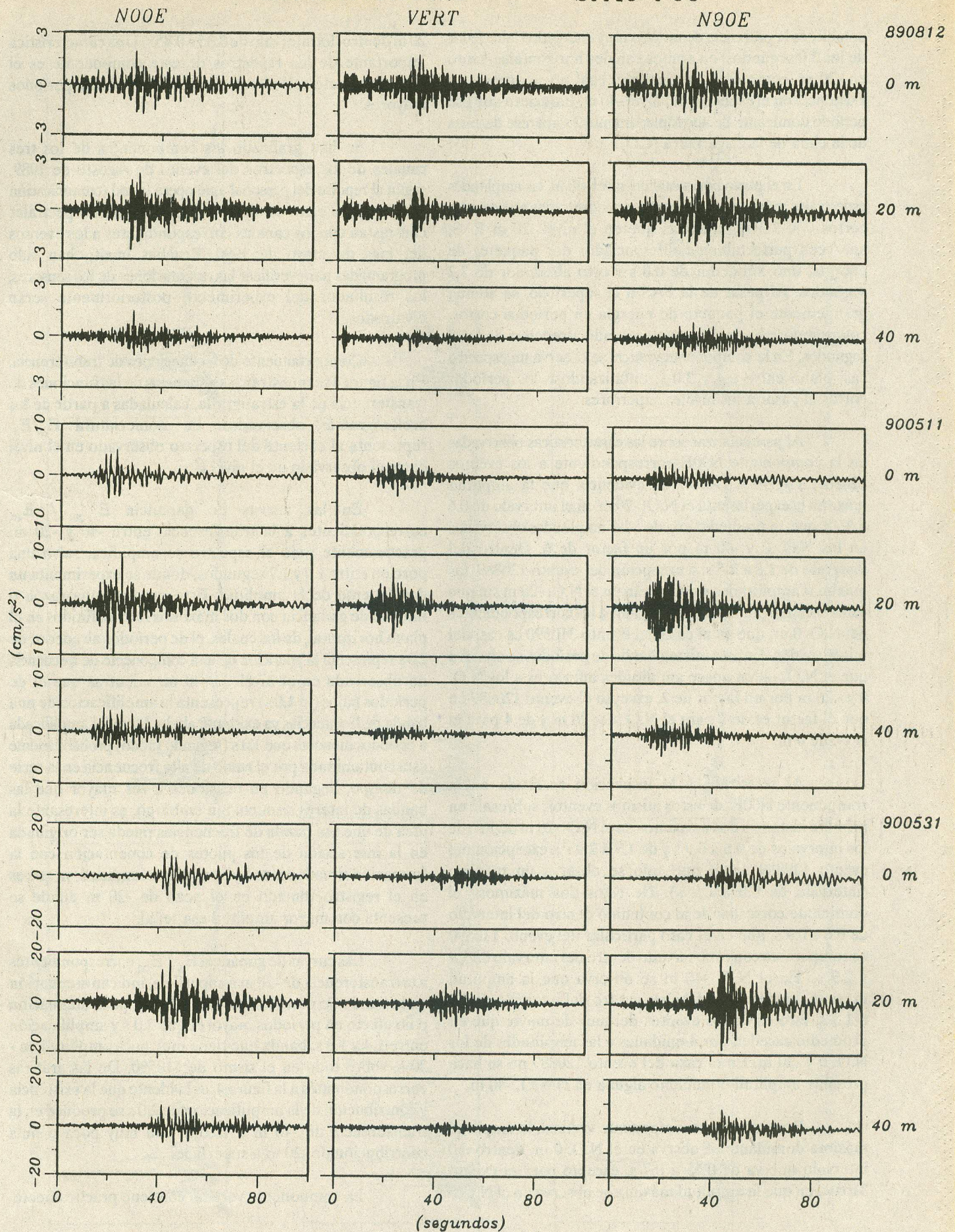


Figura 2.- Series de tiempo de los eventos 890812, 900511 y 900531 registrados en PCC a 0, 20 y 40 m. de profundidad.

notable, es la presencia de un pico muy energético alrededor de los 2.0 segundos, en ambos canales horizontales, tanto en -20 m. como en superficie, del cual no se aprecia su existencia en el espectro del nivel -40 m. Pareciera que ese período dominante de aproximadamente 2 s aparece después de la cima de la Capa Dura (CD).

En el plano horizontal del nivel -40 m, las amplitudes espectrales máximas se encuentran concentradas en períodos cortos (< 1.5 s), mientras que en el nivel -20 m FAS, aparecen perfectamente diferenciados dos paquetes de energía, uno alrededor de 0.8 s y otro alrededor de 2.2 segundos. Al pasar de la FAS a la superficie, se atenúa grandemente el paquete de energía en períodos cortos, colapsándose hacia el paquete situado alrededor de los 2 segundos. En la componente vertical se observa un espectro casi plano entre 0.4 y 3.0 s, enfatizándose los períodos cortos al pasar a los niveles superiores.

Al particularizar sobre las características observadas en la componente N90E correspondiente a los eventos 120889, 110590 y 310590, se evidencia que la amplitud máxima la experimenta el N.O. -20 m en el intervalo de 0.6 a 0.9 s, que en promedio excede a las amplitudes observadas en los N.O. 0 y -40 m por un factor de 6. Dentro del intervalo de 1.8 a 2.5 s, a excepción del evento 120889, las máximas amplitudes se observan en el N.O. -20 m sin que estas excedan por más de 5 unidades a las correspondientes del N.O. 0 m, que en el caso del evento 310590 es casi del mismo orden. En esta misma banda de períodos se observa que el N.O. -40 m posee amplitudes inferiores a los N.O. 0 y -20 m por un factor de 2, excepto el evento 120889 en que el factor es de 2 para el N.O. de -20 m y de 4 para el N.O. de 0 m.

Al referirnos a la inspección realizada en la componente N00E, de estos mismos eventos, sobresale en primera instancia dos máximos en el N.O. -20 m dentro de los intervalos de 0.6 a 0.9 s y de 1.9 a 2.9 s a excepción del evento 120889 en el que solo se observa un máximo (intervalo de 0.6 a 0.9 s). De estos dos máximos el dominante corresponde al contenido dentro del intervalo de 0.6 a 0.9 s, que en el caso particular del evento 110590 es comparable con el observado dentro del intervalo de 1.9 a 2.9 s. En el N.O. -40 m se observa que la amplitud máxima dominante se localiza dentro del intervalo de 1.3 a 1.5 s, esto es en los eventos del mes de mayo, que en promedio exceden por 4 unidades a las amplitudes de los N.O. 0 y -20 m. En el caso del evento 120889 no se hace presente amplitud dominante alguna en el N.O. -40 m.

Respecto de la componente vertical, la amplitud máxima dominante se observa en el N.O. 0 m, dentro del intervalo que va de 0.45 a 0.7 s, excepto para el evento 310590 en que la amplitud máxima se observa en el N.O. -

20 m dentro del intervalo de 0.35 a 0.45 s. Una característica importante de los espectros de esta componente es el comportamiento casi plano a partir de 0.9 s hacia períodos mayores.

Se han graficado las componentes de los tres canales de los espectros del evento de Agosto de 1989, según el reporte del personal que opera la red (comunicación personal), en estos se observa que las formas espectrales contrastan con los canales correspondientes a los eventos del mes de mayo de 1990. Pruebas in-situ han sido programadas para verificar las orientaciones de los sensores, los resultados del experimento posteriormente serán divulgados.

Comportamiento de las funciones de transferencia.
En la figura 4 se muestran las ganancias de las funciones de transferencia de la estratigrafía, calculadas a partir de los acelerogramas observados. La nomenclatura E_{α}/E_{β} representa al cociente del espectro observado en el nivel α entre el observado en el nivel β .

En las curvas de ganancia E_{20}/E_{40} , correspondientes a la transferencia entre -40 y -20 m, prácticamente todo el espectro se amplifica, salvo una porción entre 1.0 y 1.7 segundos, donde se experimenta un decaimiento de la amplitud. Esto produce una razón o función de ganancia con dos máximos muy definidos en el plano horizontal, de los cuales, el de períodos alrededor de 2.0 s representa la aparición de una componente de frecuencia no observada en el nivel de -40 m, mientras que el de períodos bajos (< 1.0 s) representa la amplificación de una banda de frecuencias ya existente abajo. La señal amplificada a períodos menores que 1.0 s (segundo modo) probablemente está contaminada por el ruido de alta frecuencia en la serie de tiempo, llegando en ocasiones a ser mayor que las bandas de interés sísmico. Sin embargo, es interesante la idea de que esa banda de frecuencias pueda ser originada en la interacción de los pilotes de cimentación con la formación situada entre 5 y 30 m de profundidad, ya que es en el registro tomado en el pozo de -20 m donde se presenta con mayor amplitud esa señal.

Las curvas de ganancia E_0/E_{20} , correspondientes a la transferencia de -20 m a superficie, indican atenuación en la banda de períodos cortos (< 1.0 s), poca atenuación o no efecto en períodos mayores que 2.0 s y amplificación entre 1.4 y 1.8 s, banda que tiene muy poca amplitud en -20 m, sobre todo en el sismo de 110590. De las gráficas correspondientes a la figura 4, es evidente que la existencia y contribución de la amplificación de 2.0 s se produce en la transferencia de -40 m a -20 m, con muy poca o nula contribución de -20 m a superficie.

La componente vertical contiene prácticamente

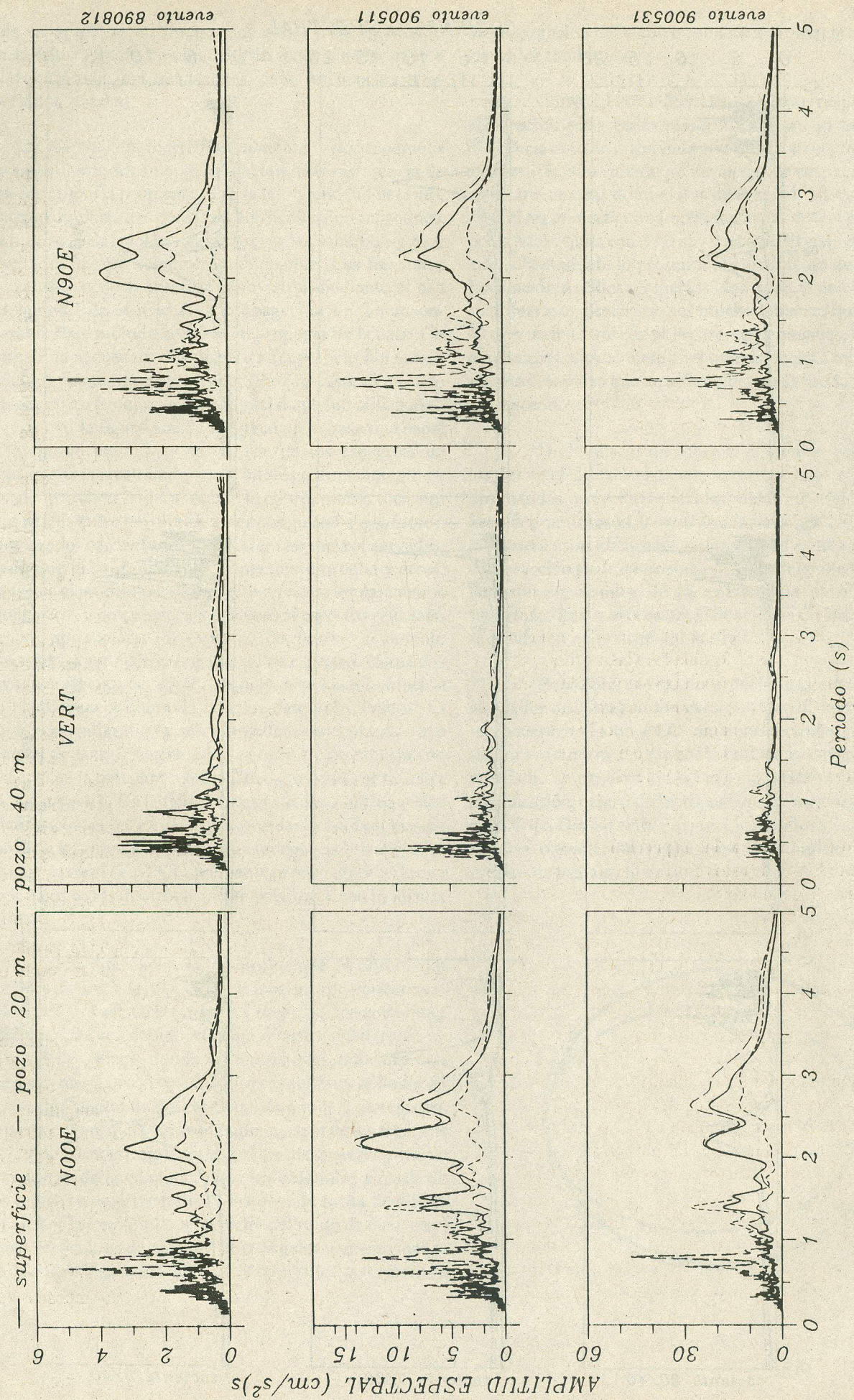


Figura 3.- Espectros de Fourier de aceleración en tres componentes ortogonales y tres niveles de observación

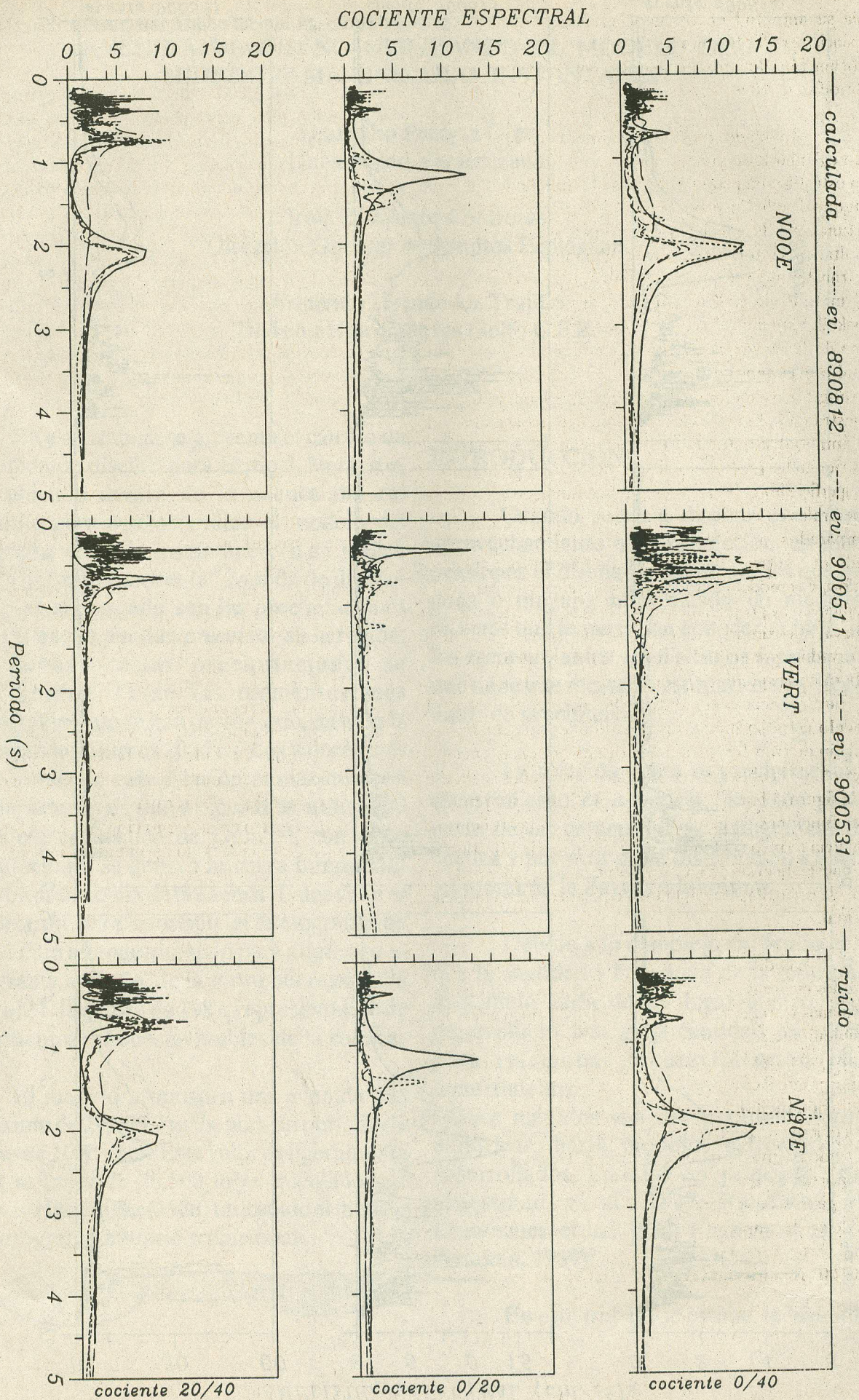


Figura 4. - Ganancia de las funciones de transferencia observadas y calculadas en tres niveles de observacion.

toda su amplitud en frecuencias altas, y sus curvas de ganancia para los tres niveles también contienen únicamente información de amplificaciones para frecuencias altas (períodos < 1.0 s).

Modelado. Existen actualmente varios esquemas para calcular teóricamente la función de transferencia de una estratigrafía propuesta. Por la complejidad del sitio, ninguno de ellos ha probado ser 100% eficaz en reproducir las funciones de transferencia observadas, aunque algunos resultados se aproximan aceptablemente. Las funciones de transferencia teóricas se obtuvieron mediante el uso del método de matrices de propagación de Thomson-Haskell. Este método consiste en propagar de la base a la cima de la secuencia estratigráfica (superficie libre) una señal previamente especificada. En este caso, el modelo estratigráfico (unidimensional) inicial que fué utilizado se muestra en la figura 1.a. Se le aplicó en la base una señal de amplitud unitaria, y se obtuvieron los espectros de Fourier en las profundidades de interés o directamente en la superficie libre. Posteriormente se obtuvieron los cocientes espectrales entre los niveles deseados, mismos que fueron comparados con las funciones de transferencia observadas. Dado que el procedimiento es mediante prueba y error, conforme el modelo estratigráfico se refine en los parámetros geométricos y propiedades mecánicas el espectro calculado deberá aproximarse al espectro de Fourier realmente observado, y por ende el cociente de los espectros calculados deberá corresponder en forma más apegada a la función de transferencia obtenida con los datos observados. El modelo estratigráfico y sus propiedades mecánicas, cuya función de transferencia muestra mayor consistencia con respecto de la obtenida con los datos observados se muestra en la figura 1.b. En la figura 4, se graficaron sobrepuestas a las funciones de ganancia observadas, y las funciones de ganancia teóricas obtenidas para la secuencia estratigráfica propuesta en el sitio PCC, mediante la propagación de una onda de corte SH, horizontalmente polarizada, con incidencia normal.

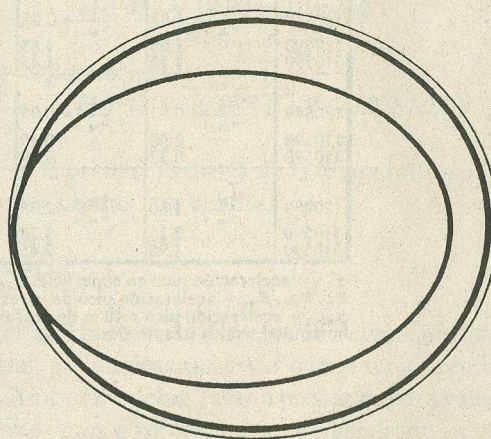
Las diferencias más notorias que se observan a períodos menores de 0.7 s, entre las funciones de transferencia calculadas y observadas (eventos y ruido sísmico ambiental) posiblemente sea debido a la baja relación señal/ruido en el nivel de -40 m, donde las amplitudes máximas son menores que 9 cm/s^2 , apenas 20 veces superior al límite de resolución digital de 0.5 cm/s^2 de los equipos de registro. Los cocientes espectrales obtenidos a partir de los registros de ruido sísmico ambiental en los tres niveles, no se comportan de igual manera que los obtenidos a partir de los registros de terremotos. Una posible causa de ello lo puede ser la amplitud tan pequeña del ruido, la cual, en el canal vertical, es de máximo de 0.04 gales y sensibilidades de 0.0003 para ganancia de 100. Por otra parte, las trayectorias

de propagación del ruido no son necesariamente iguales a las de los temblores.

CONCLUSIONES: Por lo que respecta a la aceleración pico, en el plano horizontal no existe gran diferencia entre lo observado en el nivel -40 m y lo que llega a superficie, aún cuando pudieran existir desplazamientos en las frecuencias dominantes de la señal. El movimiento vertical experimenta una amplificación del 85% al propagarse por la estratigrafía entre -40 m y 0 metros. El comportamiento más sobresaliente lo presenta el movimiento dentro de la Formación Arcillosa Superior, donde en el nivel de -20 m se observaron aceleraciones mucho mayores que abajo (-40 m) y arriba (0 m) de él. Aparentemente pues, los pilotes o estructuras situadas a ese nivel experimentarán solicitaciones sísmicas mayores que aquellas situadas sobre la superficie del terreno.

De la discusión sobre el contenido espectral de los tres niveles de observación, se resume que: se presentan dos bandas muy diferenciadas de información: una a períodos menores a 1.0 s y otra a mayores que 1.8 segundos. La primera asociada posiblemente a ruido de alta frecuencia o interacción suelo-cimentaciones, y la segunda asociada a la respuesta sísmica de la estratigrafía entre -40 m y superficie. Las mayores amplificaciones en los espectros se producen en el nivel -20 metros.

Pareciera concluyente decir que el período de alrededor de 2.0 segundos, característico de la zona donde se encuentra el sitio PCC, no viene incluido en la señal sísmica que entra al valle por la base de la estratigrafía (al menos no se observa en -40 m), sino que se genera, por amplificación, dentro de las capas superficiales, seguramente en la Capa Dura o en la Formación Arcillosa Superior; sin que las observaciones solas puedan indicar el origen preciso de esa amplificación.



Acosta J. G. (1990). Procesamiento estandar de acelerogramas. Manual de aplicación del paquete de procesamiento, CICESE (Versión 5.0)

Herrera I. E. Rosenblueth y O. Rascon (1965). Earthquake spectrum prediction for the valley of México, Proc. Third World Conference on Earthquake Engineering, 64-74. Auckland and Wellington, New Zeland.

Sel. E. and J. M. Roesset (1981). Stiffness matrices for layered soils, Bull. Seism. Soc. Am. 71, No.6, 1743-17

Kausel E., and R. Peek (1982). Dynamic loads in the interior of a layered stratum: An explicit solution, Bull. Seism.Soc. Am. 72, No. 5,1459-1481.

Marsal R. J. y M. Mazari (1959). El subsuelo de la Ciudad de México, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Rosenblueth E. (1952). Teoría del diseño sísmico sobre mantos blandos. Ediciones ICA, Serie B, 14. México.

Zeevaert L. (1964). Strong ground motions recorded during earthquakes of May the 11th and 19th, 1962 in México city, Bull. Seism. Soc. Am. 54, 209-231.

.....

Tabla 1.- Datos hipocentrales de los terremotos analizados.					
Fecha/Hora	latitud N	longitud O	profundidad	magnitud	número
* 120889/ 15:31:49.2	18.28	100.97	68.5 km	@ 4.7 Ms	005
* 110590/ 23:43:50.4	17.28	100.67	28.0 Km	5.3 Mb	006
310590/ 13:35:00	17.15	100.85	34.0 Km	5.5	007

*: US Department of the Interior Geological Survey Earthquake Data Report. @: Reporta Pasadena CA.

Tabla 2.- Valores pico de la aceleración corregida.									
NIVEL	MAX1	MAX2	MAX3	MAXR	AMP	MPO	AMP	J max	
120889									
0	2.8	1.8	1.6	2.2	136	5.69	272	3.14	
-20	2.4	1.9	2.0	2.6	158	3.08	357	5.99	
-40	1.5	0.8	1.0	1.6	328	2.19	112	1.27	
110590									
0	5.0	3.7	2.8	5.0	354	3.73	2	17.27	
-20	9.9	7.5	9.8	10.8	153	2.19	232	69.16	
-40	4.6	2.0	4.0	4.6	354	3.44	182	20.81	
310590									
0	9.7	5.5	7.3	9.8	187	2.83	92	69.04	
-20	16.9	9.3	20.0	20.5	103	2.07	87	328.80	
-40	8.6	3.8	7.9	10.4	40	2.20	137	88.09	

Tabla 3.- Cocientes de aceleraciones máximas					
Evento	canal 1	canal 2	canal 3	resultante horizontal	potencia horizontal
120889	$\frac{a_{0.1}}{a_{20.1}} = 1.33$	$\frac{a_{0.2}}{a_{20.2}} = 2.25$	$\frac{a_{0.3}}{a_{20.3}} = 1.60$	$\frac{R_{0.1}}{R_{20.1}} = 1.38$	$\frac{E_{0.1}}{E_{20.1}} = 2.38$
110590	$\frac{a_{0.1}}{a_{20.1}} = 1.09$	$\frac{a_{0.2}}{a_{20.2}} = 1.85$	$\frac{a_{0.3}}{a_{20.3}} = 0.70$	$\frac{R_{0.1}}{R_{20.1}} = 1.09$	$\frac{E_{0.1}}{E_{20.1}} = 0.83$
310590	$\frac{a_{0.1}}{a_{20.1}} = 1.13$	$\frac{a_{0.2}}{a_{20.2}} = 1.45$	$\frac{a_{0.3}}{a_{20.3}} = 0.95$	$\frac{R_{0.1}}{R_{20.1}} = 0.94$	$\frac{E_{0.1}}{E_{20.1}} = 0.78$
120889	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 0.83$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 0.95$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 0.80$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 0.85$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 0.52$
110590	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 0.50$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 0.49$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 0.29$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 0.47$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 0.25$
310590	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 0.37$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 0.59$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 0.38$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 0.48$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 0.21$
120889	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 1.60$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 2.38$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 2.00$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 1.62$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 4.62$
110590	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 2.15$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 3.78$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 2.45$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 2.33$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 3.33$
310590	$\frac{a_{0.1}}{a_{40.1}} = 1.96$	$\frac{a_{0.2}}{a_{40.2}} = 2.45$	$\frac{a_{0.3}}{a_{40.3}} = 2.53$	$\frac{R_{0.1}}{R_{40.1}} = 1.97$	$\frac{E_{0.1}}{E_{40.1}} = 3.73$

$a_{0.1}$ = aceleración pico en superficie. $a_{20.1}$ = aceleración pico a 20 m de profundidad.
 $R_{0.1}$, $R_{20.1}$, $R_{40.1}$ = aceleración pico de la resultante horizontal en los tres niveles.
 $E_{0.1}$ = aceleración pico a 40 m de profundidad. $E_{0.1}$, $E_{20.1}$, $E_{40.1}$ = potencia de la resultante horizontal, en los tres niveles.