

ANALISIS PRELIMINAR DE LOS ACELEROGRAMAS DE POZO OBTENIDOS EL 31 DE MAYO
DE 1990 EN LA CIUDAD DE MEXICO

Mario Ordaz S., Miguel A. Santoyo, Shri K. Singh y Roberto Quaas

INDICE

1. INTRODUCCION.....	2
2. ESTACIONES DE REGISTRO Y DATOS OBTENIDOS.....	2
3. PROCEDIMIENTO DE ANALISIS.....	4
4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	4
4.1 RESULTADOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....	5
4.2 RESULTADOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.....	6
4.3 RESULTADOS EN EL DOMINIO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA....	7
5. DISCUSION DE RESULTADOS.....	7
6. CONCLUSIONES.....	9
7. TABLAS.....	11
8. REFERENCIAS.....	16
9. FIGURAS.....	17

ANALISIS PRELIMINAR DE LOS ACELEROGRAMAS DE POZO OBTENIDOS EL 31 DE MAYO DE 1990 EN LA CIUDAD DE MEXICO

Mario Ordaz S., Miguel A. Santoyo, Shri K. Singh y Roberto Quaas

1. INTRODUCCION

A partir de 1985 se han instalado en la ciudad de México cerca de 100 acelerógrafos, que junto con los que ya operaba el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. antes de esa fecha, forman la red acelerográfica del Valle de México. Esta red esta operada por tres instituciones, ademas del I. de I.: la Fundación Javier Barros Sierra, la Fundación ICA y el CENAPRED.

Los sensores de la red están en su gran mayoría localizados en la superficie del terreno. Existen también algunas estaciones en que se dispone de sensores de tres componentes situados tanto en la superficie como a diversas profundidades. En este trabajo se analizan los registros obtenidos en las estaciones de este tipo operadas por el CENAPRED, durante el temblor del 31 de mayo de 1990 ($M_w=5.9$, $M_s=5.8$), ocurrido frente a las costas de Guerrero cerca del poblado de Tecpan de Galeana (Informe R.S.P.-1, C. Investigación, CENAPRED).

2. ESTACIONES DE REGISTRO Y DATOS OBTENIDOS

La ubicación de las estaciones de registro estudiadas se presenta en la figura 1. La estación Tlacotal marcada con el número 7, consta de 3 sensores ubicados a 0, 30, y 86 metros de profundidad; la estación número 6, Coyoacán, tiene 3 sensores ubicados a 0, 12 y 70 metros de profundidad; la estación Roma-C, numero 12, tiene 3 sensores a 0, 30 y 102 m de profundidad; este último es el mas profundo de la red del CENAPRED. La estación Unidad Kennedy, con el número 9, tiene 2 sensores, uno a 0m y el otro a 30m de profundidad. En la figura 2 se presenta un croquis de la disposición de los aparatos en las estaciones en estudio.

Todas estas estaciones están equipadas con instrumentos digitales SMAC-MD de Akashi Seisakusho, cada uno con capacidad para 3 sensores triaxiales de aceleración. Las especificaciones se muestran en la tabla 1.

Para todas las estaciones con registradores profundos, se dispone de perfiles de velocidad de propagación de ondas S y P obtenidos por Yamashita Architects & Engineers Inc., utilizando técnicas de sonda suspendida; estos perfiles se muestran en las tablas 2 - 6. Debido a que al momento de elaborar este estudio no se disponía de perfiles de densidad y amortiguamiento para estos sitios en particular, esta información fue proporcionada por Marta Suarez del I. de I. de la UNAM a partir de registros en pozos cercanos. Los valores así determinados se presentan también en las tablas 2 - 6.

Durante el temblor del 31 de mayo se obtuvieron registros en los tres componentes (2 horizontales con orientaciones NS y EW y uno vertical) de todos los aparatos de la figura 2. Cabe mencionar que el CENAPRED opera otra estación con sensores a profundidad (Estación Zaragoza) en donde no se obtuvieron registros.

Los acelerogramas obtenidos se muestran en las figuras 3 -13, mientras que sus correspondientes espectros de amplitud de Fourier se muestran en las figuras 14 - 24. En virtud de un desperfecto en los acelerógrafos, actualmente ya corregido, no se registraron los 10 segundos contenidos en la llamada memoria de preevento. Por esta razón, los registros acelerográficos inician aparentemente en una fase de movimiento relativamente intenso. Esta situación podría introducir errores de cierta importancia en los análisis efectuados en el dominio del tiempo; por otra parte, en los análisis en el dominio de la frecuencia el efecto es mucho menor.

3. PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

Como un primer intento de explicar el distinto carácter de las ondas sísmicas a diversas profundidades, se modeló el fenómeno como el de propagación de ondas SH incidiendo verticalmente en un medio unidimensional estratificado. Para este fin, se utilizó la conocida solución matricial de Thomson-Haskell (Aki y Richards, 1980). Cabe señalar que, en vista de que el movimiento de control en la base es el campo total de aceleraciones - y no el campo incidente-, es necesario calcular funciones de transferencia que relacionen campo total en la base con campo total a la profundidad deseada, inclusive en la superficie.

Es importante aclarar que uno de los objetivos principales de este estudio es poner a prueba la capacidad predictiva del enfoque de propagación unidimensional. En vista de esto, se resolvió exclusivamente el problema directo, es decir, no se efectuó ningún ajuste de parámetros con el fin de reproducir lo observado. Así, se procedió como si no se conociera más que el movimiento de control -el registrado a la mayor profundidad- y los perfiles de velocidad, densidad y amortiguamiento tal y como fueron obtenidos con los procedimientos señalados anteriormente. Este problema es representativo del uso más importante que tienen estas técnicas para fines de ingeniería: la predicción de movimientos del terreno por temblor.

En resumen, el análisis consistió en idealizar la columna de suelo bajo cada sitio como formada por estratos de extensión horizontal infinita, imponer al sistema un campo total de aceleraciones a cierta profundidad, calcular las aceleraciones que se presentarían a otras profundidades y comparar estas últimas con las que realmente se observaron.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se obtuvieron resultados en tres diferentes dominios, lo cual permite analizarlos desde diversos puntos de vista.

4.1 RESULTADOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Se obtuvieron funciones de transferencia teóricas, calculadas con el método anteriormente descrito, y se compararon con las funciones de transferencia observadas o empíricas (FTE) para cada estación y componente. Para el cálculo de las FTE, los espectros de amplitud de Fourier fueron suavizados con un filtro de ventana móvil de 1/6 de octava, el cual conserva la energía del espectro. Estos resultados se muestran en las figs. 25-46. Los cocientes espectrales empíricos se realizaron en todas las combinaciones posibles, esto es: 1. superficie / profundidad máxima; 2. superficie / profundidad media; 3. profundidad media / profundidad máxima.

Para el primer cociente, se observa que en la banda de frecuencia de interés en ingeniería sísmica ($0.2 \leq f \leq 10$ Hz), los máximos espectrales calculados con el modelo y los observados coinciden notablemente tanto en frecuencia como en amplitud. Esto es indicativo de que el modelo reproduce, a pesar de sus limitaciones, en gran parte las características del movimiento; algo similar ocurre, en el mismo intervalo de frecuencias, para el tercer cociente anteriormente mencionado, aunque con los cálculos teóricos se subestiman sistemáticamente las amplitudes en los valles de las funciones de transferencia.

En el caso del segundo cociente, esto es, el cociente realizado entre los registros de superficie y los de profundidad media, salta a la vista que el modo fundamental de vibración del estrato está recortado en la mayoría de los cocientes empíricos; esto no se observa en los resultados teóricos. Este efecto es más dramático en la estación Coyoacán en donde este cociente espectral es casi plano para toda la banda de frecuencias con una amplitud alrededor de 1, lo cual indica que en los últimos 12m casi no existe amplificación en ninguna de las frecuencias.

4.2 RESULTADOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.

En el dominio del tiempo, se compararon los acelerogramas registrados con los calculados a partir de 2 combinaciones para las estaciones con tres aparatos: 1) se supuso como movimiento de control el registrado a la máxima profundidad y se calcularon los movimientos a la profundidad intermedia; 2) se supuso como movimiento de control el registrado a la máxima profundidad y se calcularon los movimientos en la superficie. En el caso de la estación Unidad Kennedy, donde sólo se tienen 2 registradores, el movimiento de control fue el registrado a mayor profundidad (30m) y de ahí se calculó el movimiento en la superficie.

Los resultados se ilustran en las figuras 47-62, en las que se presenta el registro observado, el calculado y el movimiento de control. Cabe hacer notar que el origen de tiempo de las aceleraciones es arbitrario, y que en este caso las series de tiempo de aceleraciones empiezan en una marca de 40 seg debido a que en el cálculo, se impuso este tiempo a los acelerogramas de control para asegurar que el movimiento partiera del reposo. En el capítulo de discusión de resultados se amplía este comentario.

Para la estación Coyoacán se observa que las amplitudes de la señal calculada fueron sobreestimadas respecto a las amplitudes de las reales, aunque para la primera parte del movimiento (primeros 10 seg) existen fases de forma y amplitud parecidas.

En las estaciones Tlacotal y Roma-C es notoria la gran similitud tanto en la amplitud como en la forma entre los registros observados y los calculados. Por ejemplo se puede observar que en el sintético en superficie en la estación Roma-C, calculado a partir del registro NS a 102m, así como en el calculado a partir del registro EW a 83m en la estación Tlacotal, la similitud con los acelerogramas registrados es notable, a no ser por ruido de alta frecuencia en los registros reales. La estación Unidad Kennedy es comentada en el capítulo de discusión de resultados.

4.3 RESULTADOS EN EL DOMINIO DEL ESPECTRO DE RESPUESTA

Finalmente se hacen comparaciones en términos de espectros de respuesta (pseudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico) calculados a partir de registros reales y sintéticos; se presentan el espectro de respuesta de la serie de tiempo de control y los calculados a partir del real y el sintético en las figuras 63-70, donde puede verse que en términos generales para los periodos alrededor de 1-2 seg las amplitudes se reproducen aceptablemente. No es el caso en periodos alrededor de 3 seg, donde las amplitudes producidas por las señales calculadas quedan siempre subestimadas, a excepción de la estación U. Kennedy.

En las estaciones Roma-C, Coyoacán y Tlacotal (fig 63-66, 69 y 70) los periodos correspondientes a los valores máximos obtenidos de las series de tiempo sintéticas, coinciden razonablemente con los obtenidos de los registros reales, lo cual indica que en ese aspecto las simulaciones reproducen los modos fundamentales de vibración del suelo, aunque en las amplitudes para el primero se subestiman y para el segundo, por el contrario se sobreestiman. En general en las estaciones mencionadas, el carácter entre los espectros sintéticos y los observados es similar, exceptuando a la estación Unidad Kennedy; ésta, debido a que en la serie de tiempo calculada tiene una fase armónica muy marcada, presenta máximos en el espectro de respuesta alrededor de 3.5 seg que no aparecen en los reales.

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Se han presentado en el trabajo funciones de transferencia, acelerogramas y espectros de respuesta. Es evidente que los resultados obtenidos hablan exclusivamente de la capacidad predictiva del método unidimensional, y no de la capacidad general para predecir movimientos en el terreno. En efecto, los errores o diferencias entre lo observado y lo calculado son achacables en nuestro caso a incertidumbres en los parámetros estratigráficos y por supuesto a las simplificaciones inherentes al modelo empleado. No existe incertidumbre derivada del movimiento incidente puesto

que este se conoce de manera determinista; dicha incertidumbre, sin embargo, siempre está presente en los problemas reales.

Respecto a las incertidumbres en los parámetros que definen la estratigrafía, es claro que algunas diferencias entre lo observado y lo calculado pueden atribuirse a errores en la determinación de las velocidades de propagación de ondas S. Procedería entonces resolver el problema inverso, es decir, encontrar los parámetros estratigráficos que conducen a las mejores reproducciones de lo observado.

La comparación de las funciones de transferencia reales con las calculadas muestra que para los periodos de interés en ingeniería sísmica ($0.1 \text{ seg.} \leq T \leq 5.0 \text{ seg.}$) una buena parte de lo observado en las estaciones estudiadas puede explicarse en términos de propagación unidimensional de ondas SH.

Respecto a la relación señal-ruido, la información es confiable hasta aproximadamente 7 Hz. Se observa, sin embargo, que aún para frecuencias menores ($4 \text{ Hz} \leq f \leq 7 \text{ Hz}$), las funciones de transferencia teóricas subestiman lo observado. Esto puede atribuirse a falta de detalle en la definición de la estratigrafía. Con todo, los errores cometidos en la estimación de la aceleración máxima y las ordenadas espectrales de respuesta a periodos cortos son aceptables. Vale la pena señalar que los acelerogramas sintéticos han sido calculados suponiendo el reposo como condición inicial. En vista de que se perdieron los primeros segundos de los registros, ésta suposición es falsa, situación que parece no afectar excesivamente los resultados.

Se ha supuesto en todos los cálculos comportamiento lineal del suelo; esto parece razonable debido a las bajas aceleraciones registradas. Aunque las evidencias teóricas y experimentales señalan que el suelo arcilloso del valle de México se conserva esencialmente lineal ante excitaciones tan grandes como las impuestas por el temblor del 19 de septiembre de 1985, no debe perderse de vista la posible reducción de amplitud y aumento de periodo en las respuestas del suelo debidas a su comportamiento no lineal.

Aunque en este estudio no se ha intentado resolver el problema inverso, se presenta un ejemplo de lo que se obtiene al variar parámetros en busca de un mejor ajuste con lo observado. Los acelerogramas calculados para la estación U. Kennedy (ver figs. 55-56) difieren apreciablemente de los registrados; lo mismo acontece para los correspondientes espectros de respuesta (fig. 67). El exceso de energía alrededor de 3 seg en los acelerogramas calculados se debe a que el cálculo unidimensional predice un máximo en la función de transferencia que coincide exactamente con un máximo en el espectro de Fourier de la señal incidente, registrado a 30m de profundidad. Una ligera variación en el perfil de velocidades, consistente en aumentar las velocidades de propagación de los primeros estratos en 5 m/s y en los amortiguamientos, aumentando éste a 5% en los mismos, conduce a los acelerogramas y espectros de respuesta de las figuras 57, 58 y 68. Aunque los registros sintéticos presentan una fase armónica inexistente en los registros reales, los primeros 30 segundos de la señal se reproducen de manera notable, y la coincidencia entre los espectros es mayor. No hay duda de que más ajustes a los parámetros, dentro de límites razonables, proporcionarían mejores aproximaciones. Sin embargo, debido a la sensibilidad tanto de las series de tiempo como de los espectros de respuesta a pequeñas variaciones del perfil stratigráfico (Hong y Rosenblueth, 1988), este hecho debe tomarse en cuenta de manera explícita en los cálculos de amplificación. Una manera racional de tratar este fenómeno es considerar a los parámetros del suelo como variables aleatorias, asignarles densidades de probabilidad que reflejen la incertidumbre sobre ellas, y calcular las densidades de probabilidad de las respuestas de interés.

6. CONCLUSIONES

Los resultados presentados muestran que, si no existen incertidumbres en el campo incidente o movimiento de control, el modelo de propagación unidimensional de ondas SH reproduce una buena parte de la amplificación observada. A nivel de espectros de respuesta elástica, (seudoaceleraciones con 5% del amortiguamiento crítico) los errores son aceptables, a excepción

de lo calculado para la estación U. Kennedy. La razón principal de estas discrepancias es un error en la determinación de velocidades de propagación de ondas S. Al variar ligeramente la estratigrafía se obtiene una mejor concordancia con lo observado y se pone de manifiesto la enorme sensibilidad de las respuestas calculadas a pequeños cambios en la estratigrafía. La falta de robustez en la estimación de amplificaciones debe tomarse en cuenta de manera explícita en los cálculos.

A nivel de historias de tiempo, la mayoría de los acelerogramas sintéticos reproducen notablemente lo observado, a excepción, como ya se mencionó, de la estación num. 9, donde con una ligera corrección en la estratigrafía, reproducen adecuadamente los registros observados durante los primeros 30 seg.

7. TABLAS

TABLA 1

CARACTERISTICAS DEL ACELEROGRAFO SMAC-MD

Fabricante:	Akashi Seisakusho, LTD.
Tipo:	digital
Medio de registro	tarjeta de memoria (RAM)
Capacidad	20 min. (3 componentes), con muestreo a 100 Hz., por tarjeta.
No. de canales	3 a 9
Trasductores	servoacelerómetros internos tipo force balance, 3 (V/g), $1g = 981$ gals
Rango	± 1000 gals (± 2000 gals opcional)
Frecuencia natural	30 Hz.
Amortiguamiento	7% del crítico
Frec. de muestreo	50, 100, 200 muestras/seg.
Rango dinámico	96 dB
Memoria de preevento	0-30 seg, programable.

ESTRATIGRAFIAS DE LAS ESTACIONES DEL CENAPRED
EN LA CD. DE MEXICO

TABLA 2
ESTRATIGRAFIA DE LA ESTACION COYOACAN

ESTRATO	ESPEJOR	DENSIDAD	VELOCIDAD(S)	AMORTIGUAMIENTO
1	4.0	1.5	160.0	0.03
2	5.0	1.6	200.0	0.03
3	2.0	1.7	280.0	0.03
4	1.0	1.4	80.0	0.03
5	3.0	1.4	80.0	0.03
6	2.5	1.7	500.0	0.03
7	2.5	1.7	400.0	0.03
8	2.0	1.7	340.0	0.03
9	2.0	1.7	400.0	0.03
10	4.5	1.7	590.0	0.03
11	1.5	1.7	400.0	0.03
12	4.0	1.7	500.0	0.03
13	2.0	2.0	800.0	0.03
14	3.0	1.9	700.0	0.03
15	2.0	2.0	800.0	0.03
16	1.0	1.9	600.0	0.03
17	1.5	2.0	860.0	0.03
18	2.5	1.7	470.0	0.03
19	2.5	1.75	530.0	0.03
20	5.0	1.6	400.0	0.03
21	1.5	1.75	560.0	0.03
22	5.0	2.0	910.0	0.03
23	5.0	1.8	700.0	0.03
24	5.0	2.0	860.0	0.03
SEMIESP	---	2.1	1100.0	0.01

TABLA 3

ESTRATIGRAFIA DE LA ESTACION TLACOTAL

ESTRATO	ESPEJOR	DENSIDAD	VELOCIDAD(S)	AMORTIGUAMIENTO
1	7.0	1.5	90.0	0.03
2	21.0	1.15	40.0	0.03
3	2.0	1.15	50.0	0.03
4	8.0	1.15	50.0	0.03
5	6.0	1.6	160.0	0.03
6	9.0	1.25	100.0	0.03
7	10.0	1.8	560.0	0.01
8	14.0	1.8	380.0	0.01
9	10.0	2.0	470.0	0.01
SEMIESP	----	2.0	700.0	0.01

TABLA 4

ESTRATIGRAFIA DE LA ESTACION ROMA-C

ESTRATO	ESPEJOR	DENSIDAD	VELOCIDAD(S)	AMORTIGUAMIENTO
1	5.0	1.8	100.0	0.03
2	8.0	1.2	40.0	0.03
3	12.0	1.25	60.0	0.03
4	5.0	1.3	90.0	0.03
5	1.0	1.3	90.0	0.03
6	3.0	1.3	150.0	0.03
7	3.0	1.4	190.0	0.03
8	7.0	1.3	160.0	0.03
9	1.0	1.5	300.0	0.03
10	10.0	1.6	400.0	0.03
11	4.0	1.5	300.0	0.03
12	4.0	1.45	220.0	0.03
13	7.0	1.6	370.0	0.03
14	4.0	1.7	420.0	0.03
15	7.0	1.7	490.0	0.03
16	5.0	1.7	420.0	0.03
17	2.0	1.7	490.0	0.03
18	5.0	1.7	450.0	0.03
19	8.0	1.7	400.0	0.03
20	1.0	2.0	710.0	0.03
21	3.0	2.0	710.0	0.03
SEMIESP	---	2.1	1100.0	0.03

TABLA 5

ESTRATIGRAFIA DE LA ESTACION UNIDAD KENNEDY

ESTRATO	ESPEJOR	DENSIDAD	VELOCIDAD(S)	AMORTIGUAMIENTO
1	5.0	1.5	105.0	0.03
2	4.0	1.15	40.0	0.03
3	16.0	1.15	30.0	0.03
4	5.0	1.15	85.0	0.03
5	6.0	1.15	85.0	0.03
6	3.0	1.6	200.0	0.03
7	13.0	1.25	100.0	0.03
8	6.0	1.65	530.0	0.03
9	4.0	1.5	440.0	0.03
10	4.0	1.35	250.0	0.03
11	4.0	1.25	130.0	0.03
12	6.0	1.35	55.0	0.03
13	3.0	1.4	380.0	0.03
14	4.0	1.6	500.0	0.03
15	7.0	1.6	500.0	0.03
SEMIESP	---	2.1	1100.0	0.01

TABLA 6

ESTRATIGRAFIA DE LA ESTACION UNIDAD KENNEDY (MODIFICADA)

ESTRATO	ESPEJOR	DENSIDAD	VELOCIDAD(S)	AMORTIGUAMIENTO
1	5.0	1.5	105.0	0.03
2	4.0	1.15	45.0	0.05
3	16.0	1.15	35.0	0.05
4	5.0	1.15	85.0	0.05
5	6.0	1.15	85.0	0.05
6	3.0	1.6	200.0	0.03
7	13.0	1.25	100.0	0.03
8	6.0	1.65	530.0	0.03
9	4.0	1.5	440.0	0.03
10	4.0	1.35	250.0	0.03
11	4.0	1.25	130.0	0.03
12	6.0	1.35	55.0	0.03
13	3.0	1.4	380.0	0.03
14	4.0	1.6	500.0	0.03
15	7.0	1.6	500.0	0.03
SEMIESP	---	2.1	1100.0	0.01

8. REFERENCIAS

- Aki, K y P.G. Richards (1980). QUANTITATIVE SEISMOLOGY. Theory and Methods. Vol.1, W.H. Freeman and Co., San Francisco, Ca.
- Hong, H.P. y E. Rosenblueth (1987). SEISMIC SPECTRA ON SOIL WITH UNCERTAIN PROPERTIES, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 15, 911-920.
- Ordaz, M. (1989). CALCULO DE RESPUESTAS ANTE TEMBLORES ALEATORIOS EN SITIOS CON PROPIEDADES INCIERTAS, *Informe Interno. Instituto de Ingeniería, UNAM*, Proyecto 8762.
- Quaas, R., E. Guevara, R. González, S. Medina y B. López (1990). REGISTROS DEL TEMBLOR DE MAYO 31 DE 1990. *Informe R.S.P.-1, Coordinación de Investigación, Instrumentación Sísmica , CENAPRED. México.*

9. FIGURAS

CD. DE MEXICO: ZONIFICACION GEOTECNICA Y ESTACIONES DEL CENAPRED

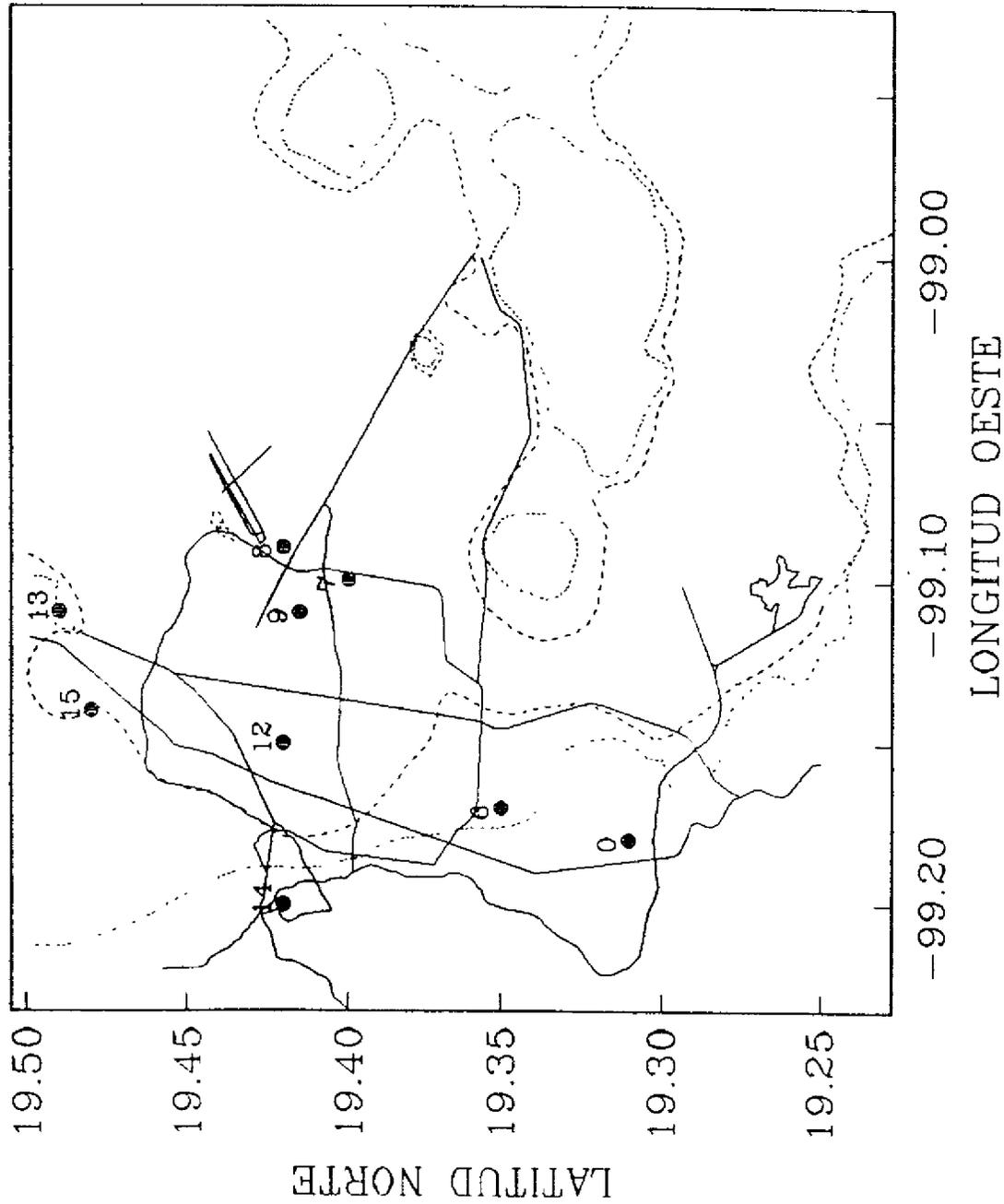


Figura 1. Las líneas discontinuas indican las fronteras entre las distintas zonas geotécnicas del Valle y las líneas continuas indican las principales calles de la ciudad.

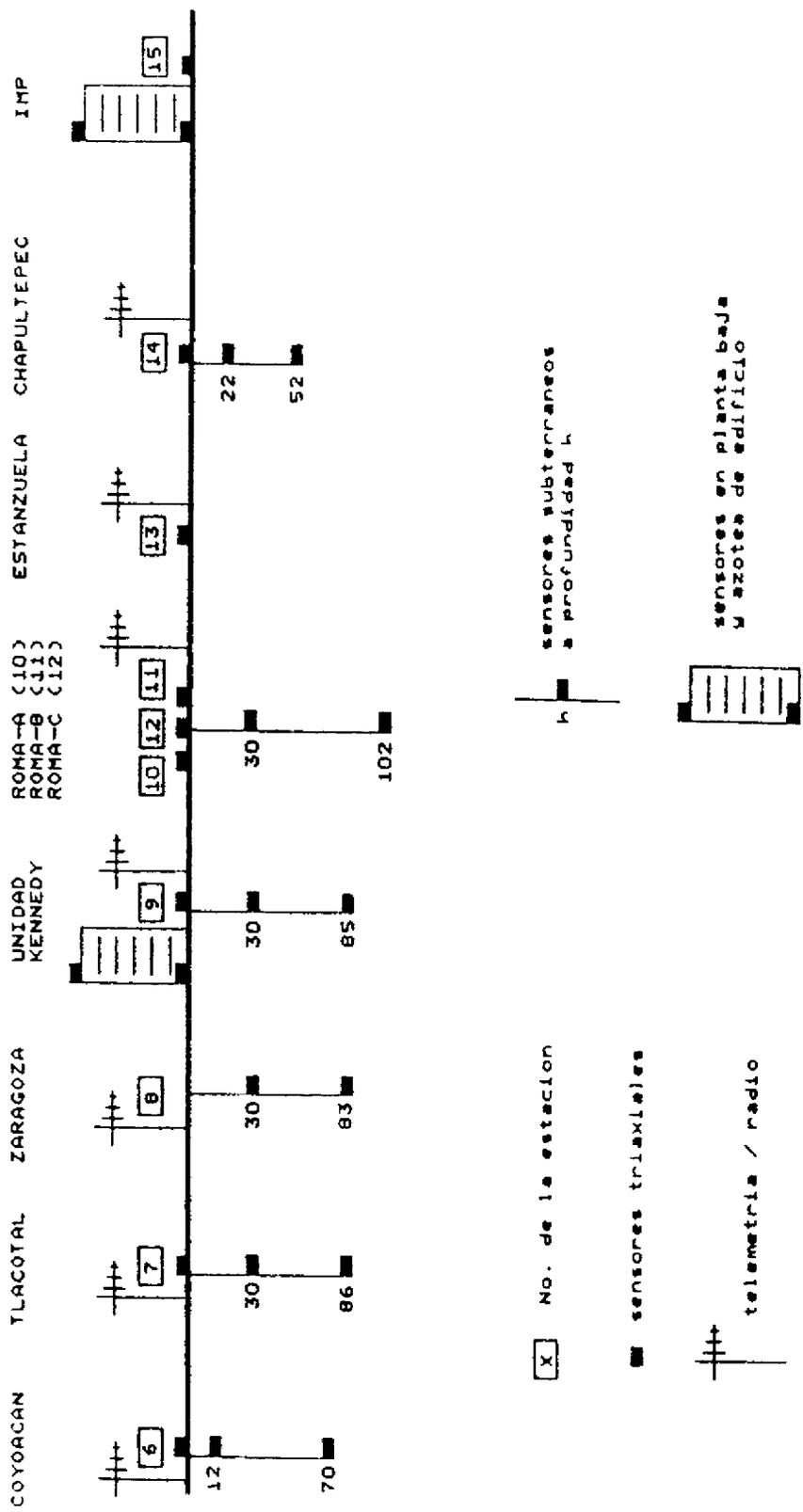


Figura 2. Croquis de la disposición en profundidad de los distintos sensores de pozo del CENAPRED.

SISMOGRAMAS REGISTRADOS

COYOACAN SUPERFICIE

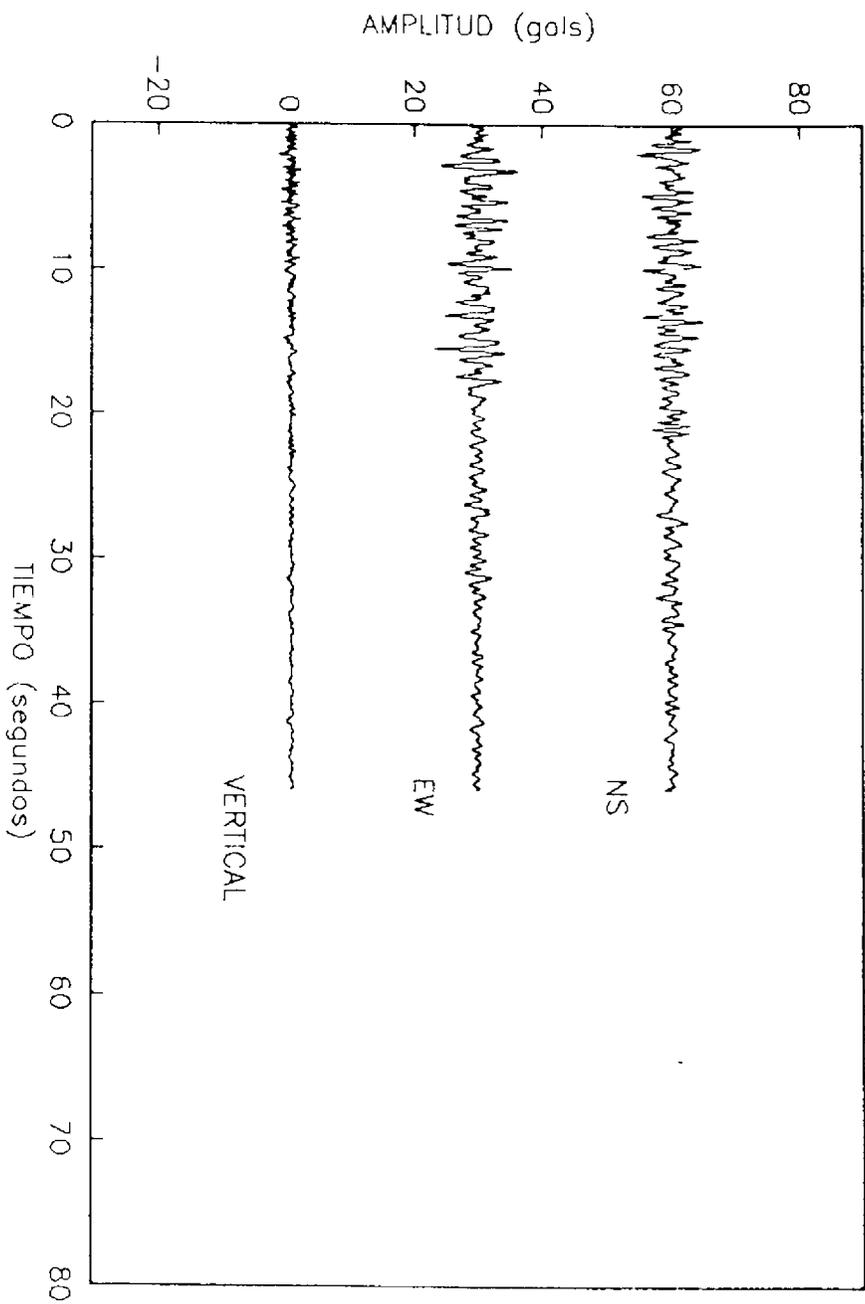


Figura 3.

COYOACAN 12m

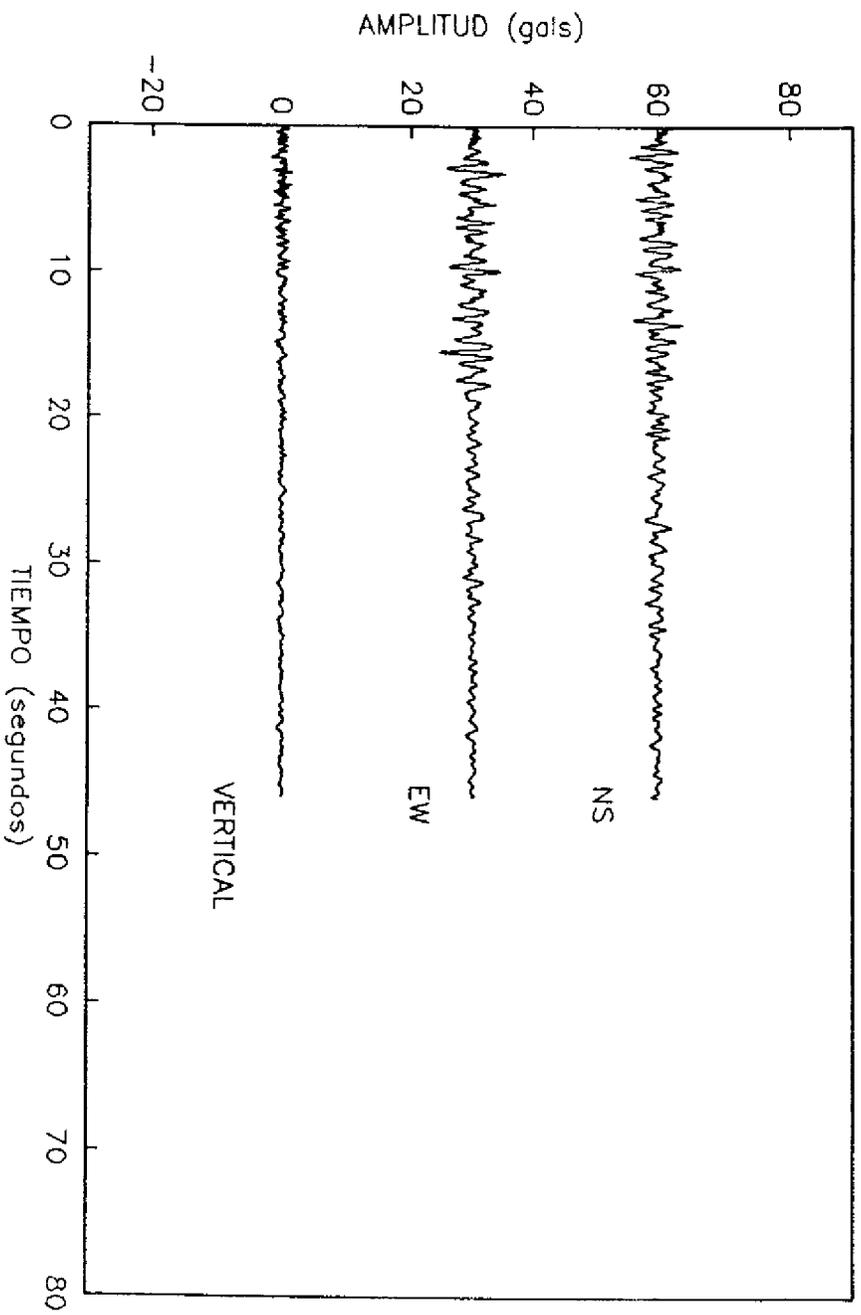


Figura 4.

COYOACAN 70m

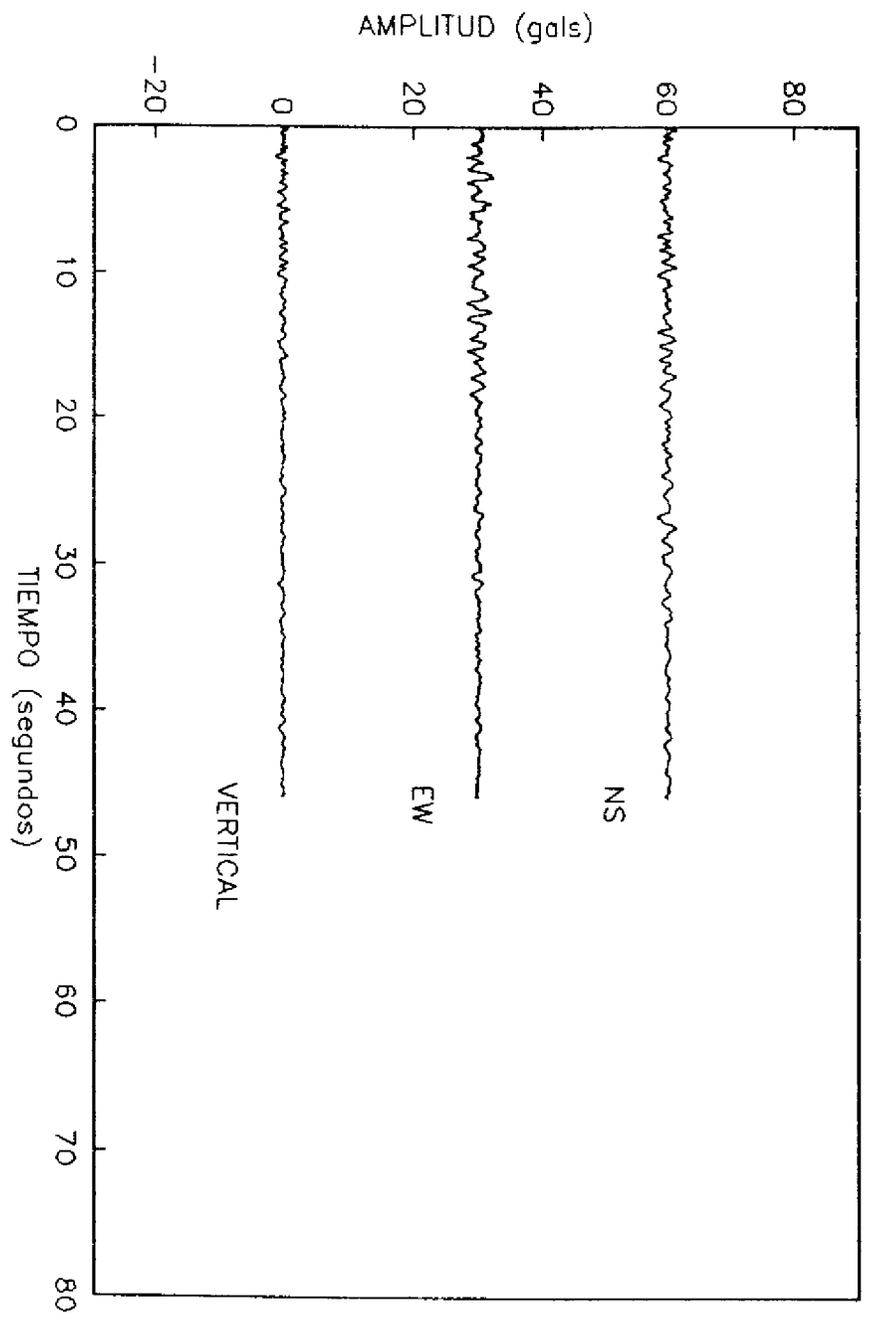


Figura 5.

TLACOTAL SUPERFICIE

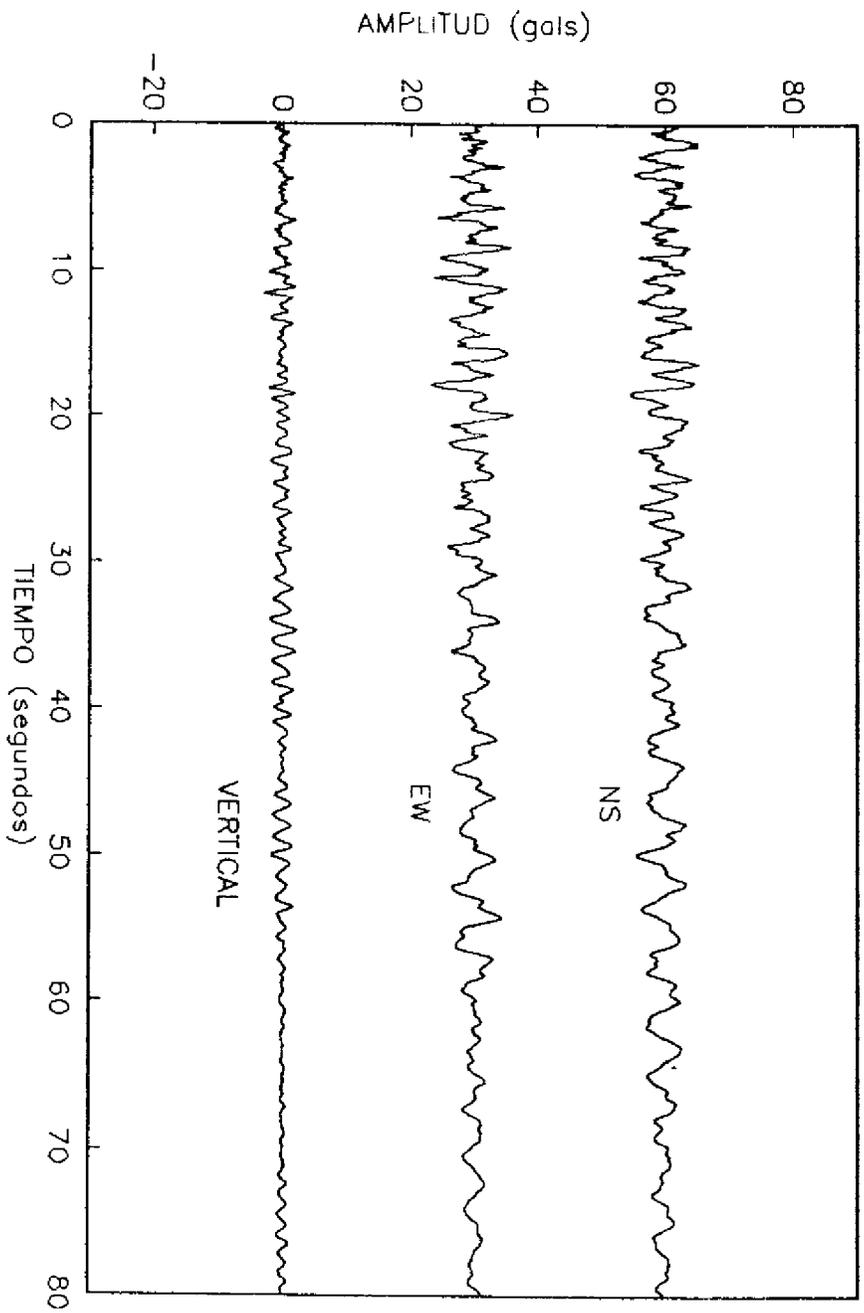


Figura 6.

TLACOTAL 30m

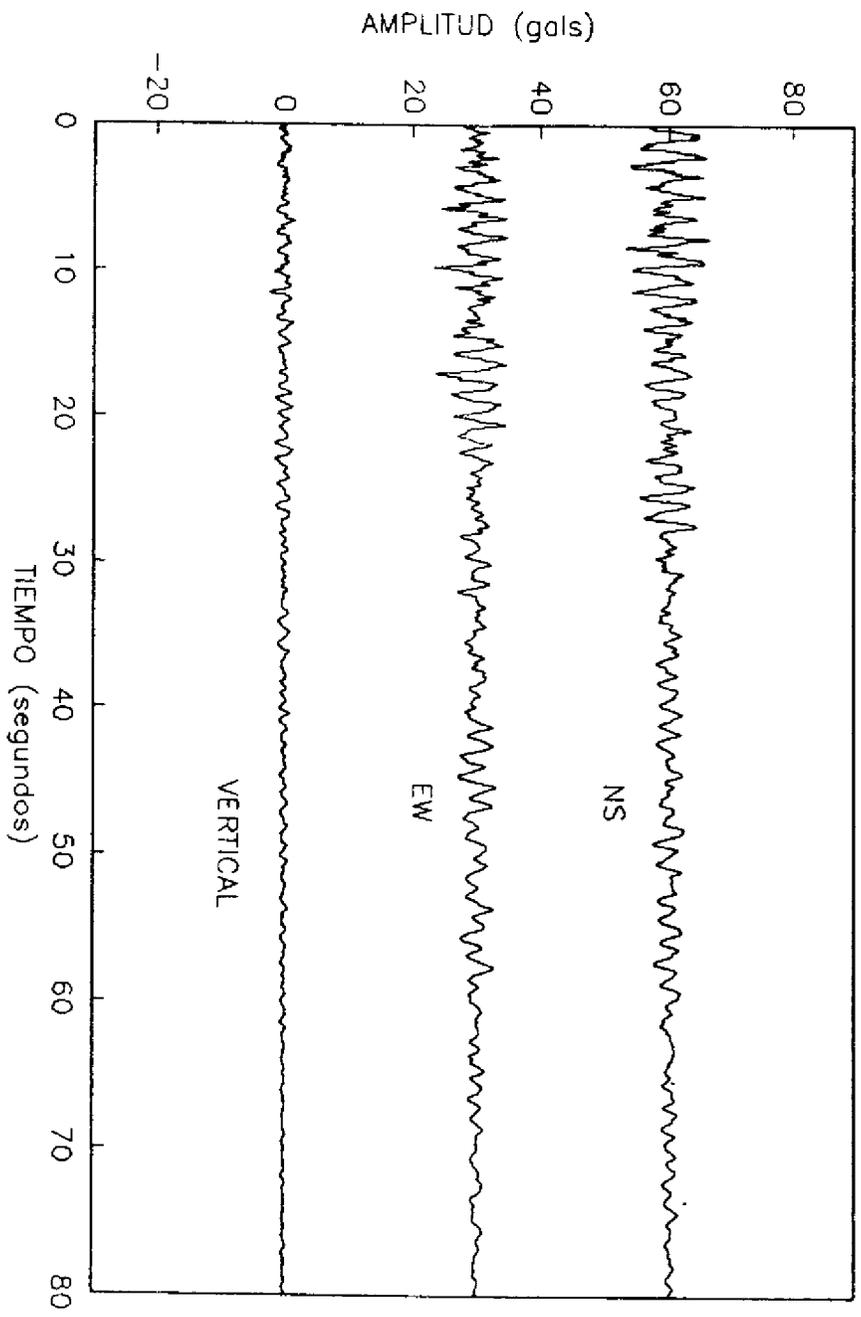


Figura 7.

TLACOTAL 86m

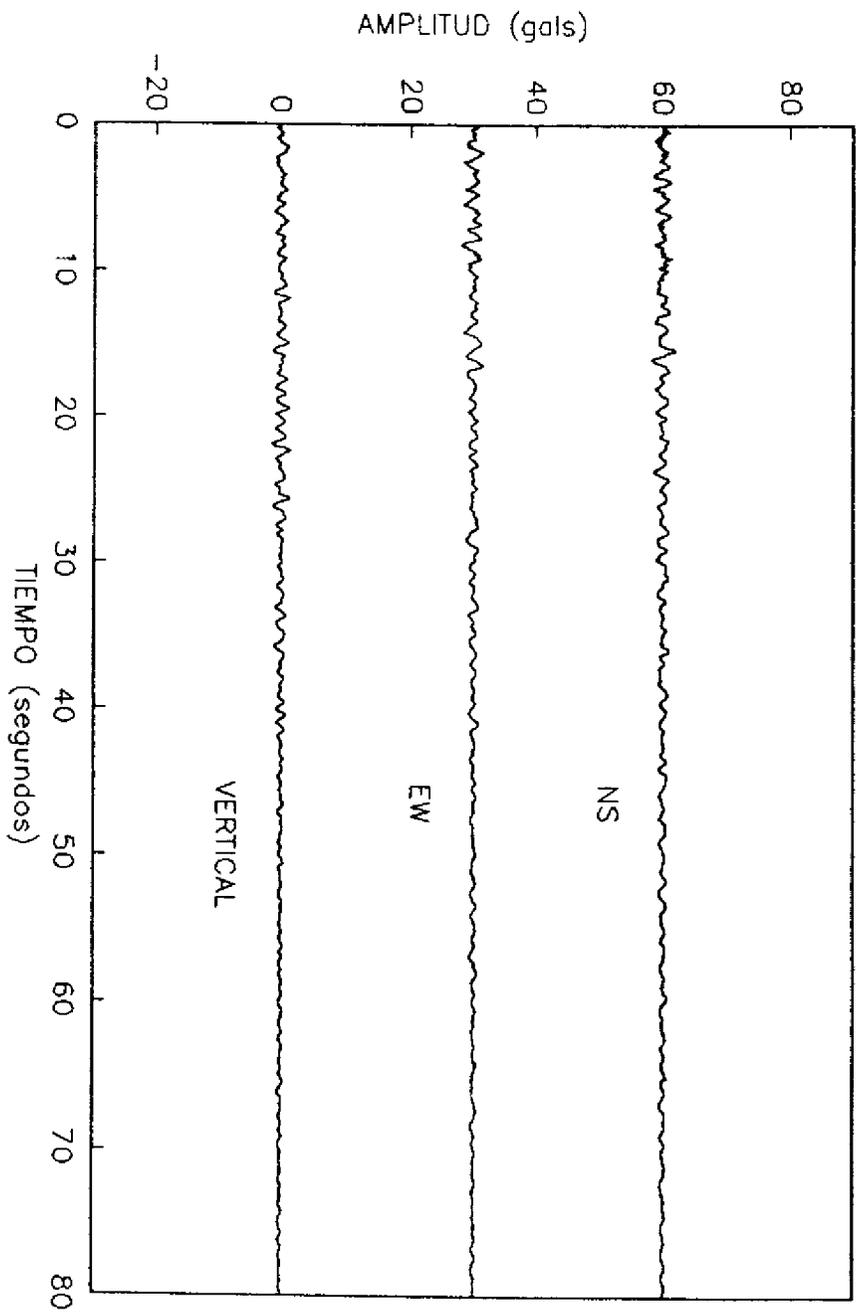


Figura 8.

UNIDAD KENNEDY SUPERFICIE

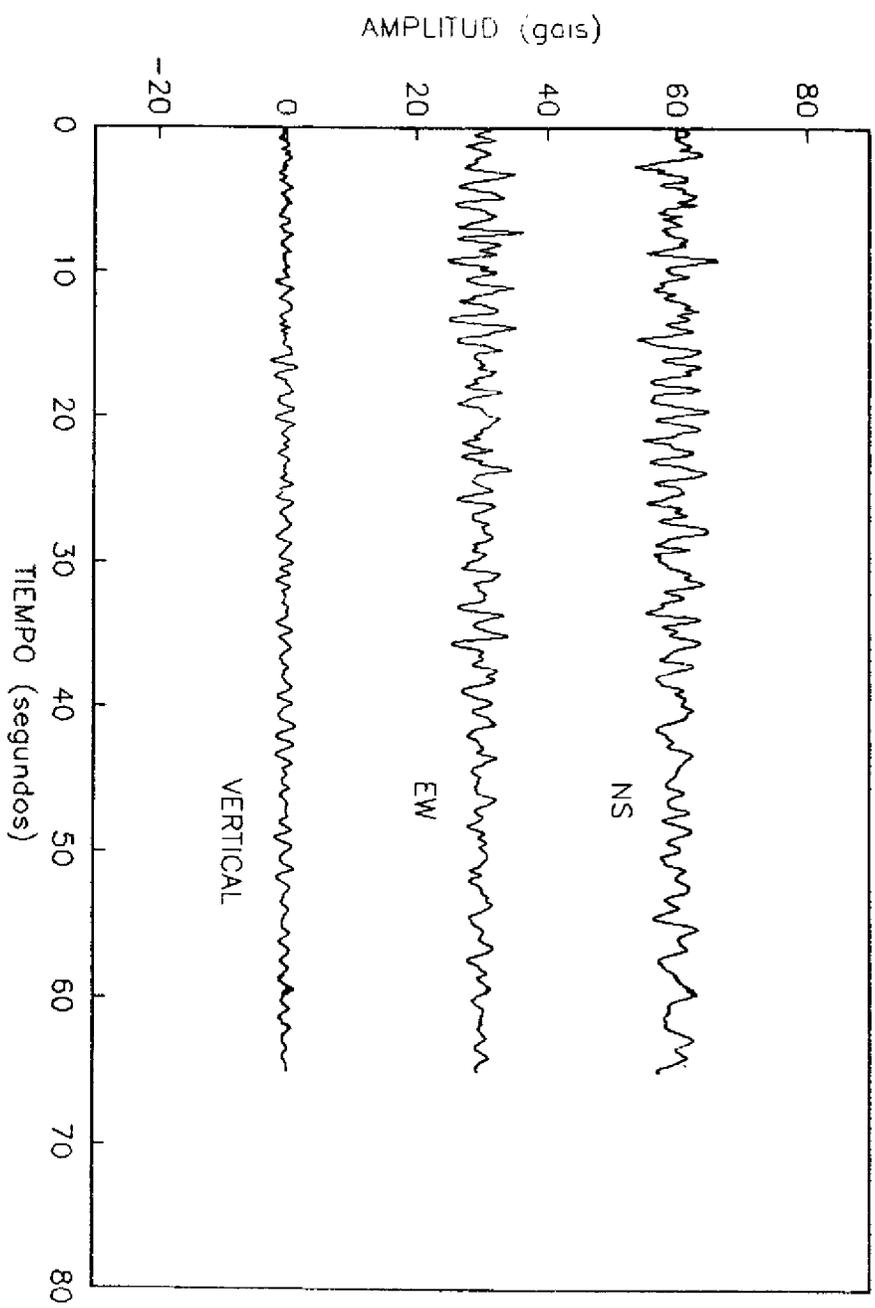


Figura 9.

UNIDAD KENNEDY 30m

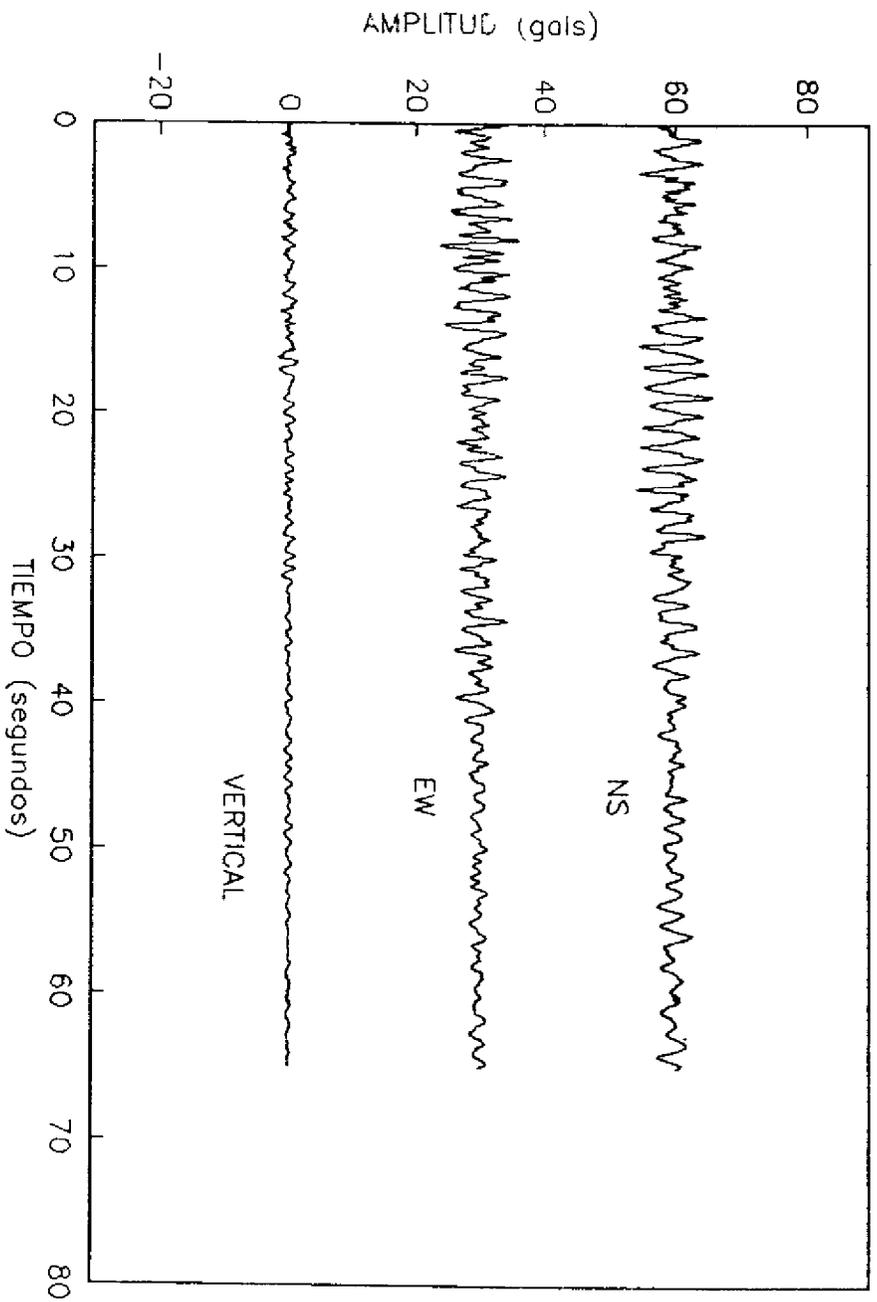


Figura 10

ROMA--C SUPERFICIE

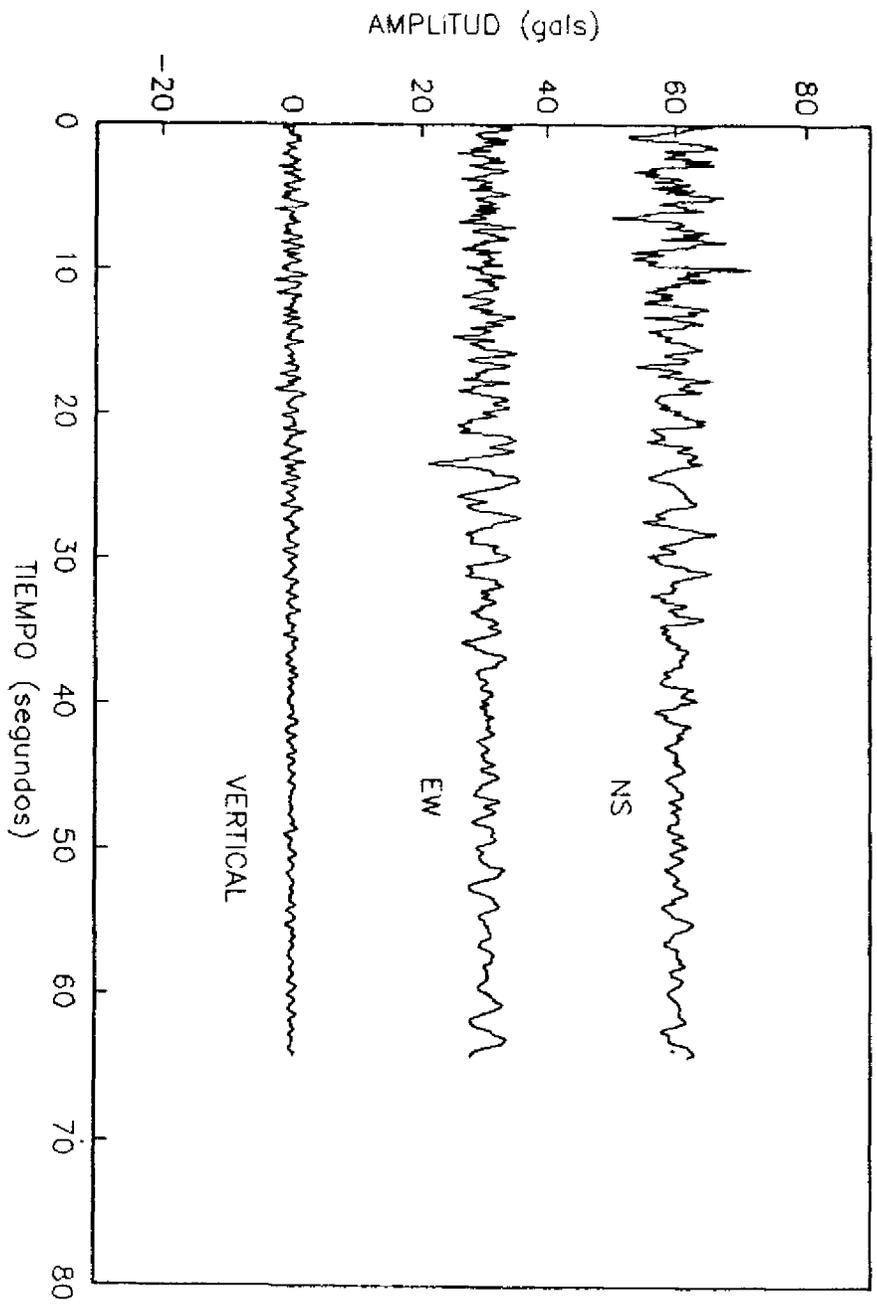


Figura 11

ROMA-C 30m

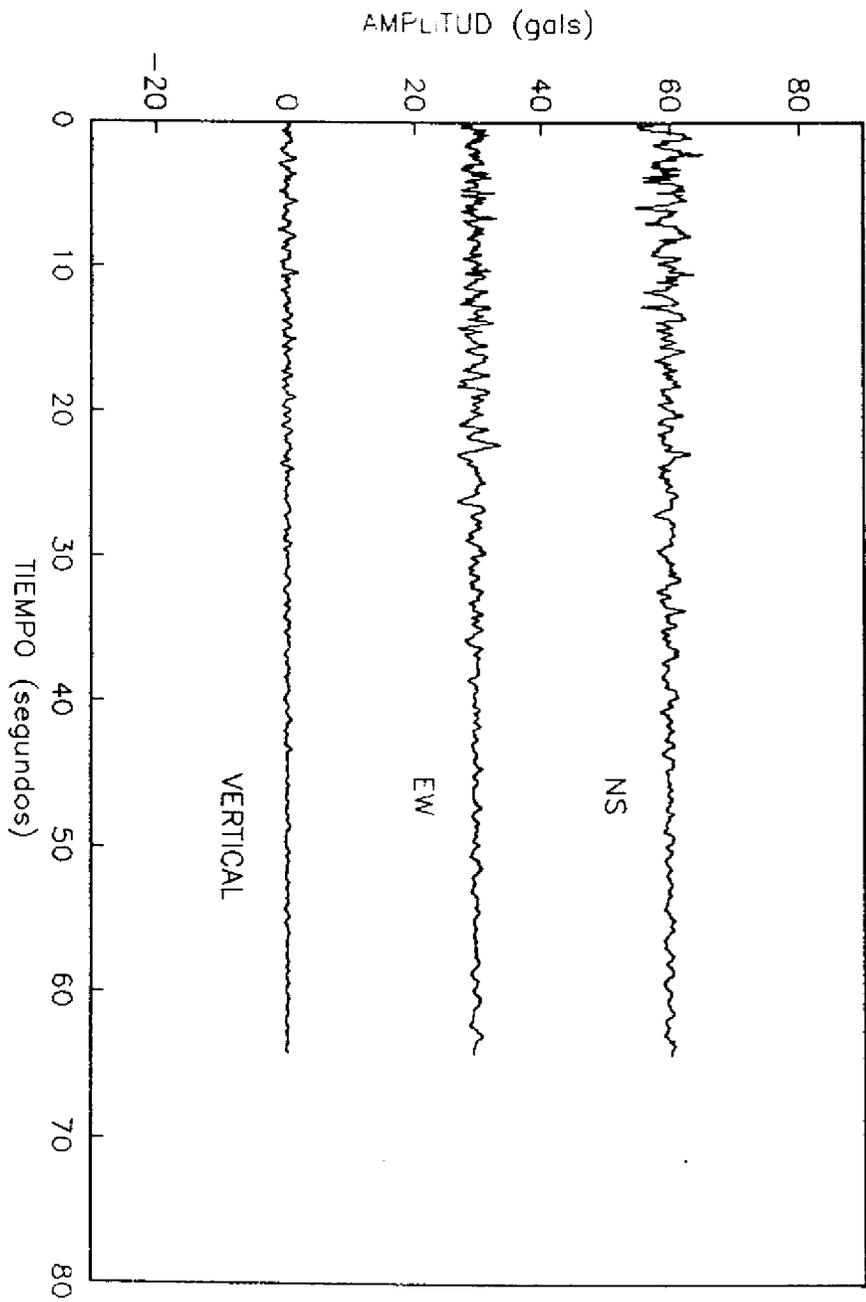


Figura 12

ROMA-C 102m

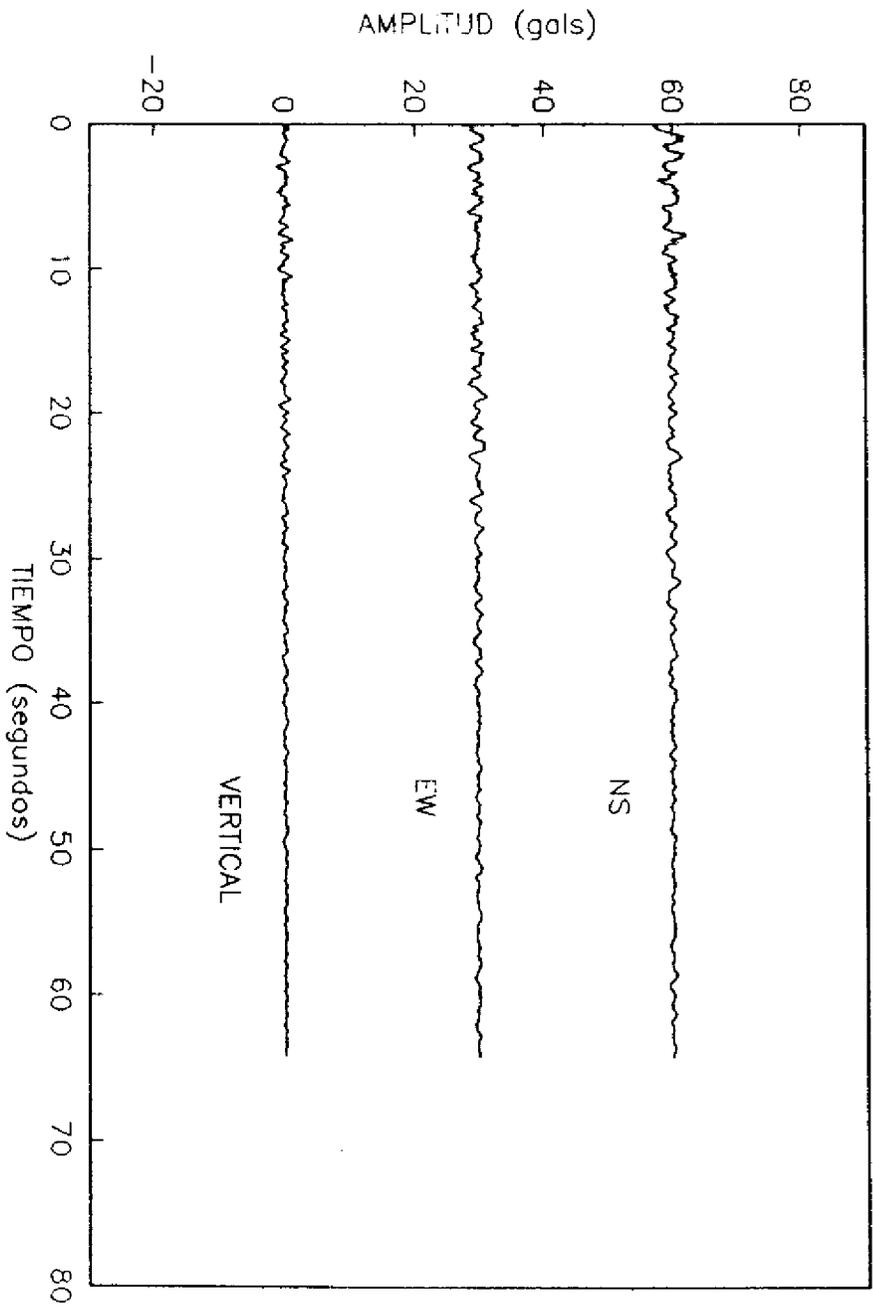


Figura 13

ESPECTROS DE FOURIER

ESPECTRO DE FOURIER, COYOACAN, EN SUPERFICIE 31.5.90

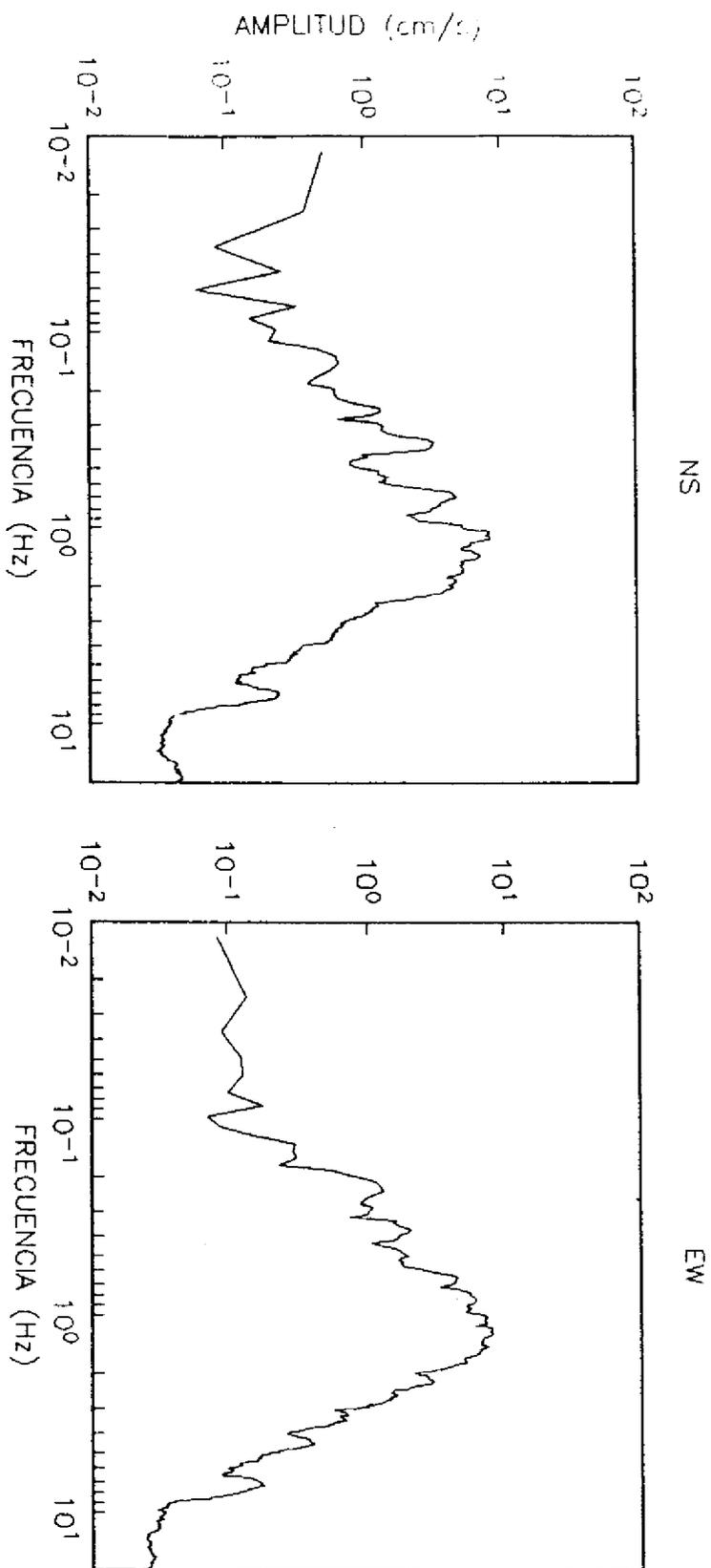


Figura 14

ESPECTRO DE FOURIER, COYOACAN, 12m, 31.5.90

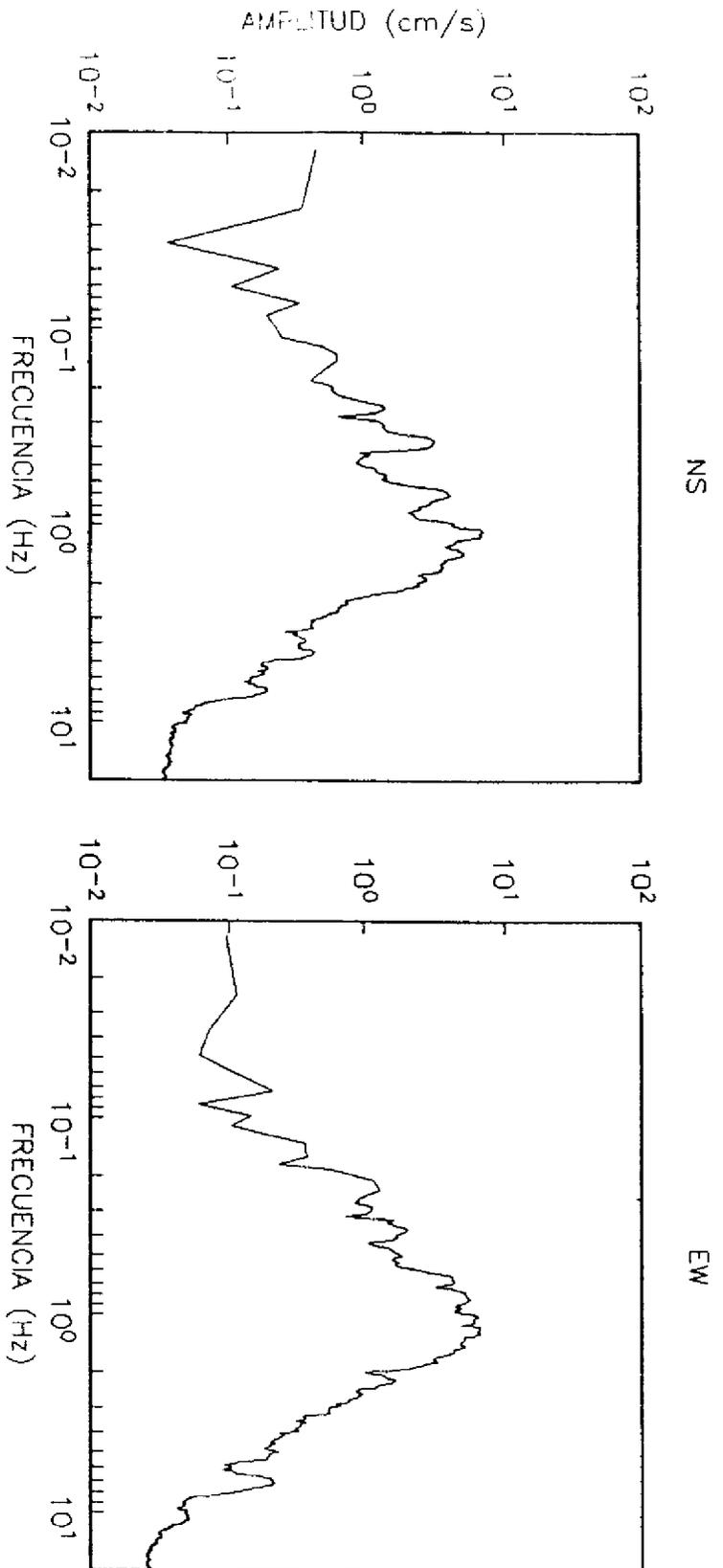


Figura 15

ESPECTRO DE FOURIER, COYOACAN, 70m, 31.5.90

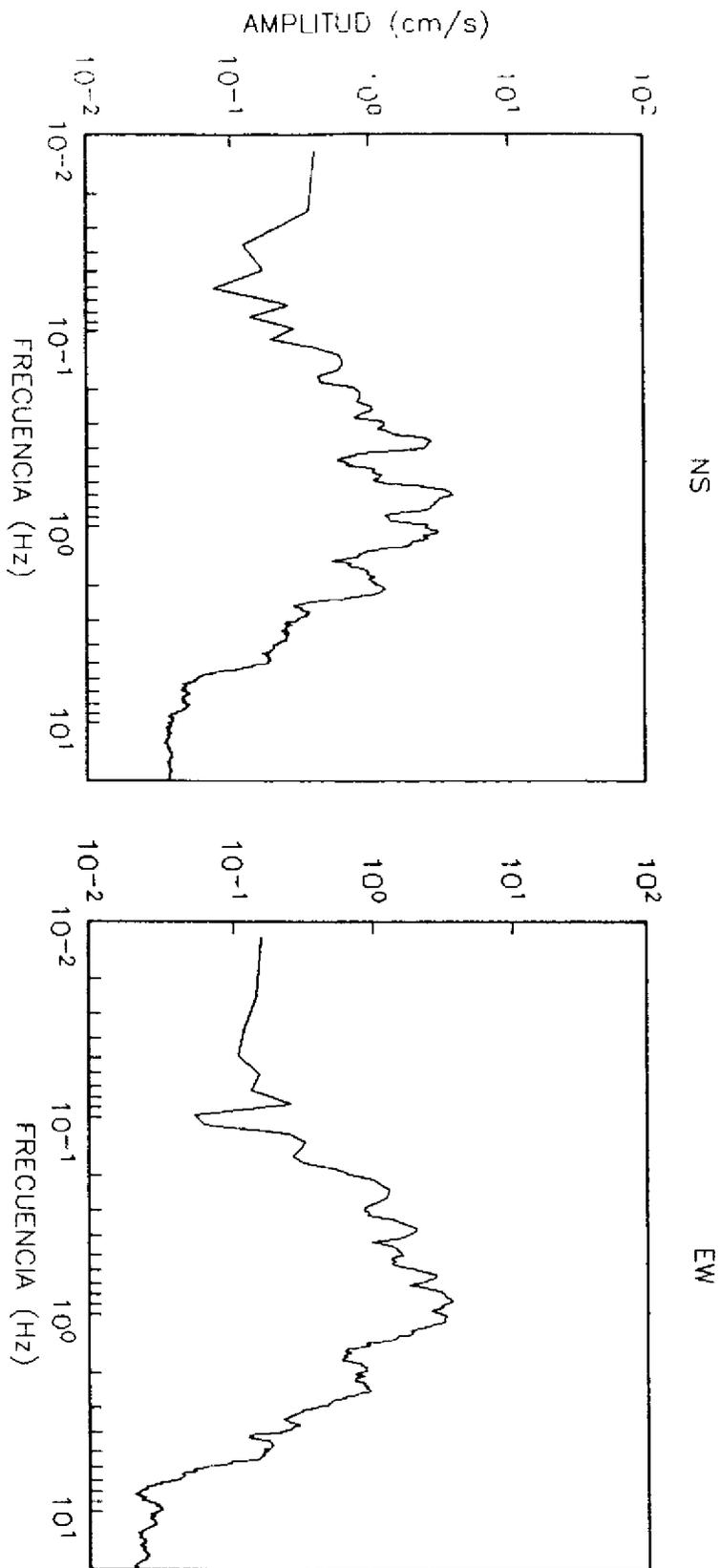


Figura 16

ESPECTRO DE FOURIER, TLACOTAL, EN SUPERFICIE 31.5.90

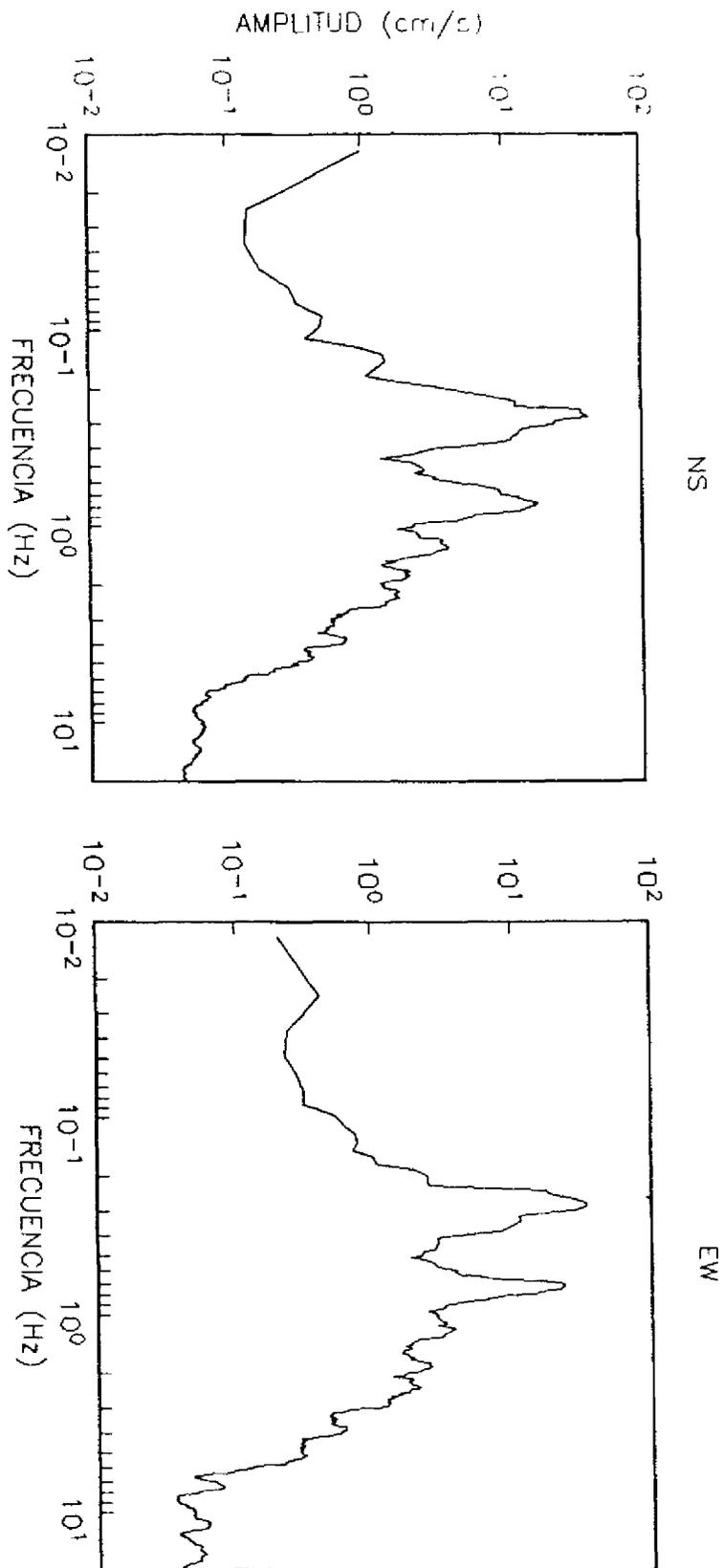


Figura 17

ESPECTRO DE FOURIER, TLACOTAL, 30m, 31.5.90

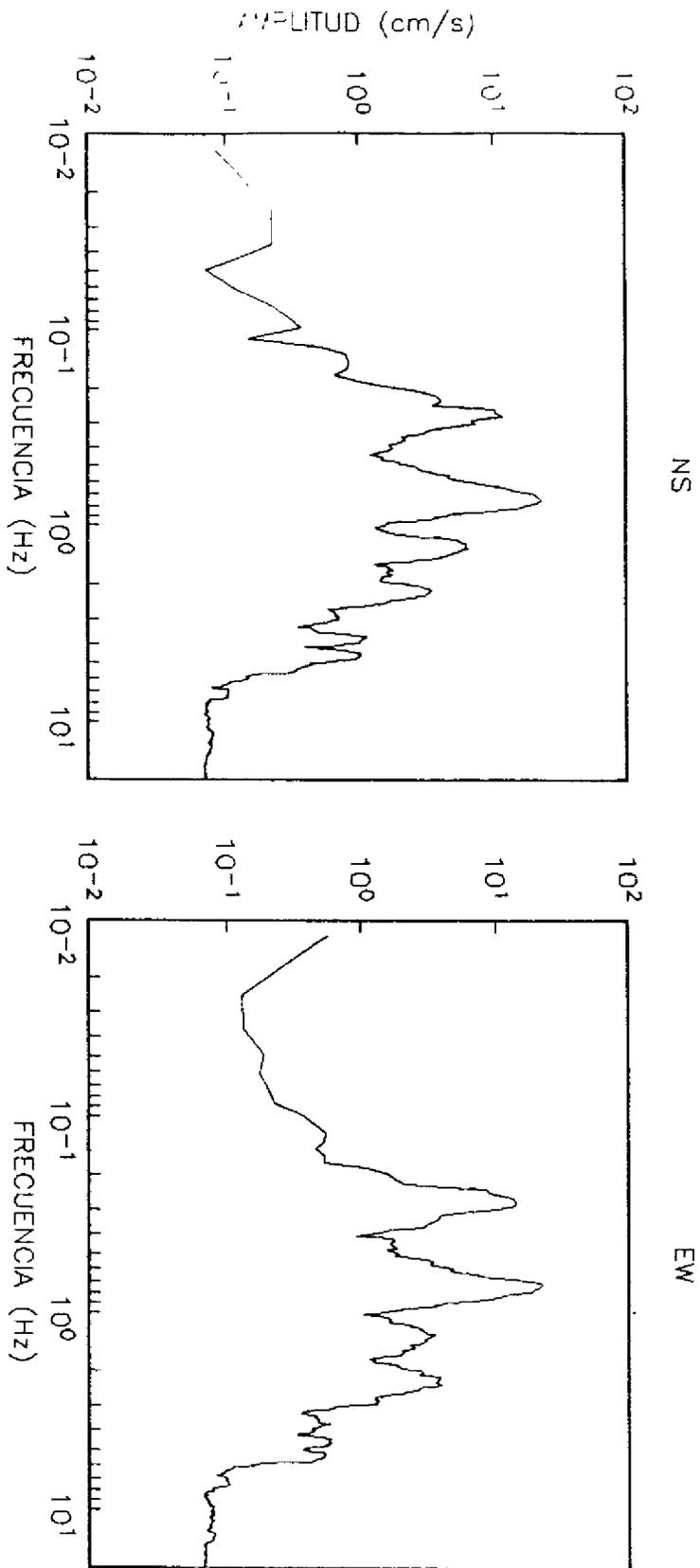


Figura 18

ESPECTRO DE FOURIER, TLACOTAL, 86m, 31.5.90

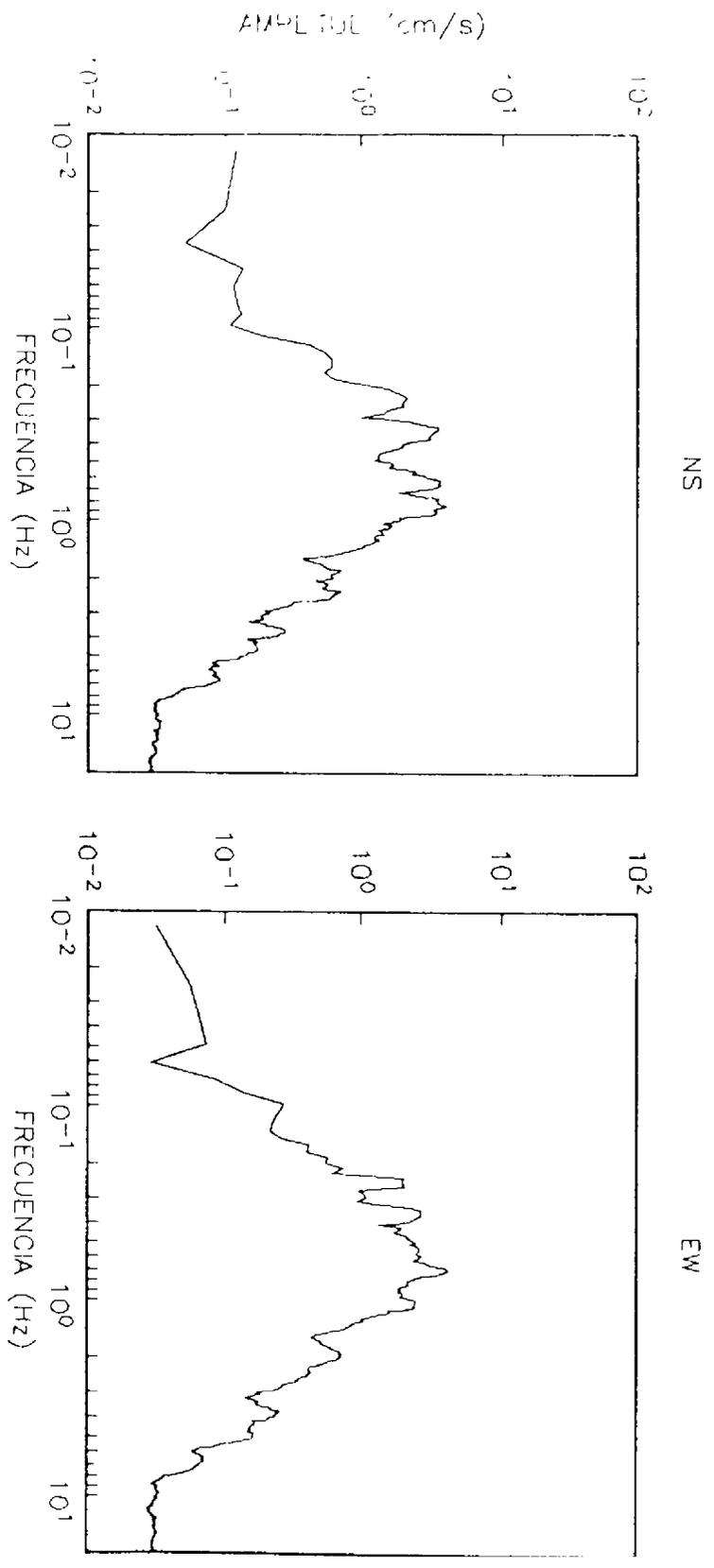


Figura 19

ESPECTRO DE FOURIER, U. KENNEDY, 30m, 31.5.90

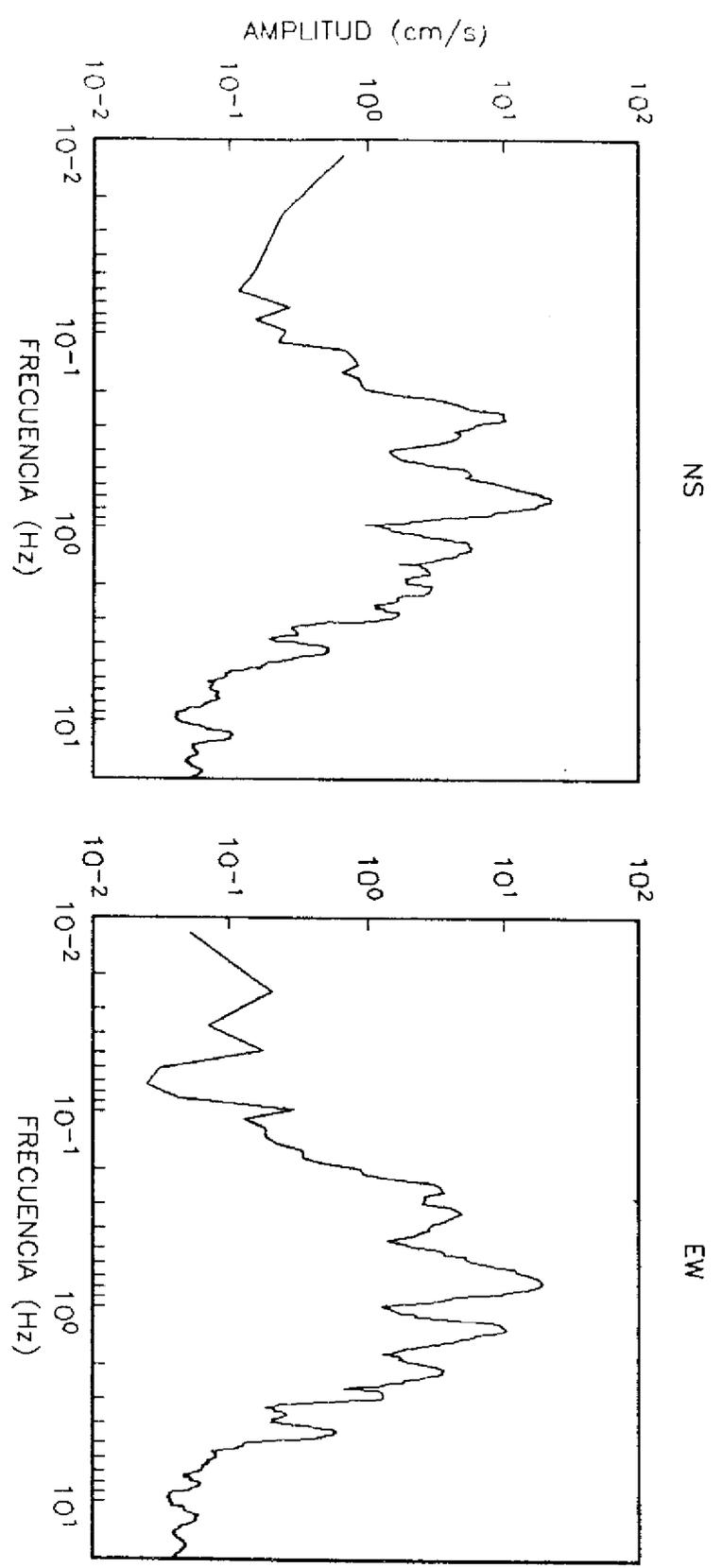


Figura 20

ESPECTRO DE FOURIER, U. KENNEDY, EN SUPERFICIE 31.5.90

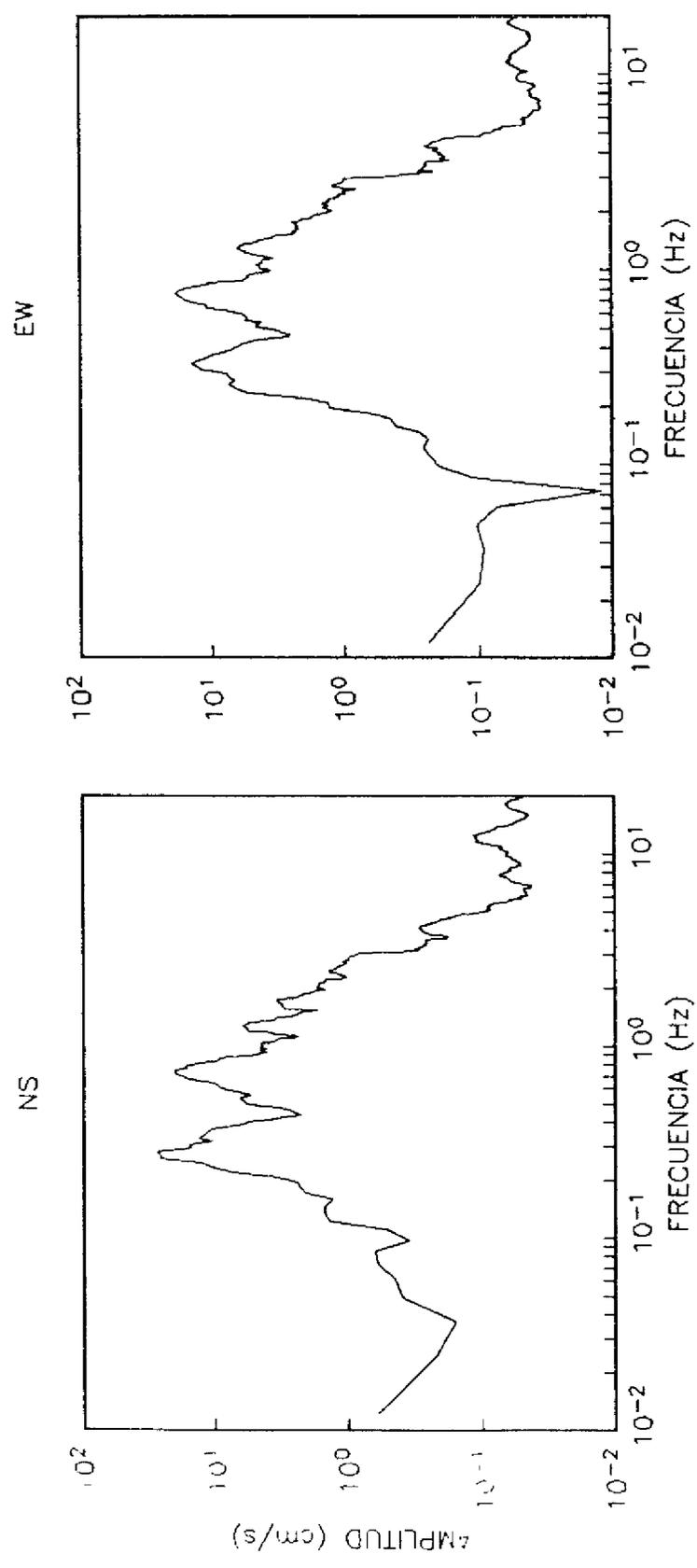


Figura 21

ESPECTRO DE FOURIER, ROMA-C, EN SUPERFICIE 31.5.90

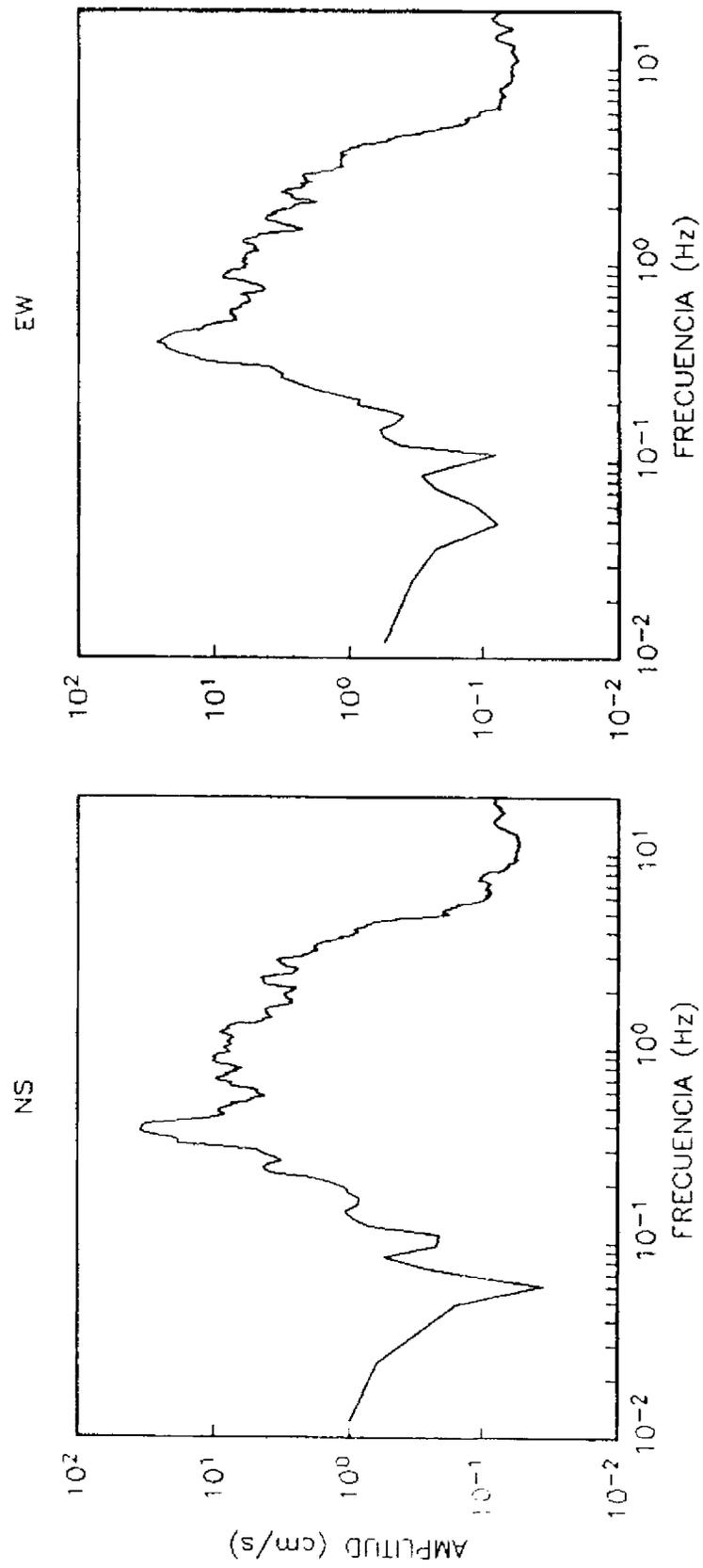


Figura 22

ESPECTRO DE FOURIER, ROMA-C, 30m, 31.5.90

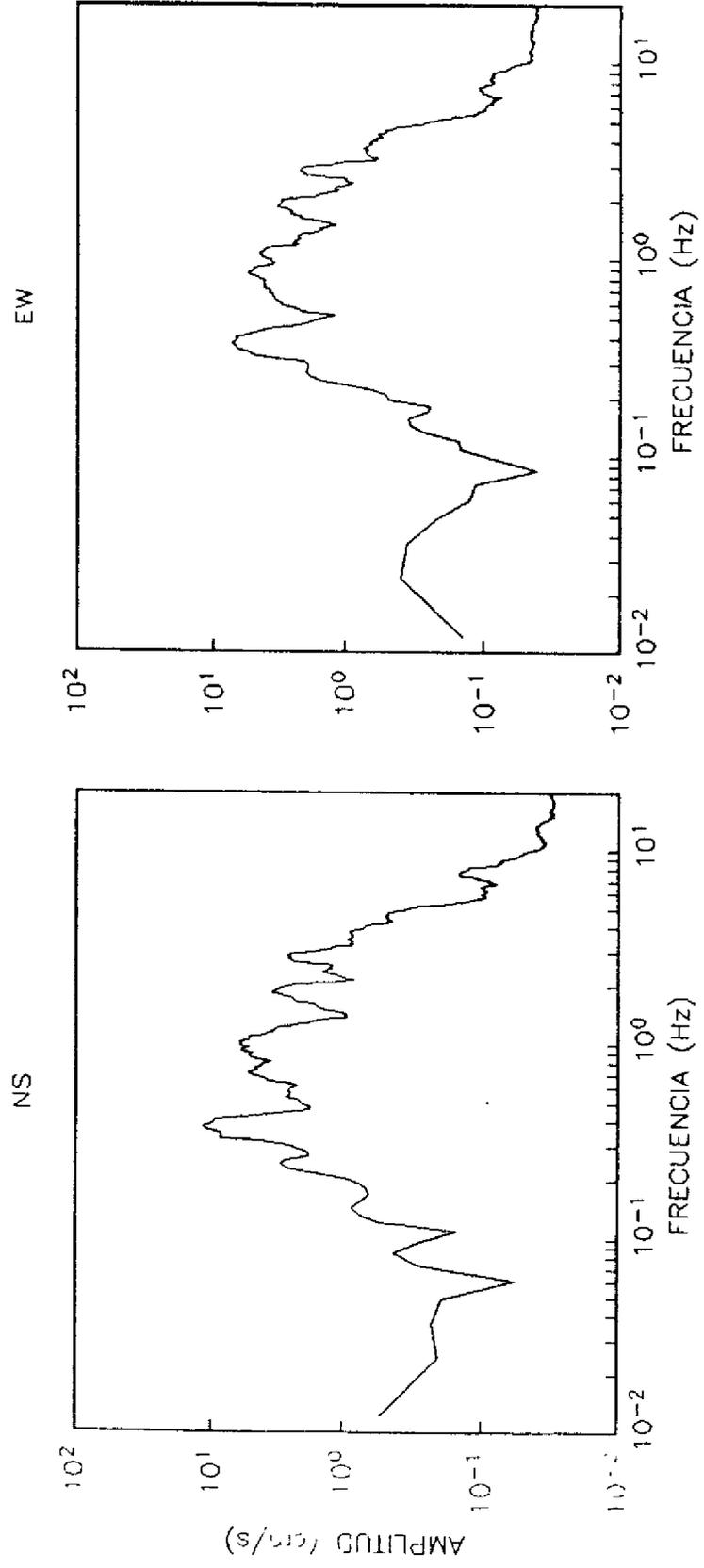


Figura 23

ESPECTRO DE FOURIER, ROMA-C, 102m, 31.5.90

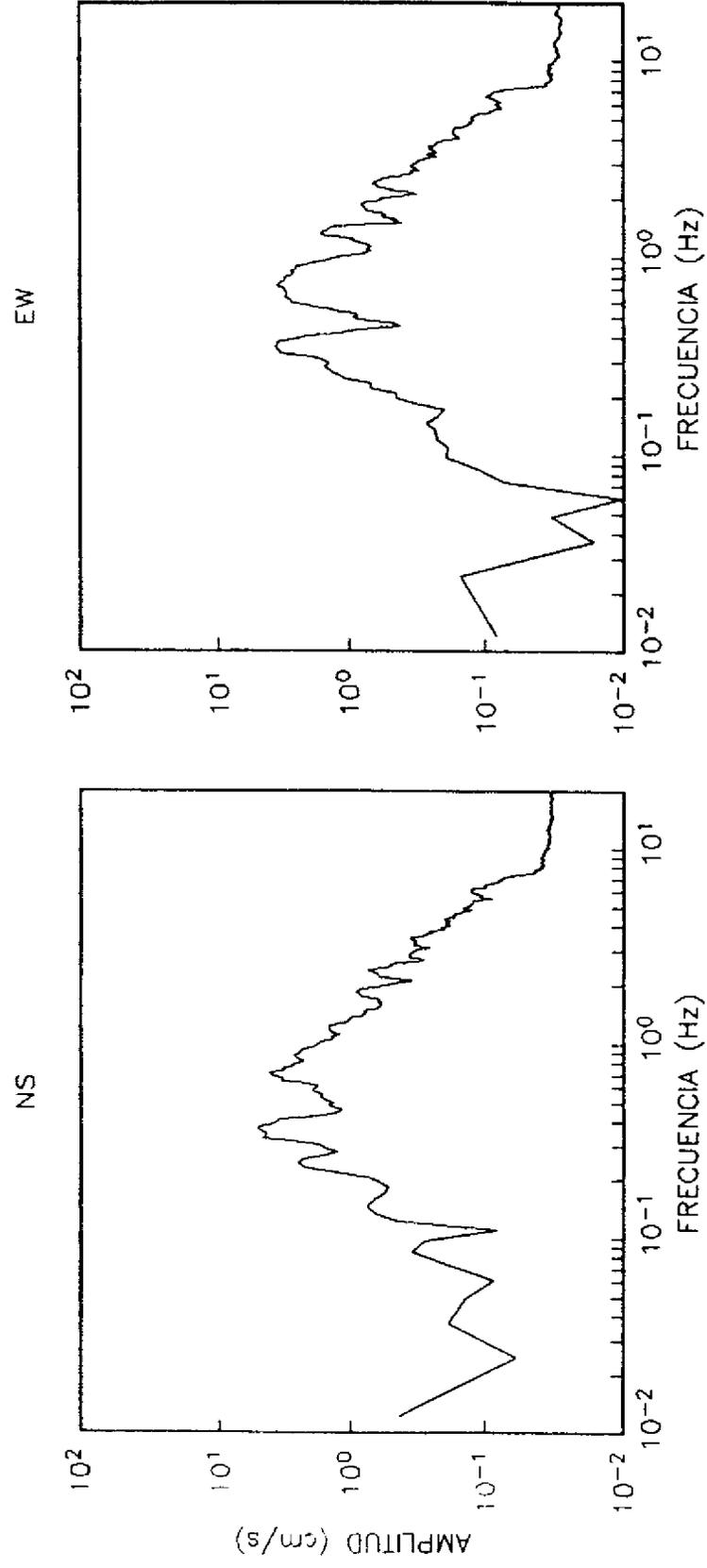


Figura 24

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA EMPIRICAS Y TEORICAS

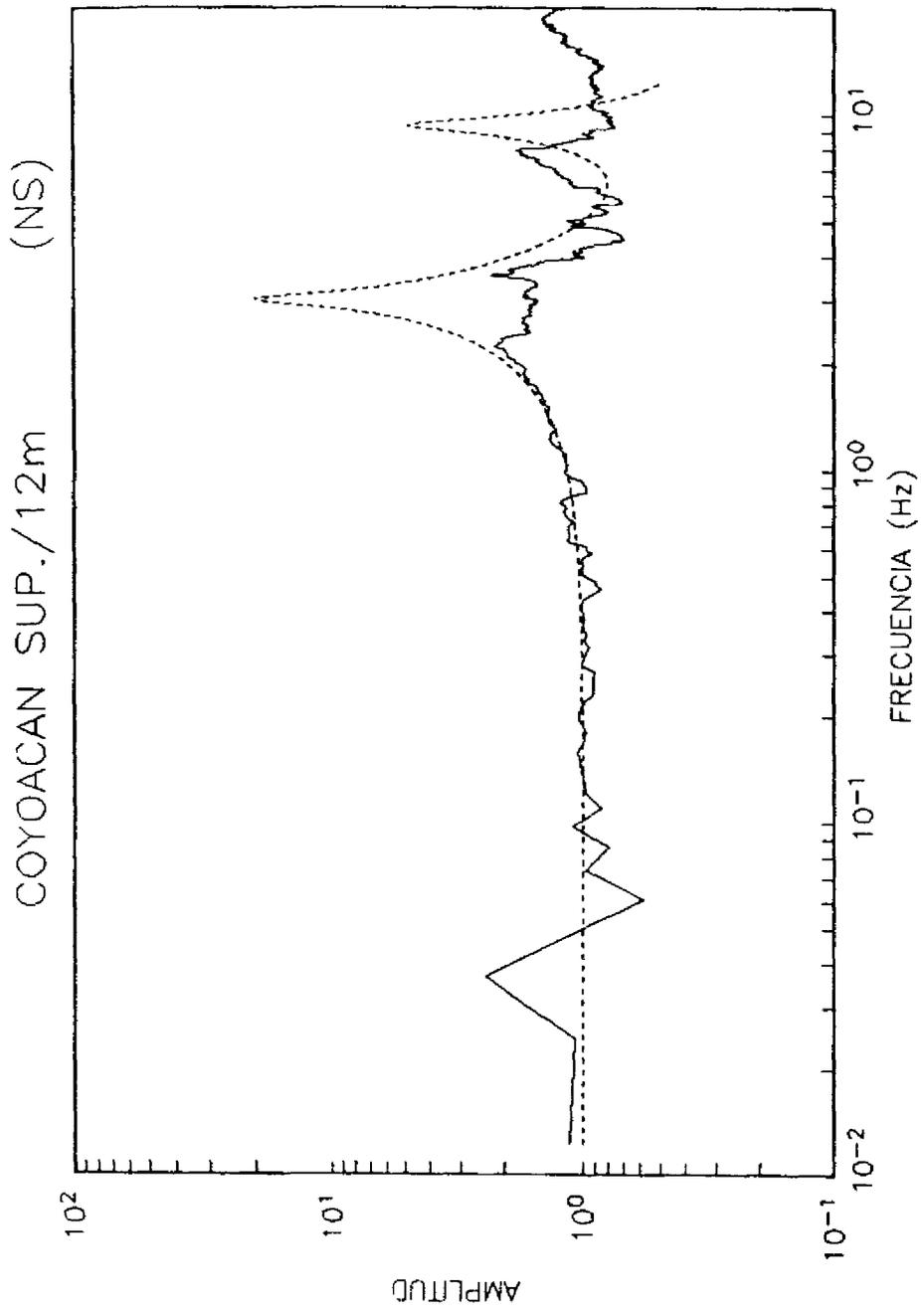


Figura 25. Notese como el cociente empírico (línea continua) permanece constante en el valor de 1 hasta aproximadamente 1 Hz. y la poca amplificación hasta los 8 Hz. aprox. La función de transferencia teórica aparece con línea discontinua para todas las graficas.

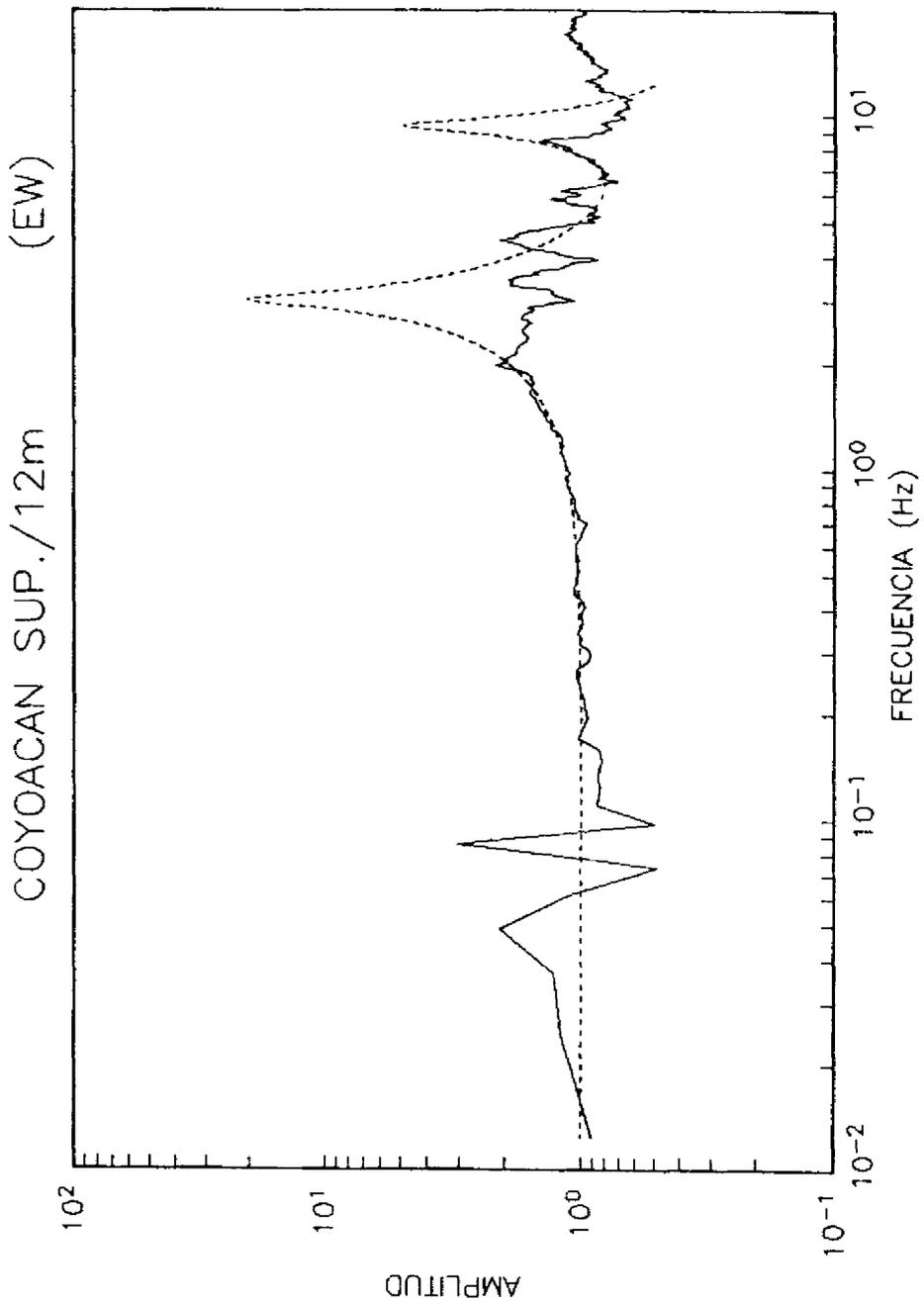


Figura 26. Al igual que en la figura anterior casi no existe amplificación en el cociente empírico para la mayoría de las frecuencias.

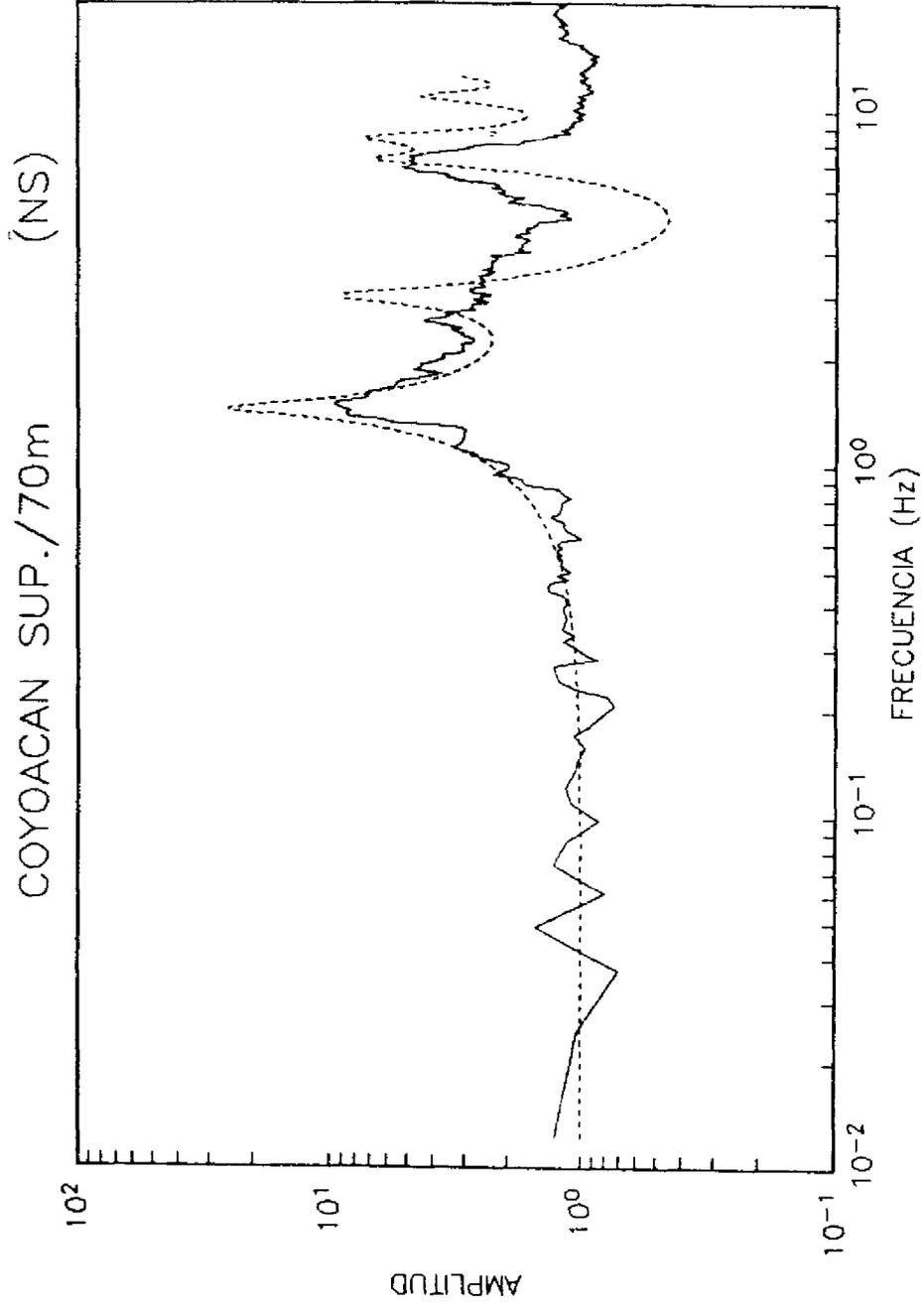


Figura 27

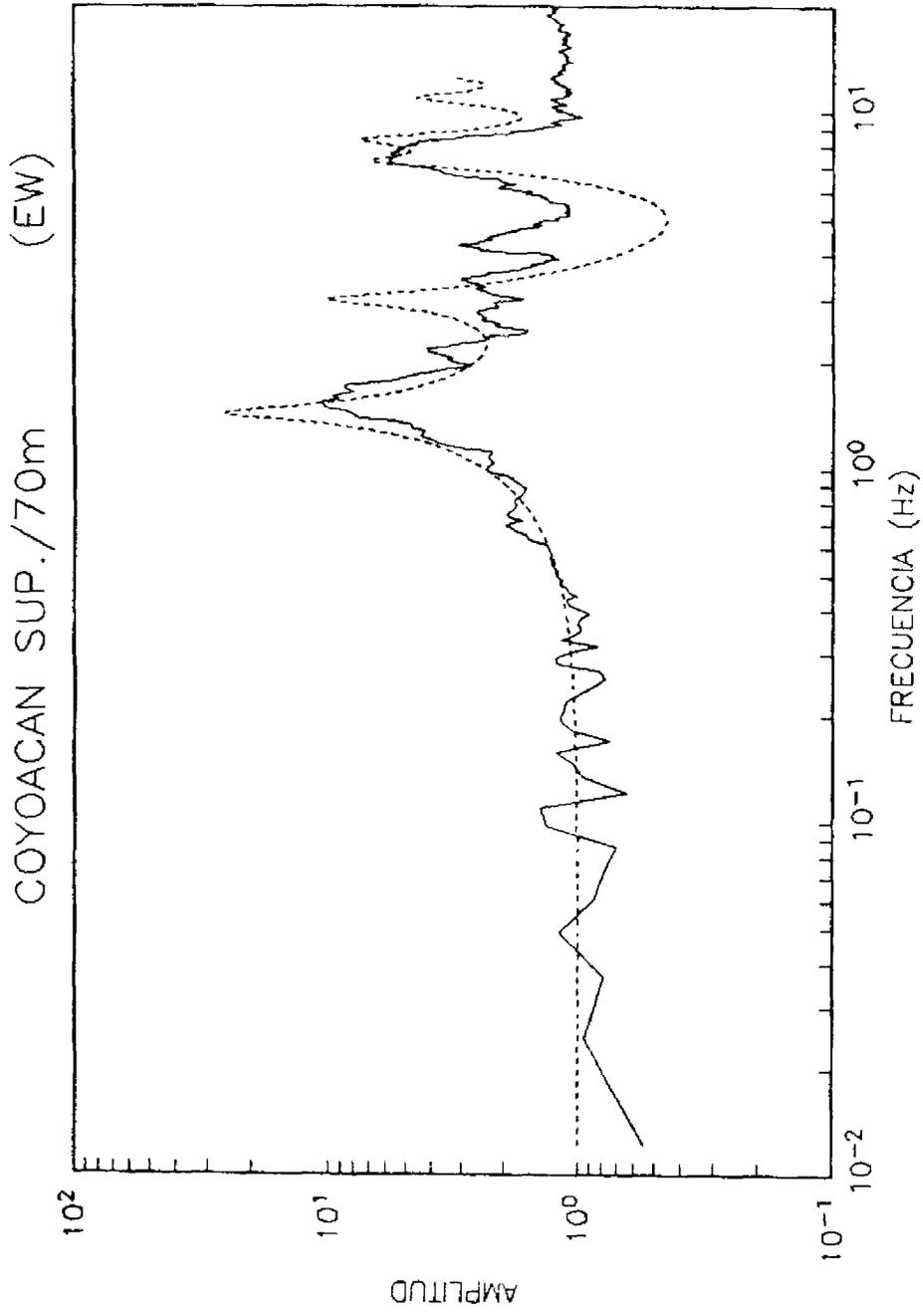


Figura 28

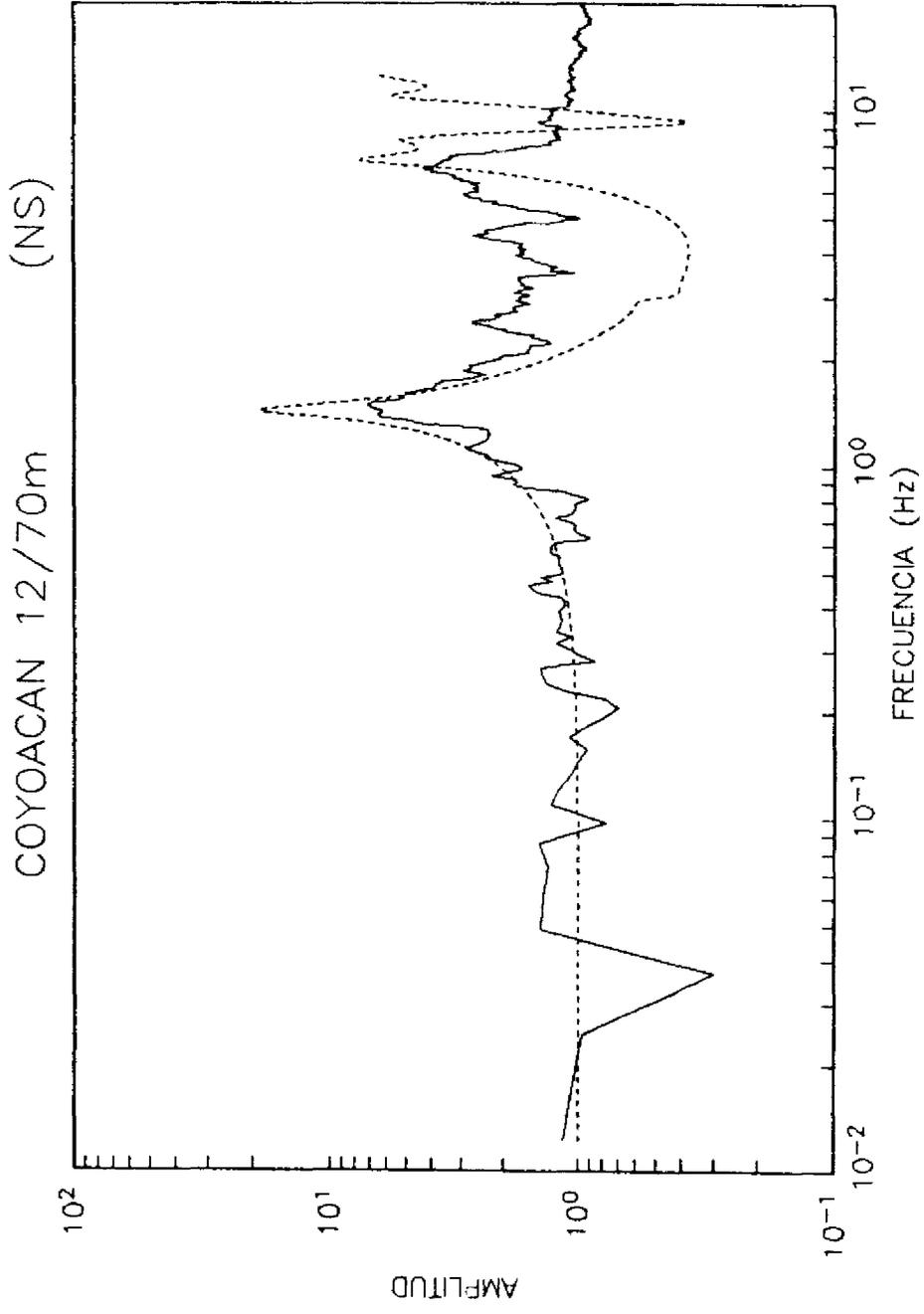


Figura 29

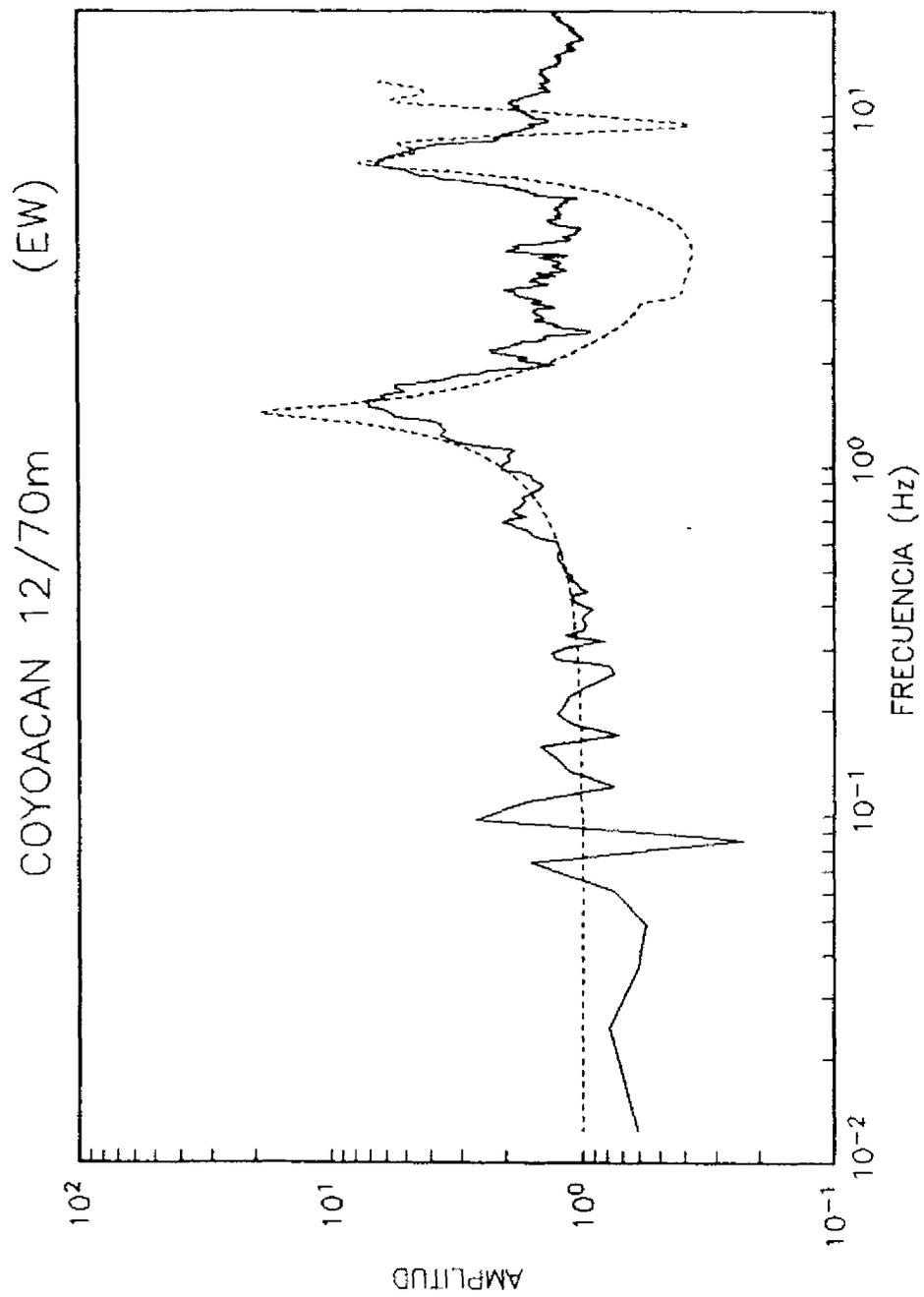


Figura 30

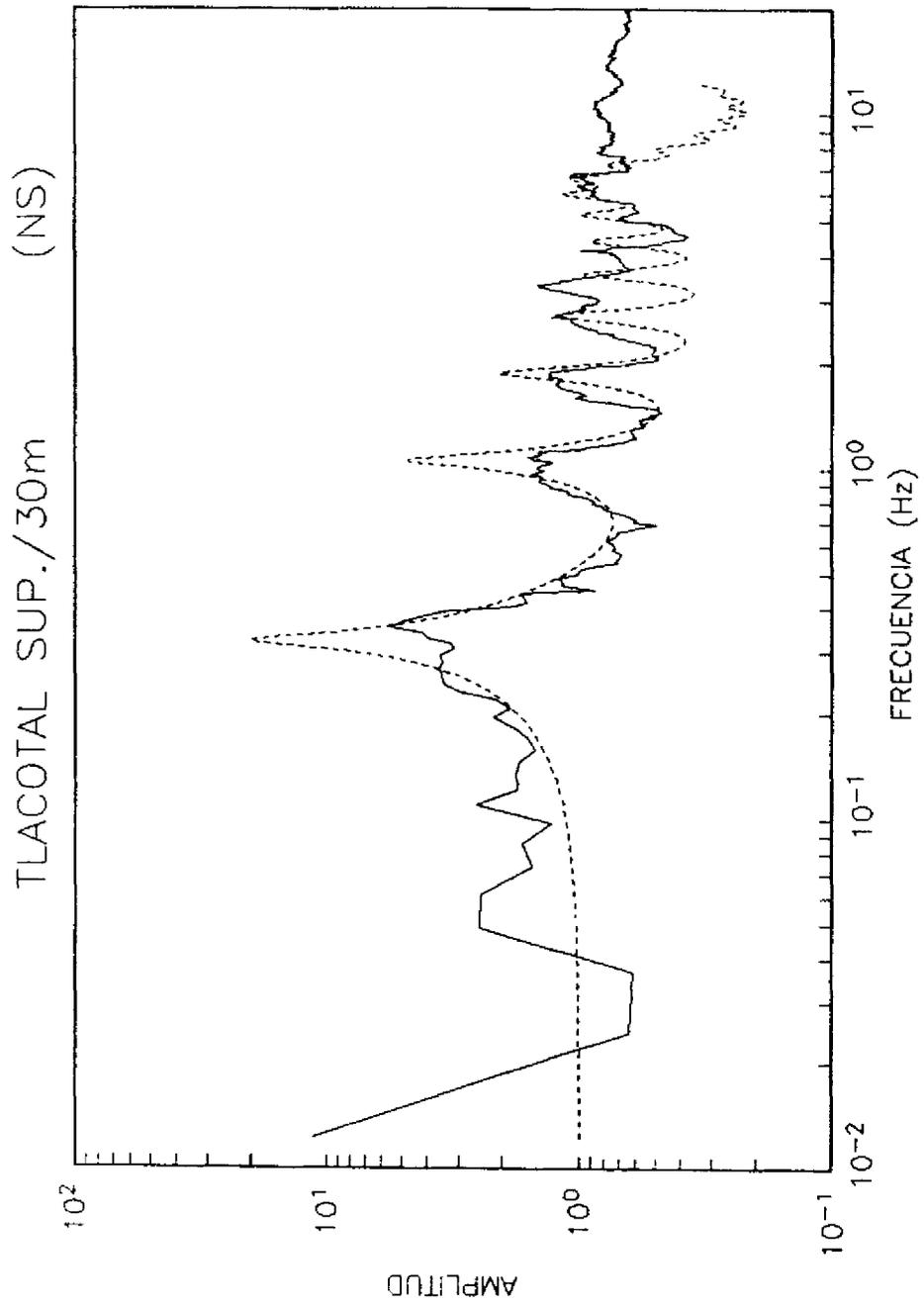


Figura 31

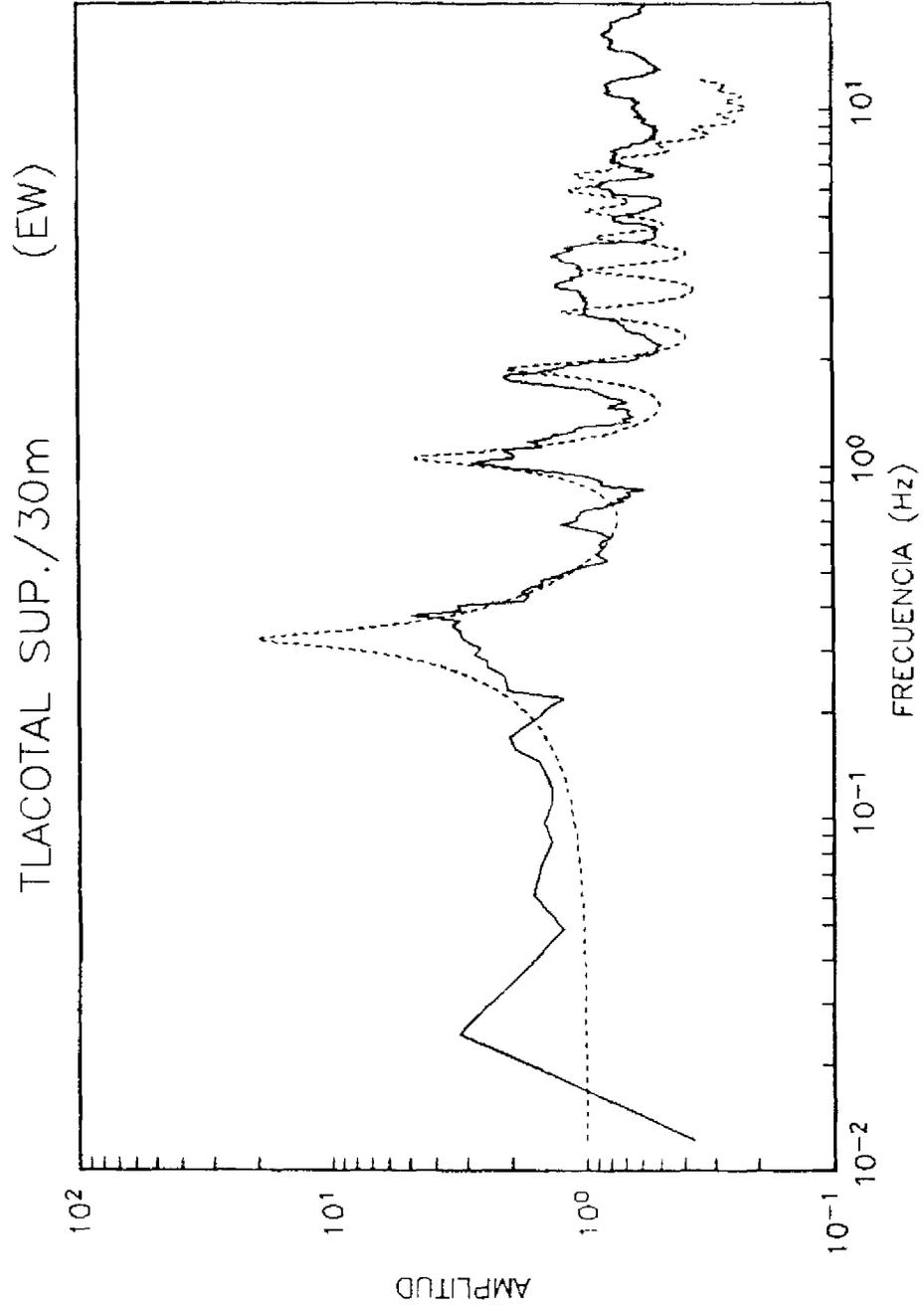


Figura 32

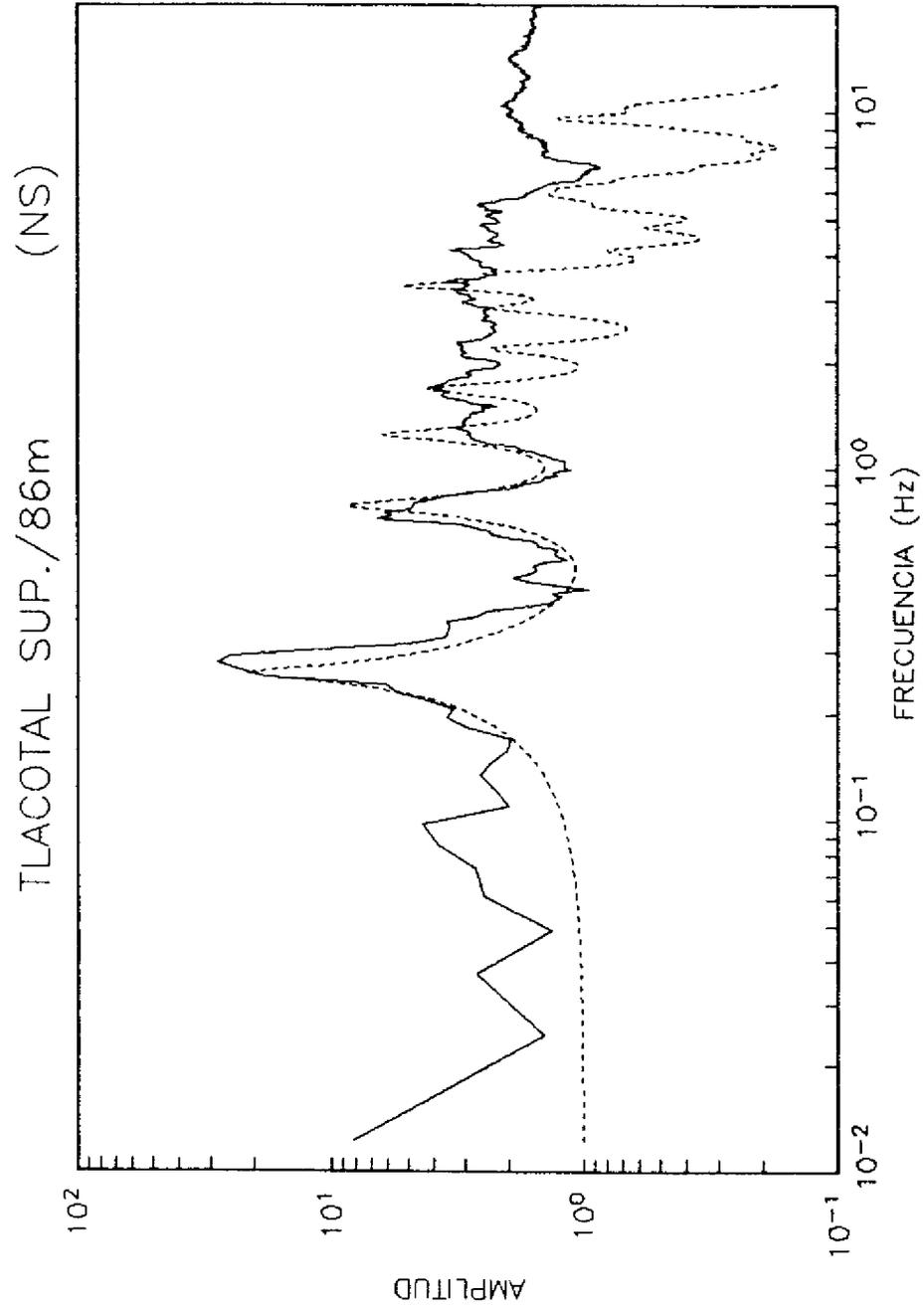


Figura 33

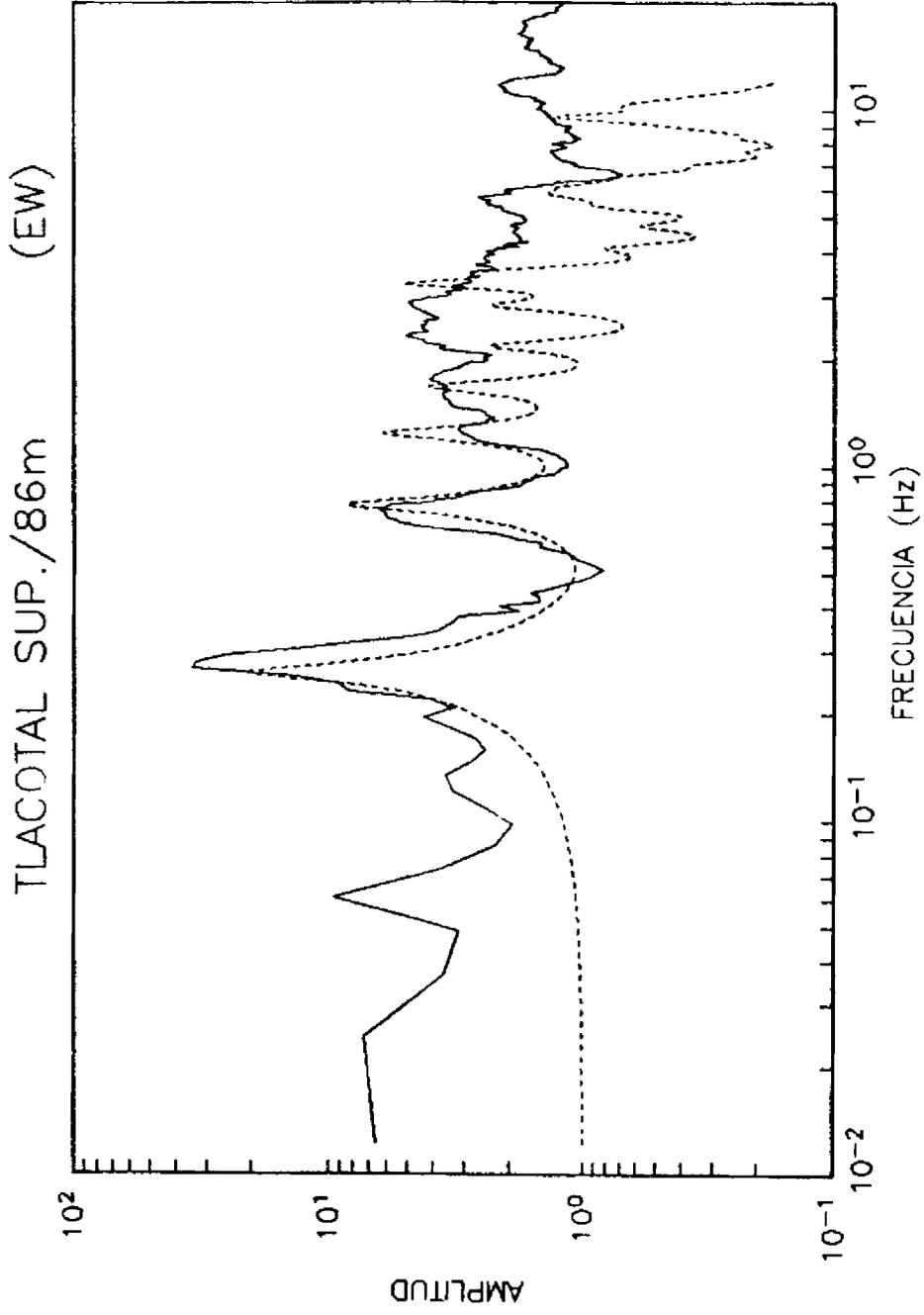


Figura 34

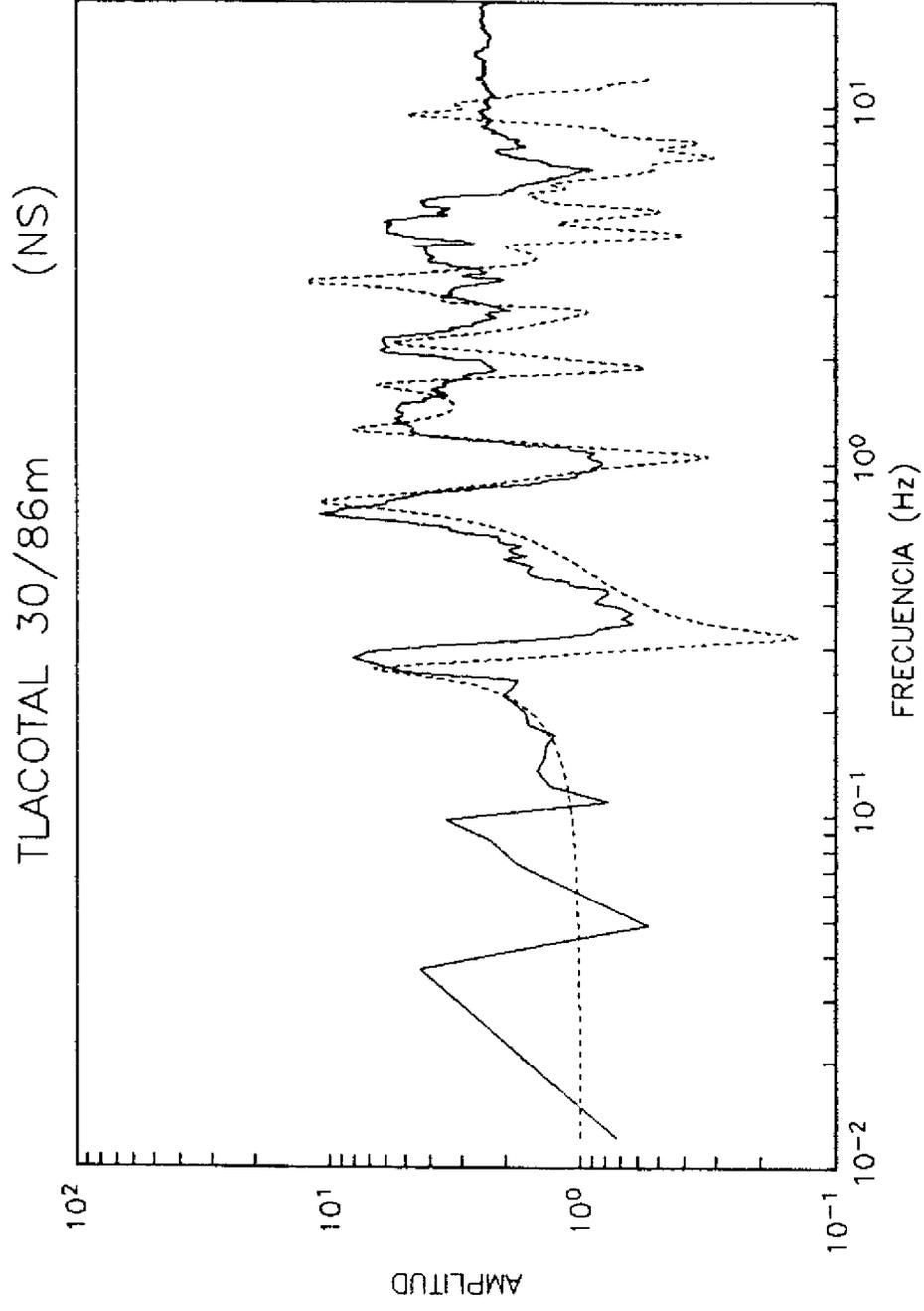


Figura 35

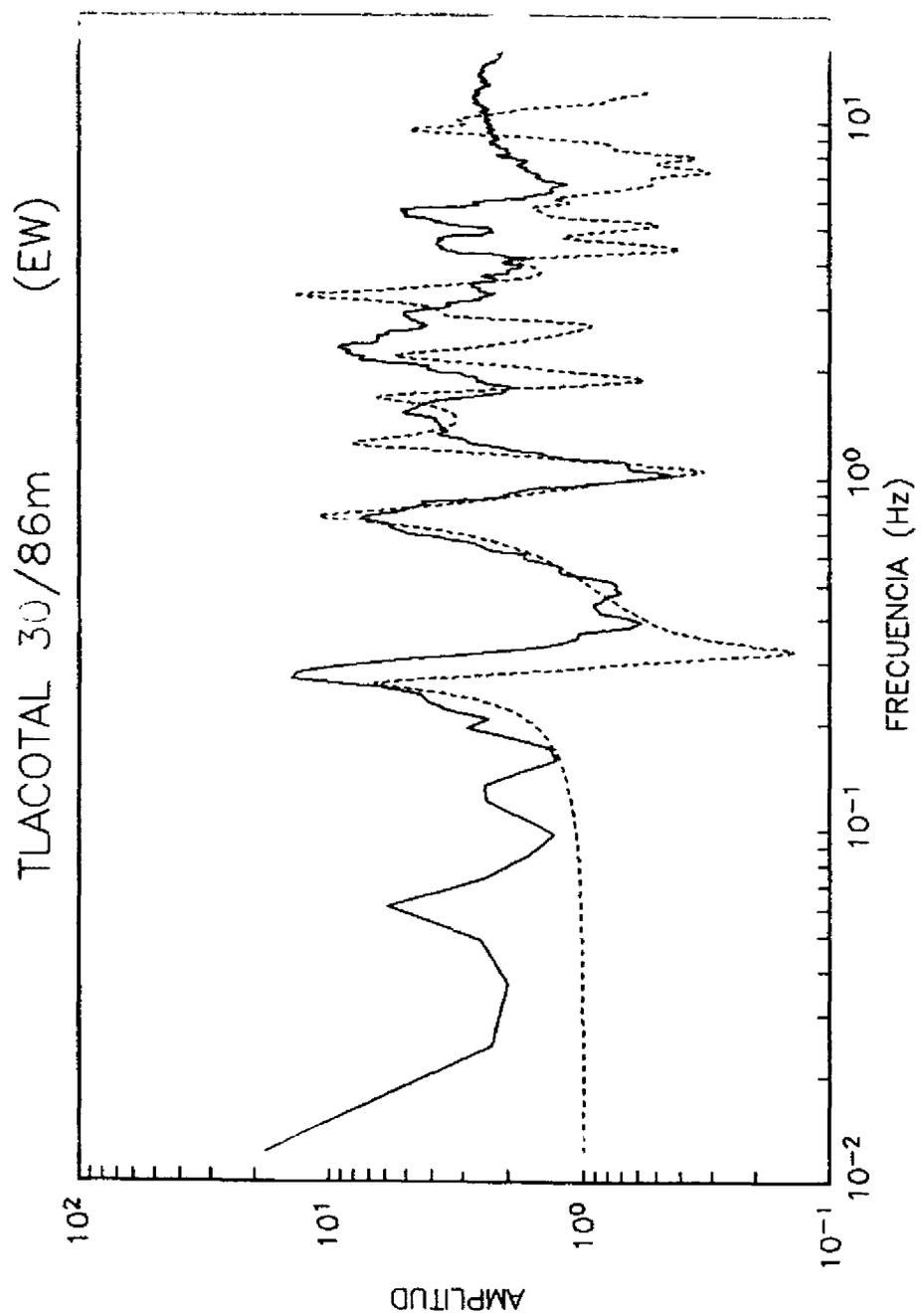


Figura 36

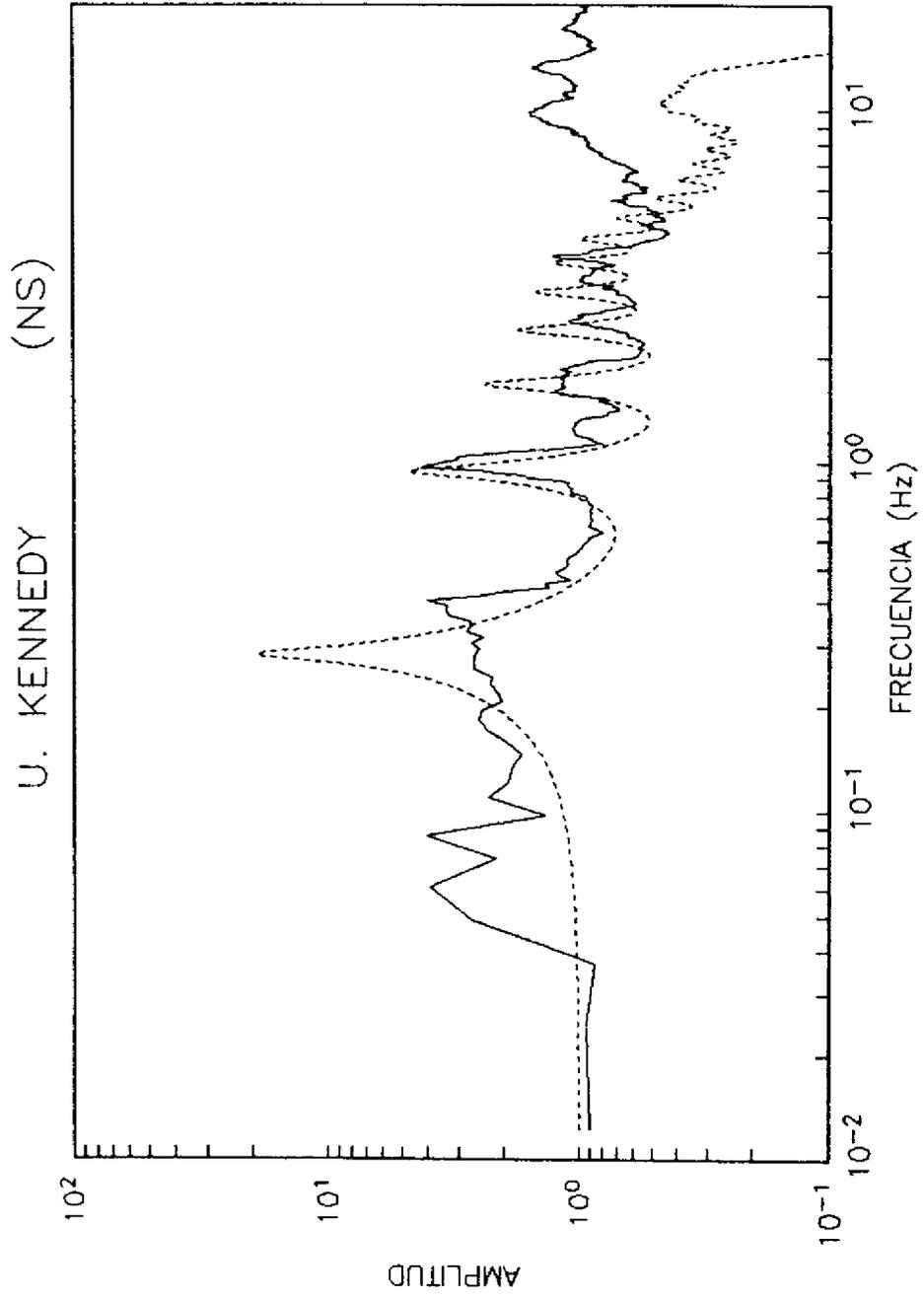


Figura 37

U. KENNEDY (EW)

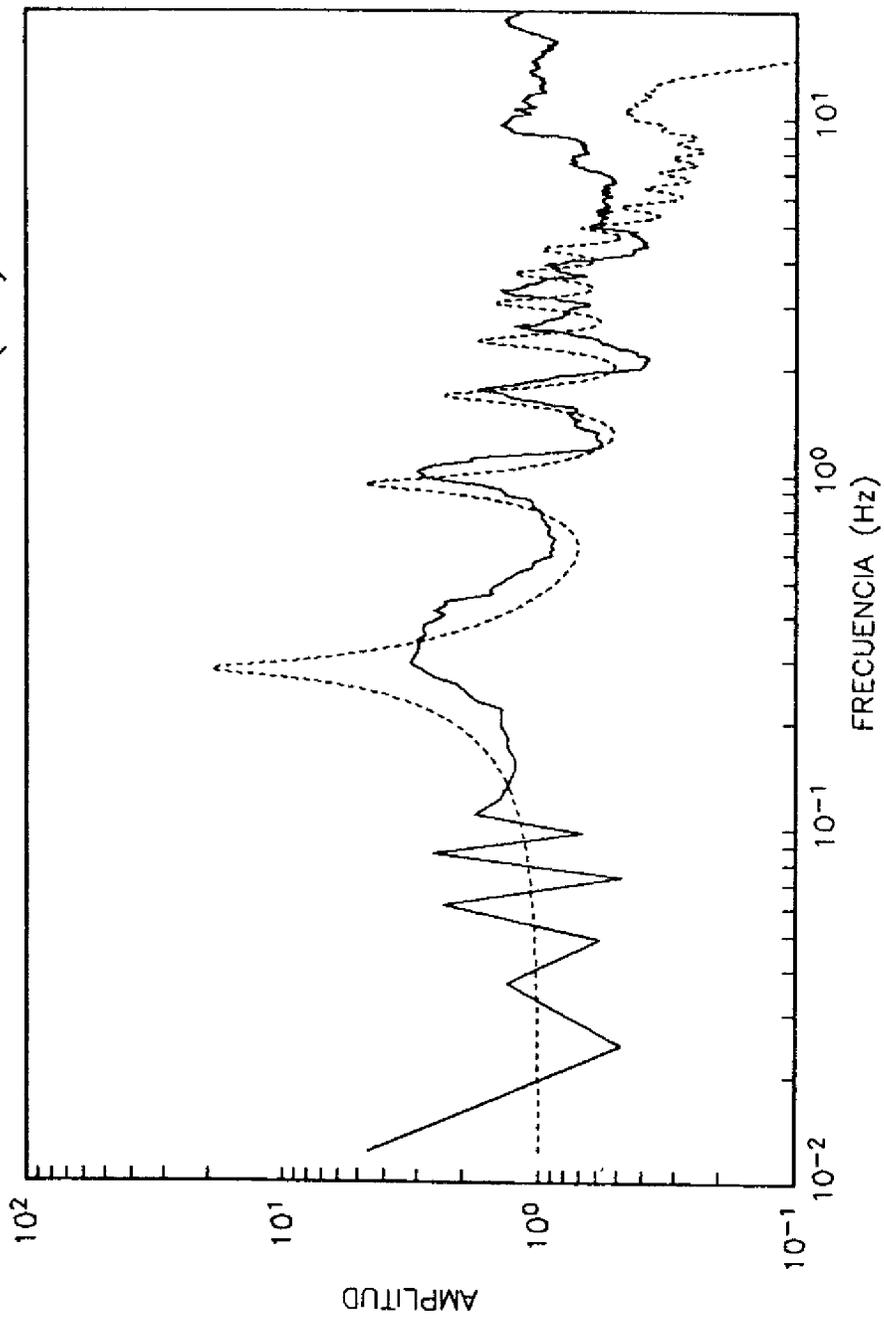


Figura 38

U. KENNEDY (NS)

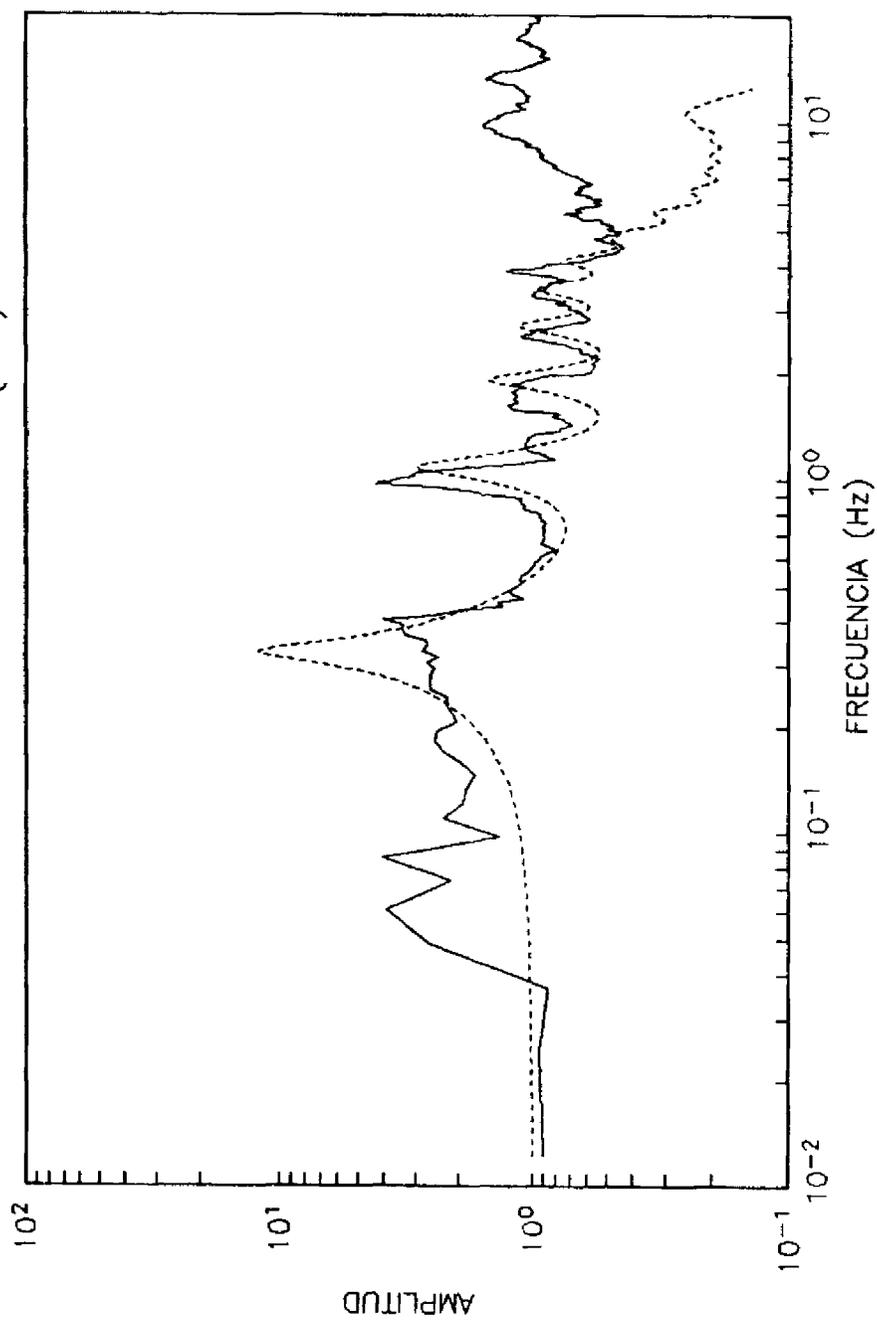


Figura 39

U. KENNEDY (EW)

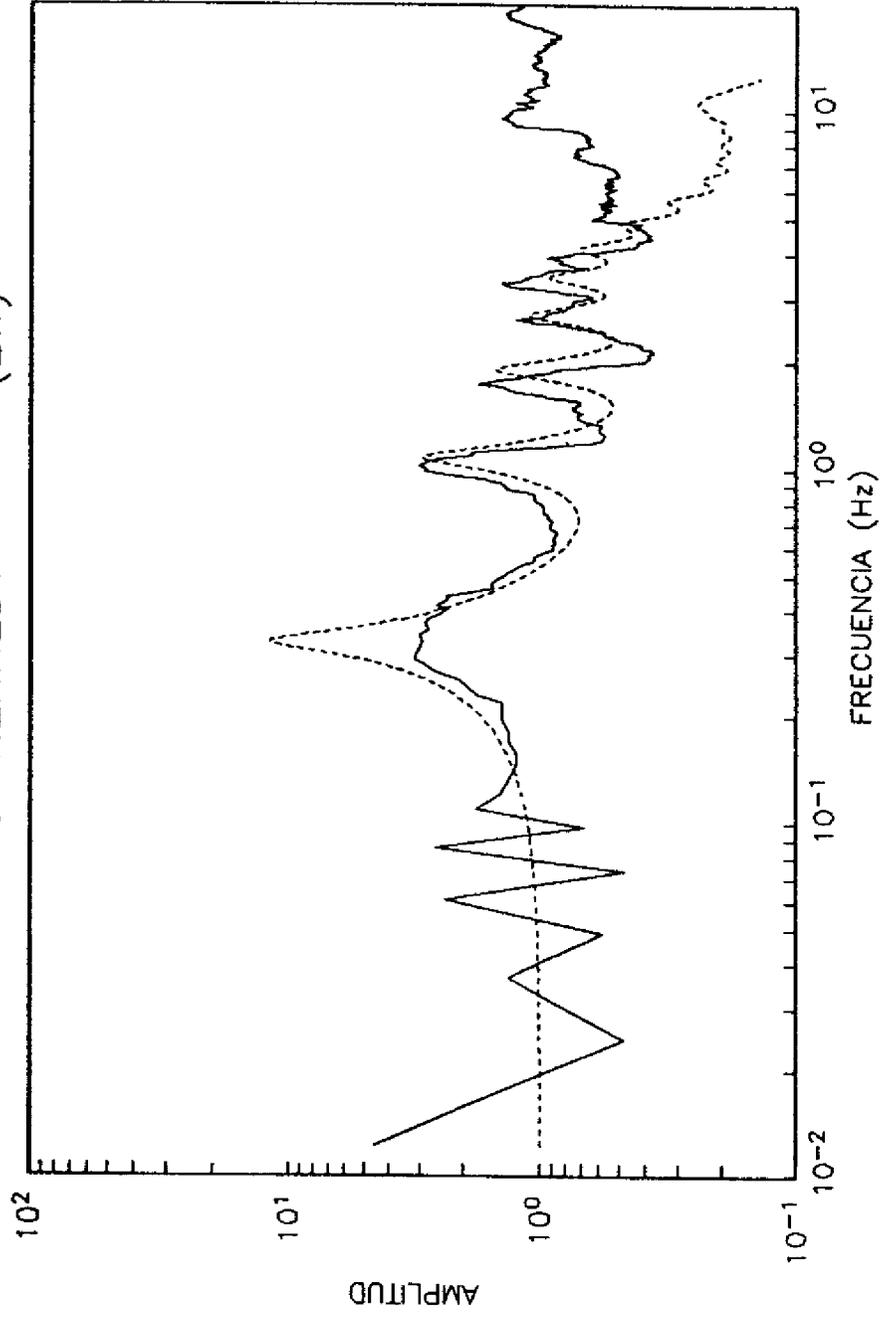


Figura 40

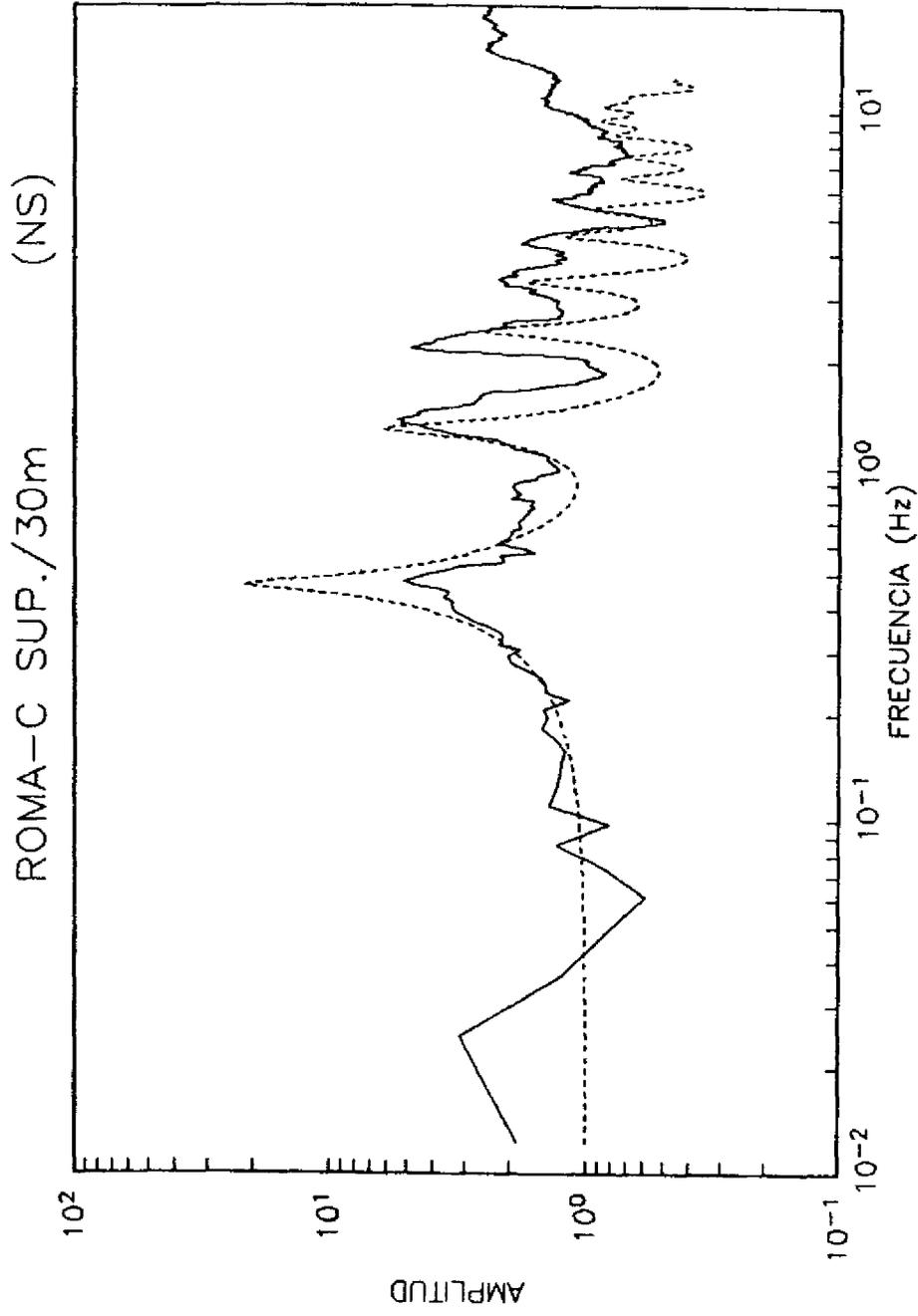


Figura 41

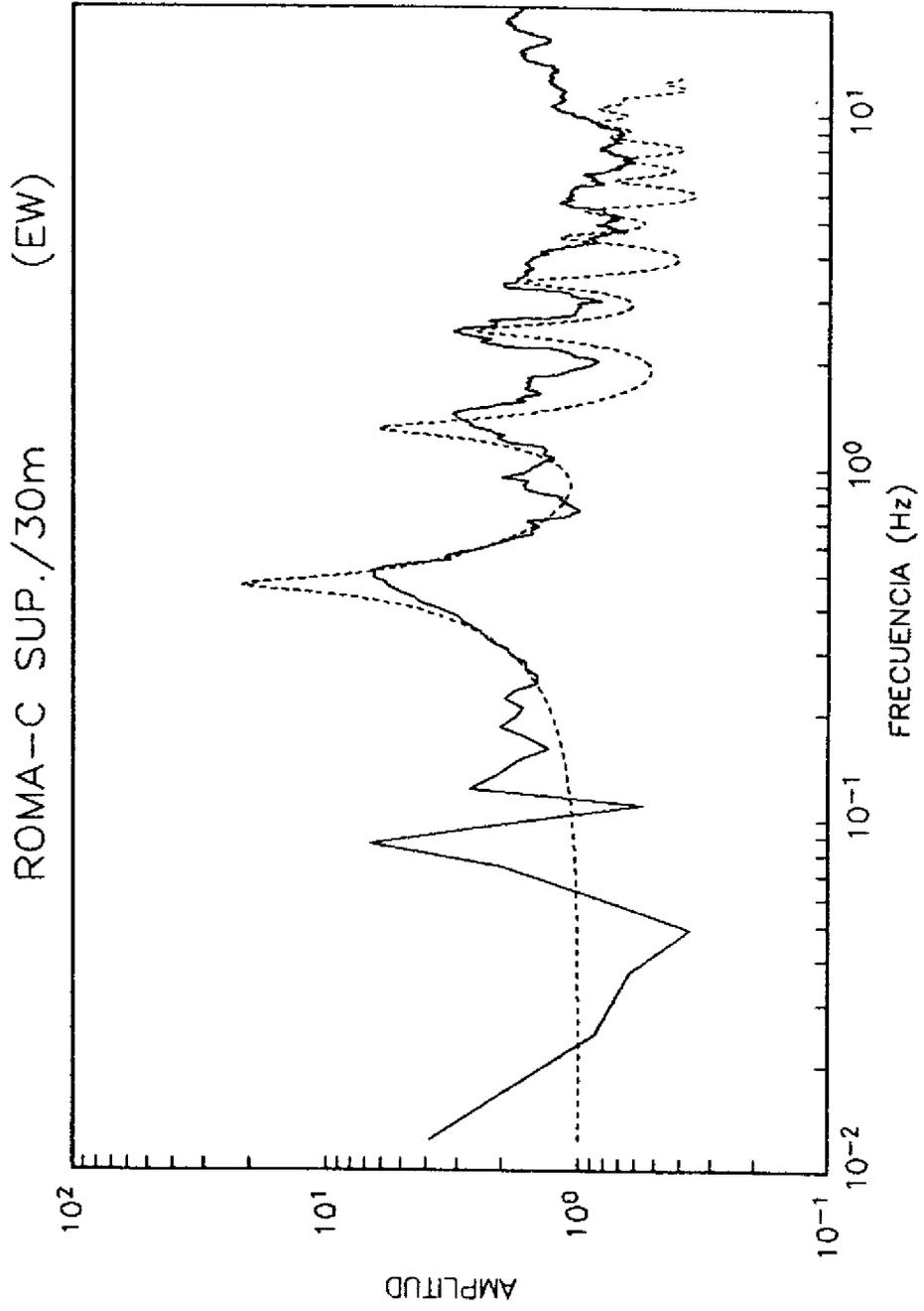


Figura 42

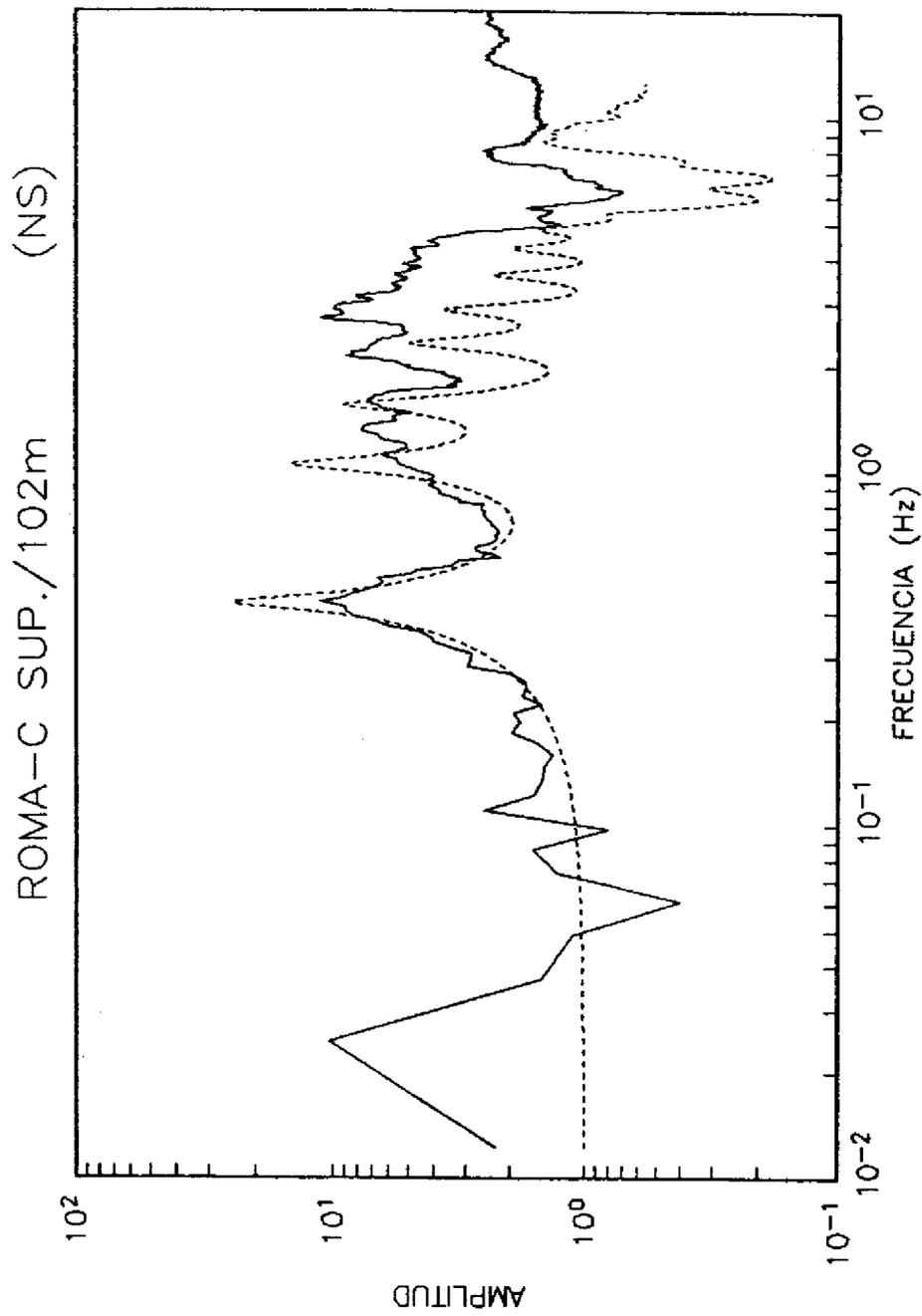


Figura 43

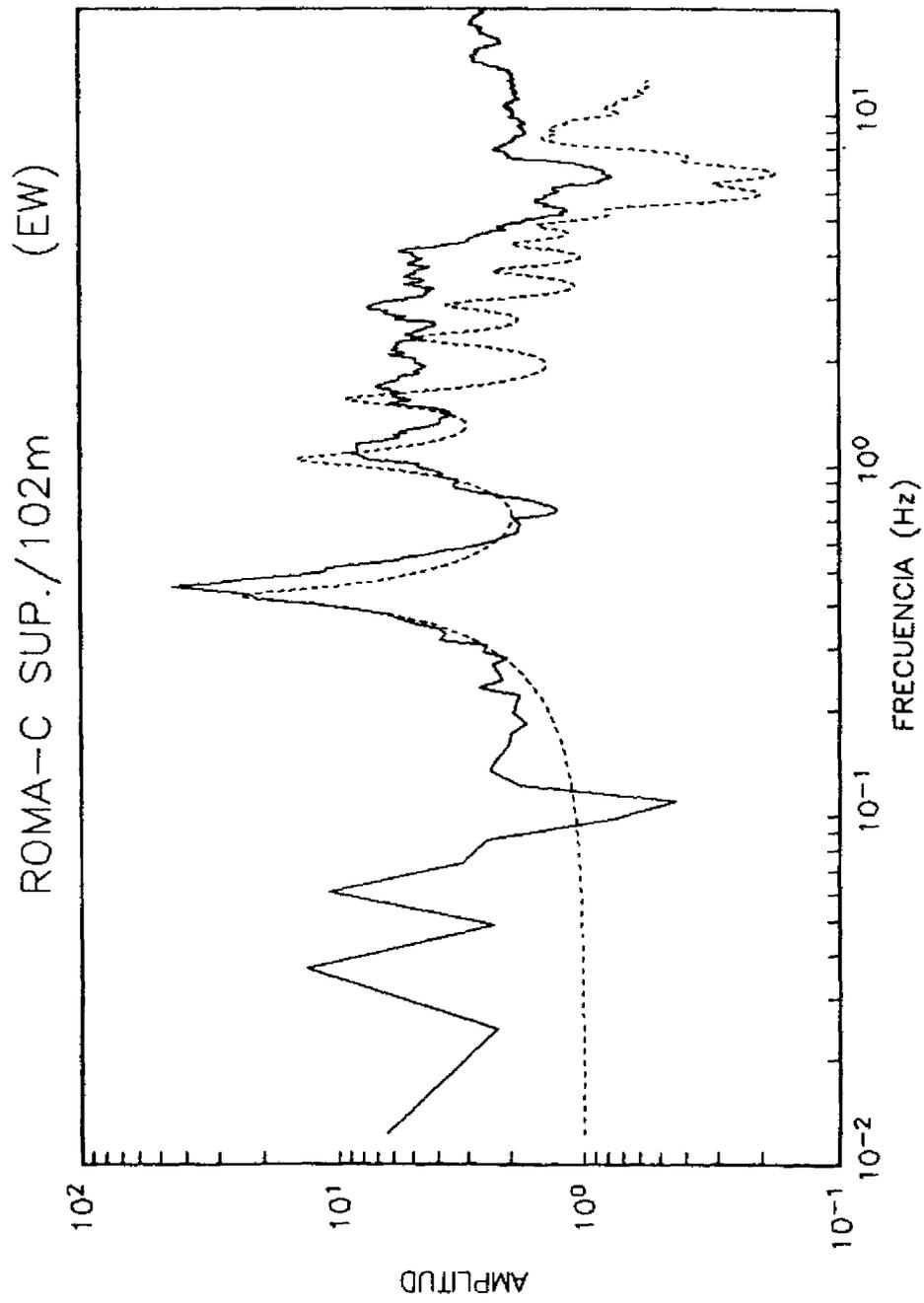


Figura 44

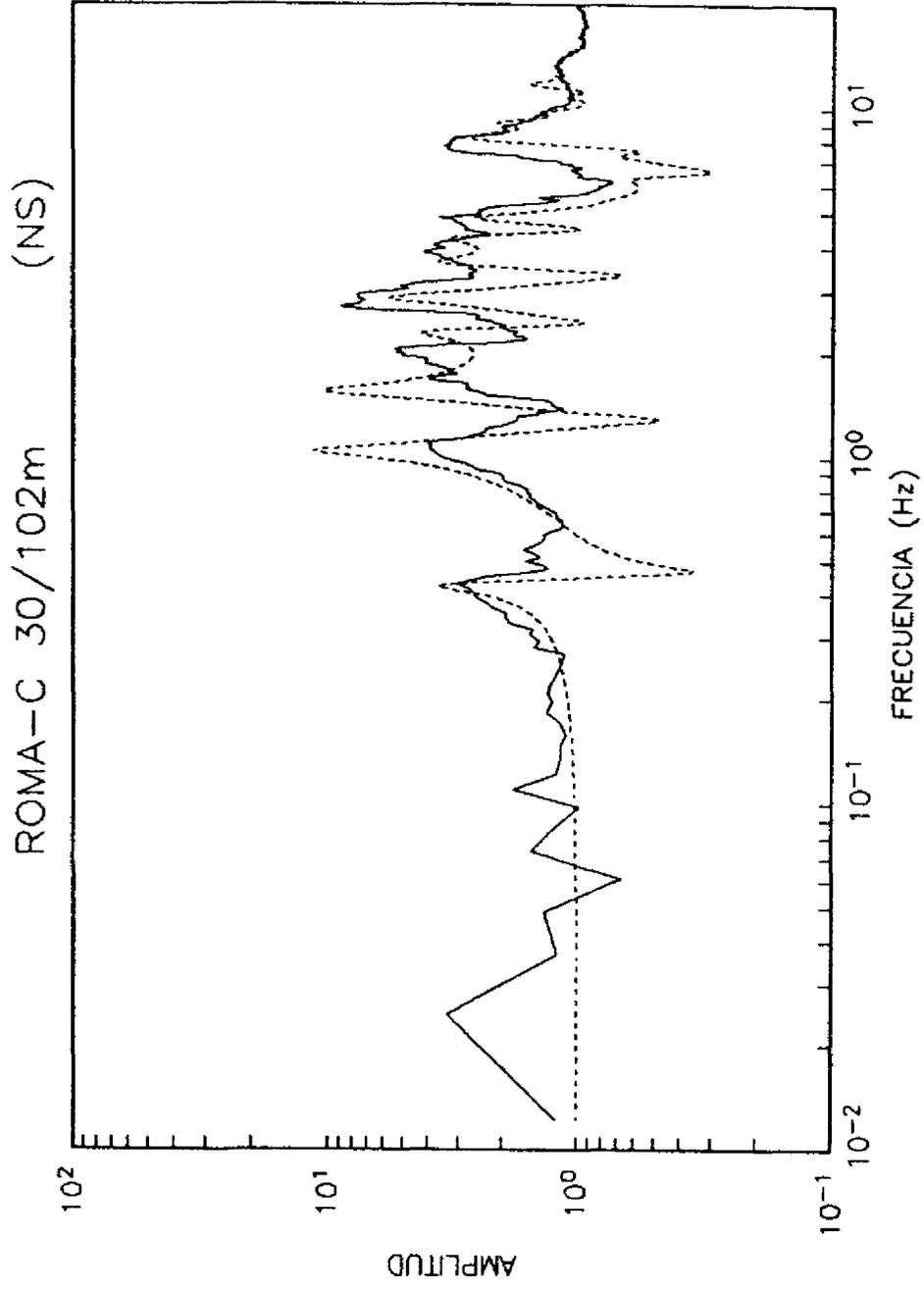


Figura 45

SISMOGRAMAS SINTETICOS

COYOACAN NS

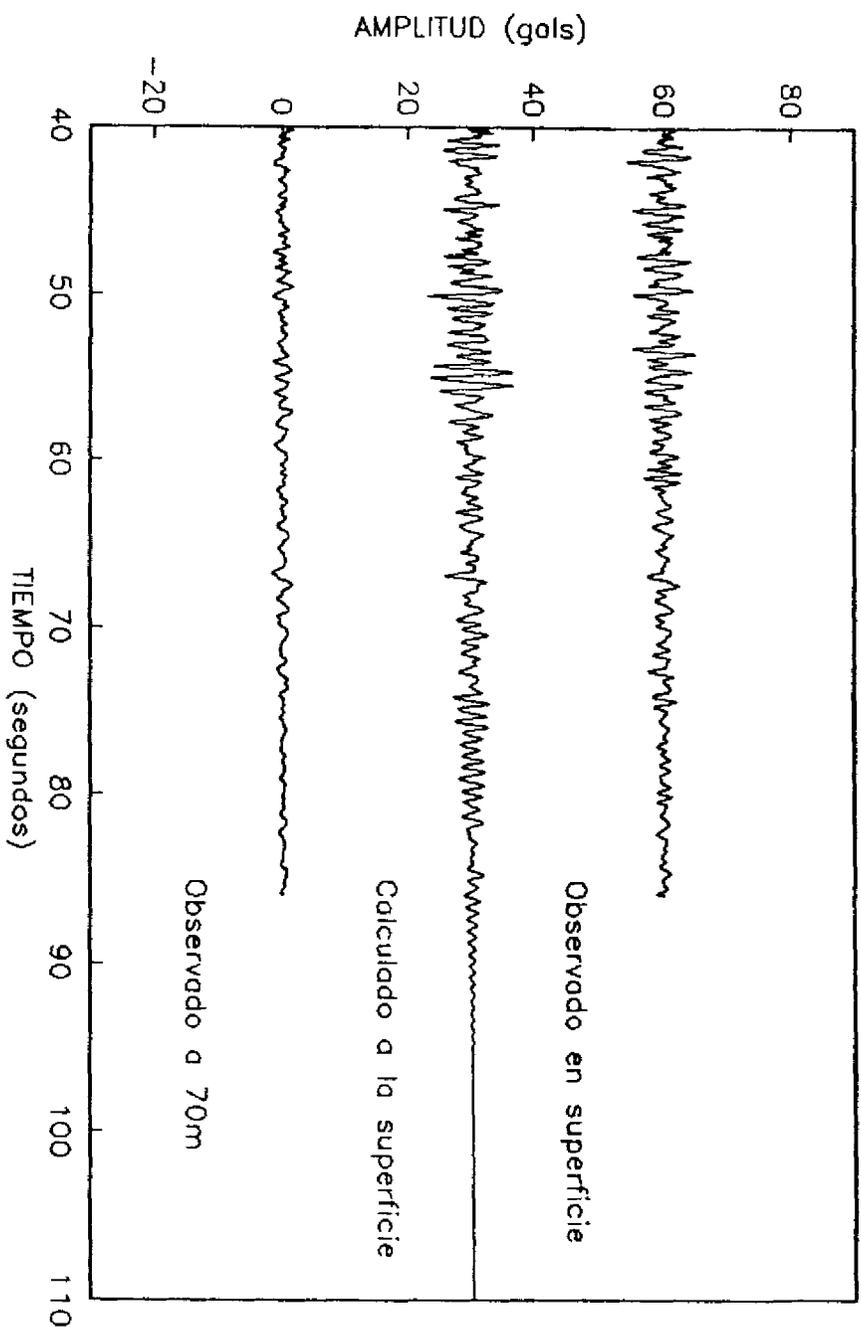


Figura 47

COYOACAN EW

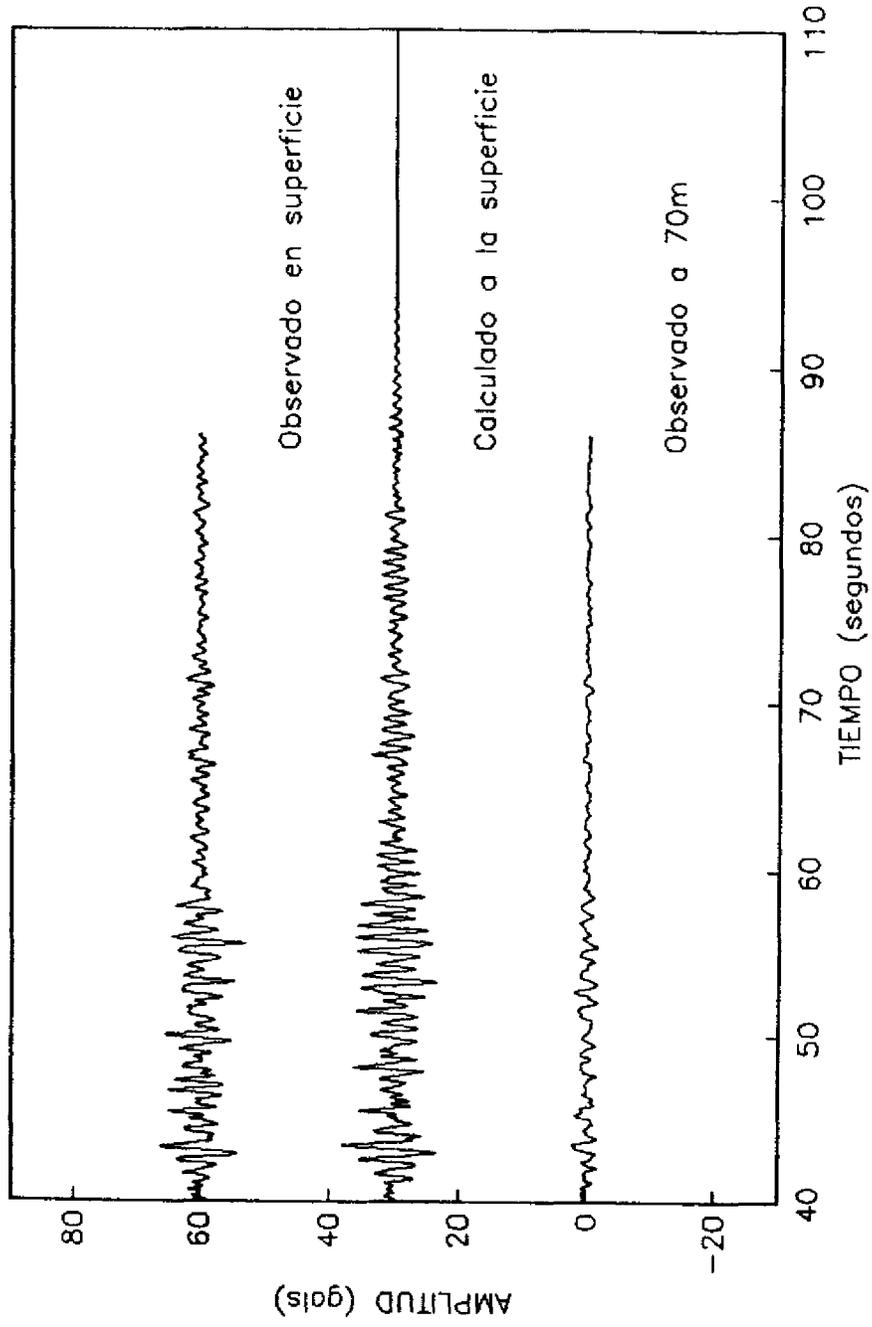


Figura 48

COYOACAN NS

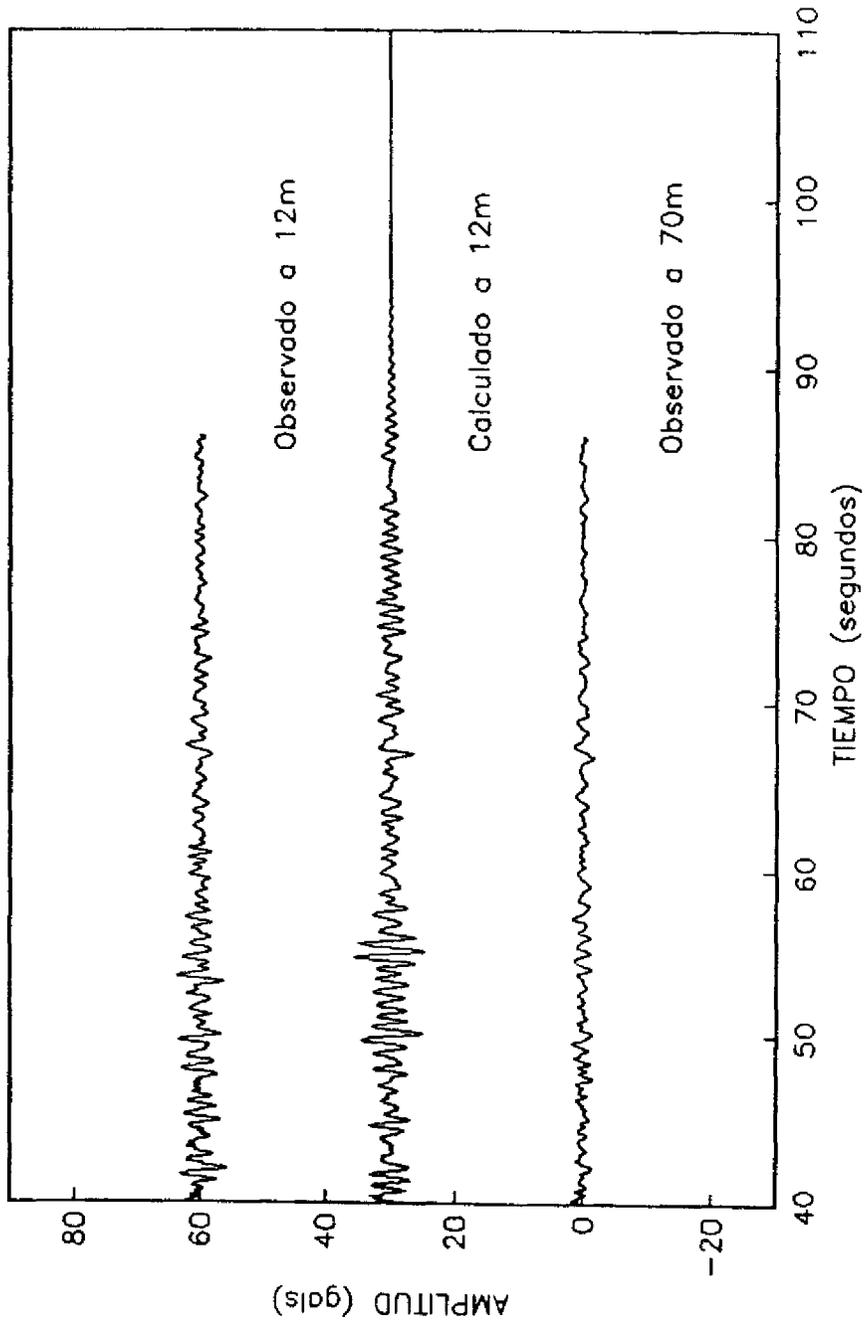


Figura 49

COYOACAN EW

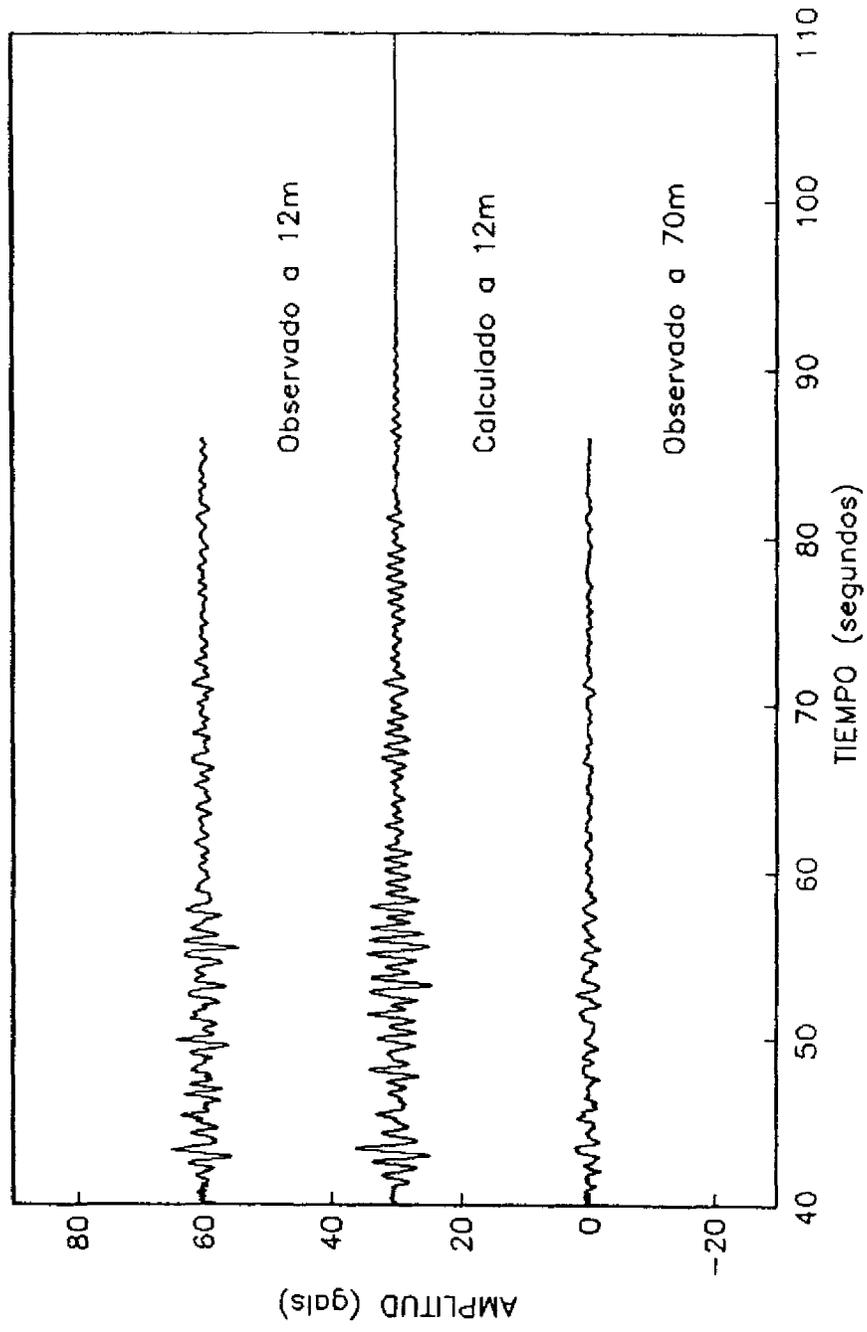


Figura 50

TLACOTAL NS

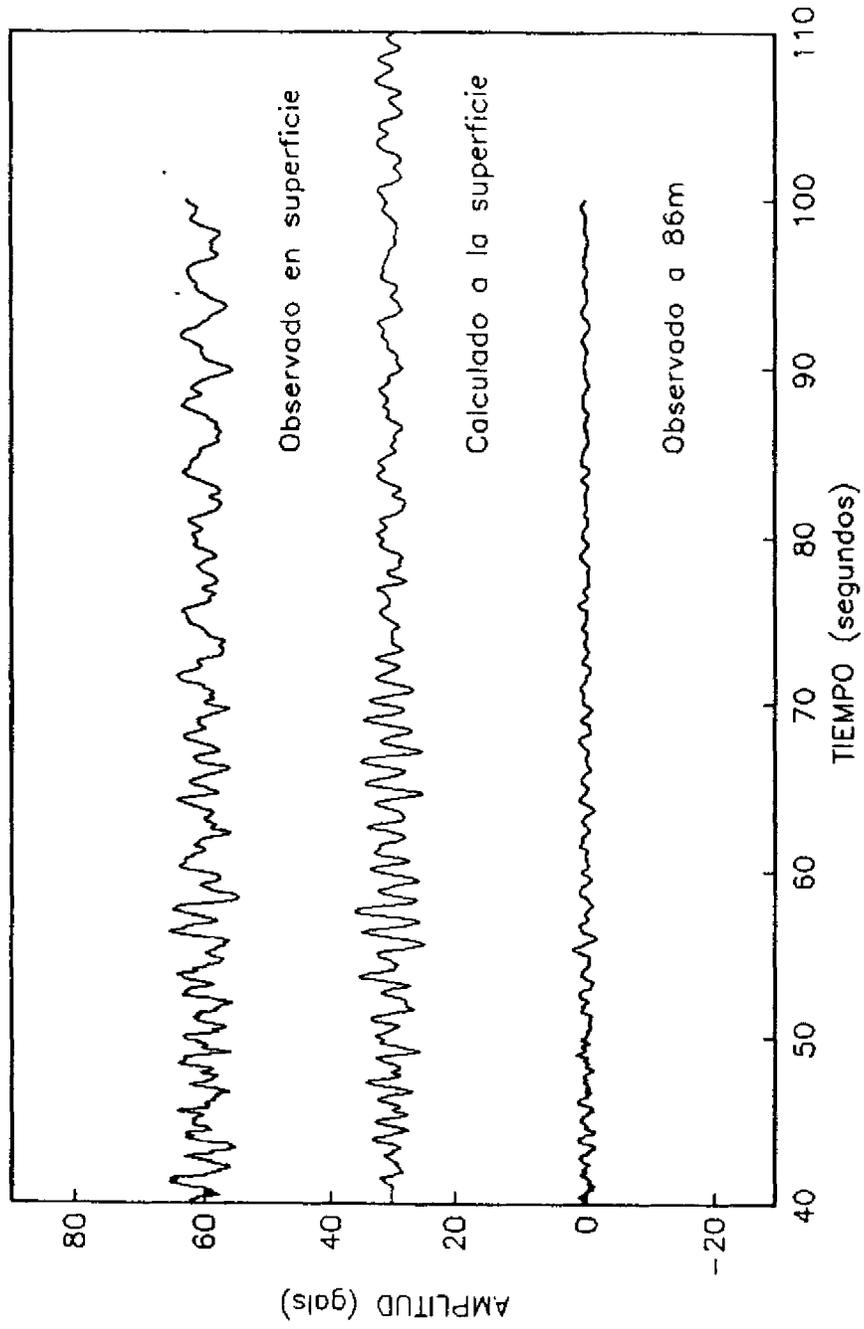


Figura 51

TLACOTAL EW

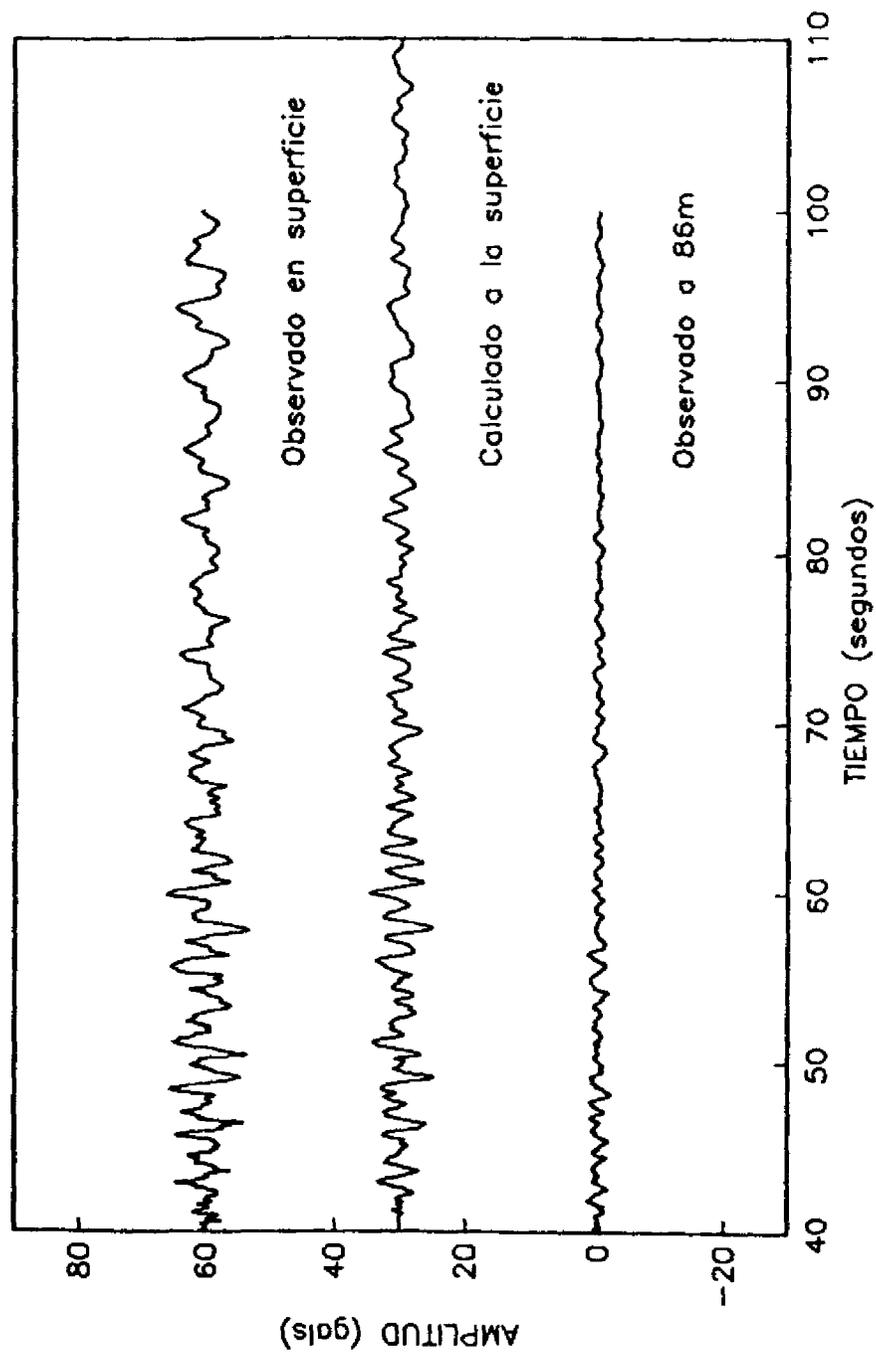


Figura 52

TLACOTAL NS

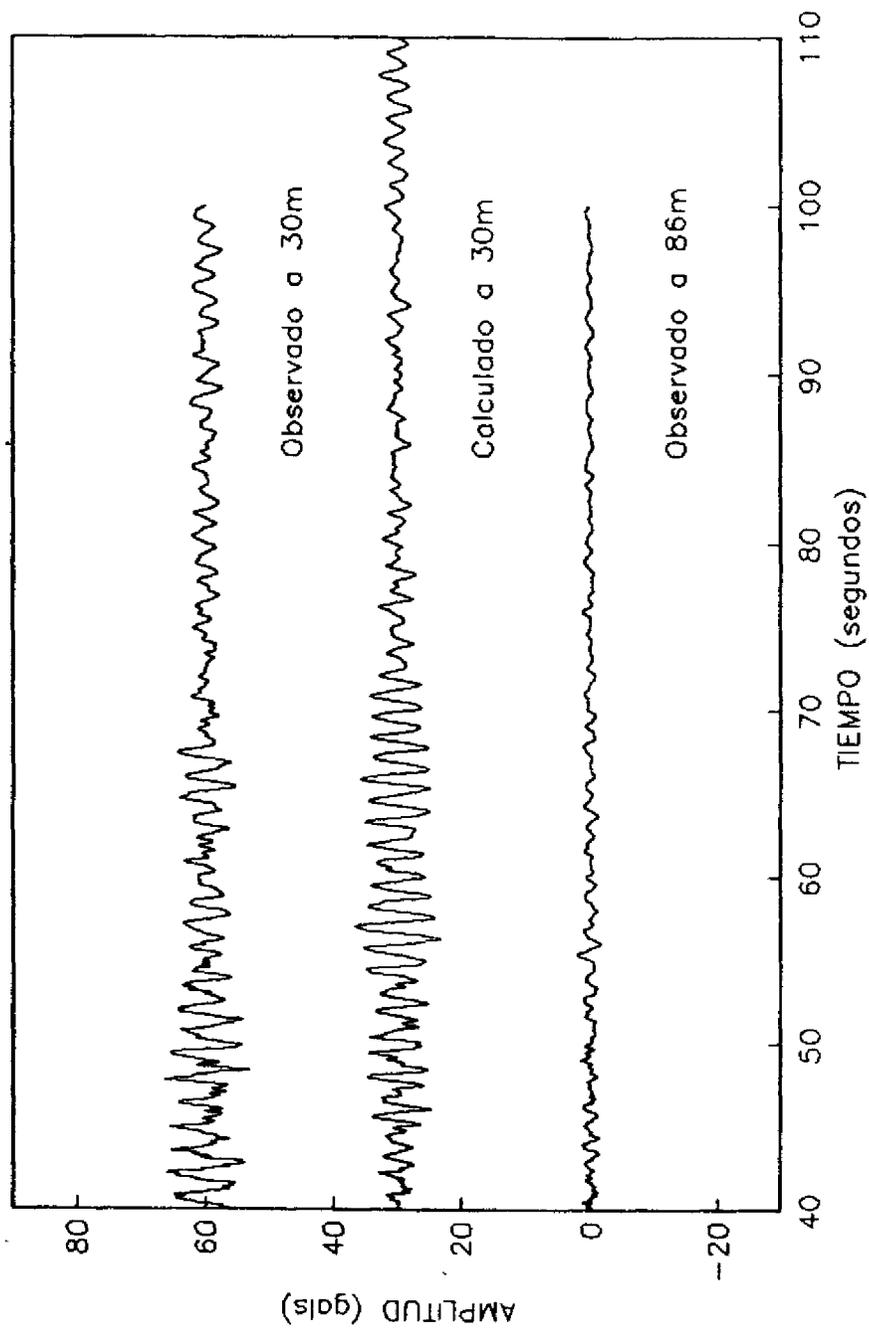


Figura 53

TLACOTAL EW

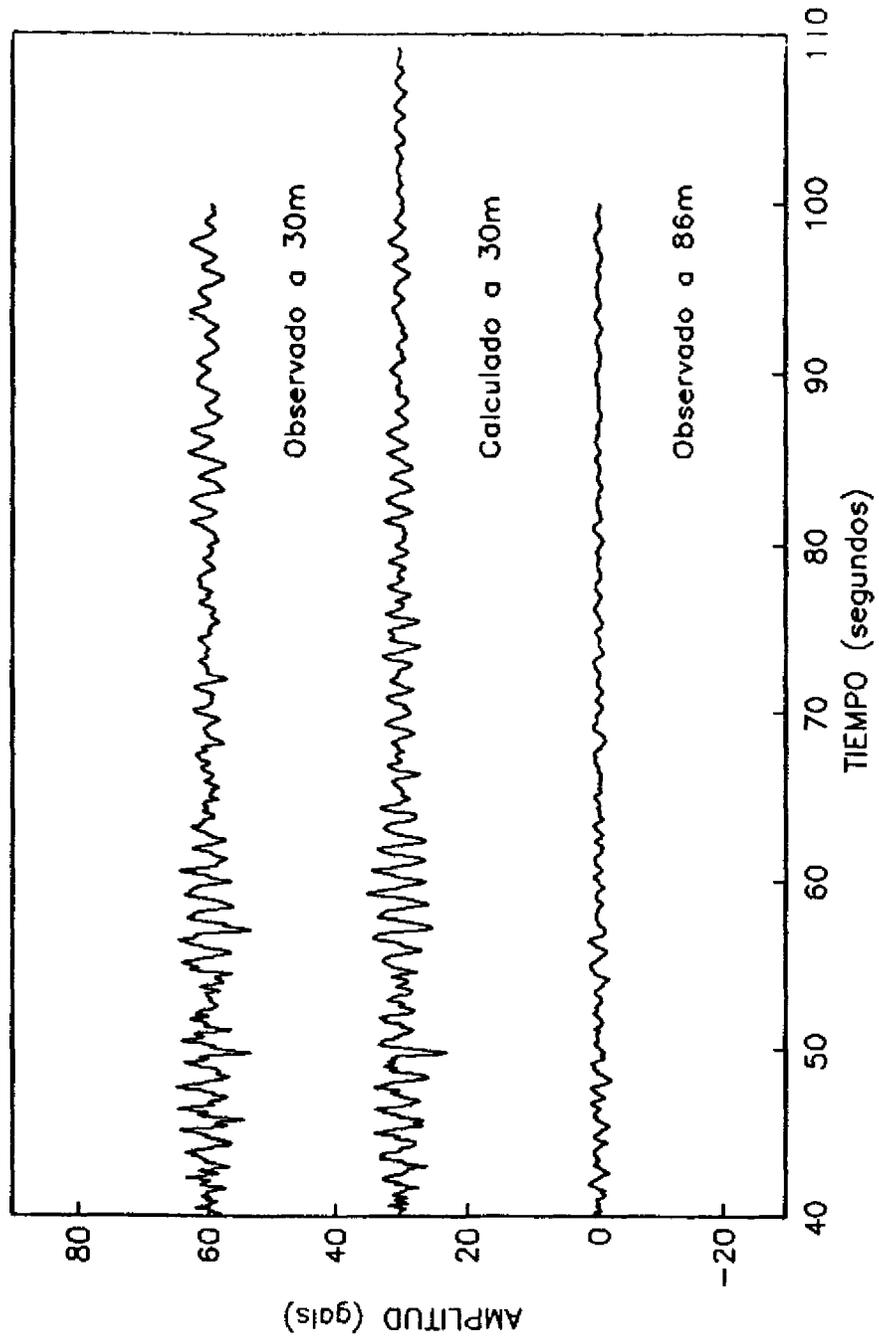


Figura 54

U.KENNEDY NS

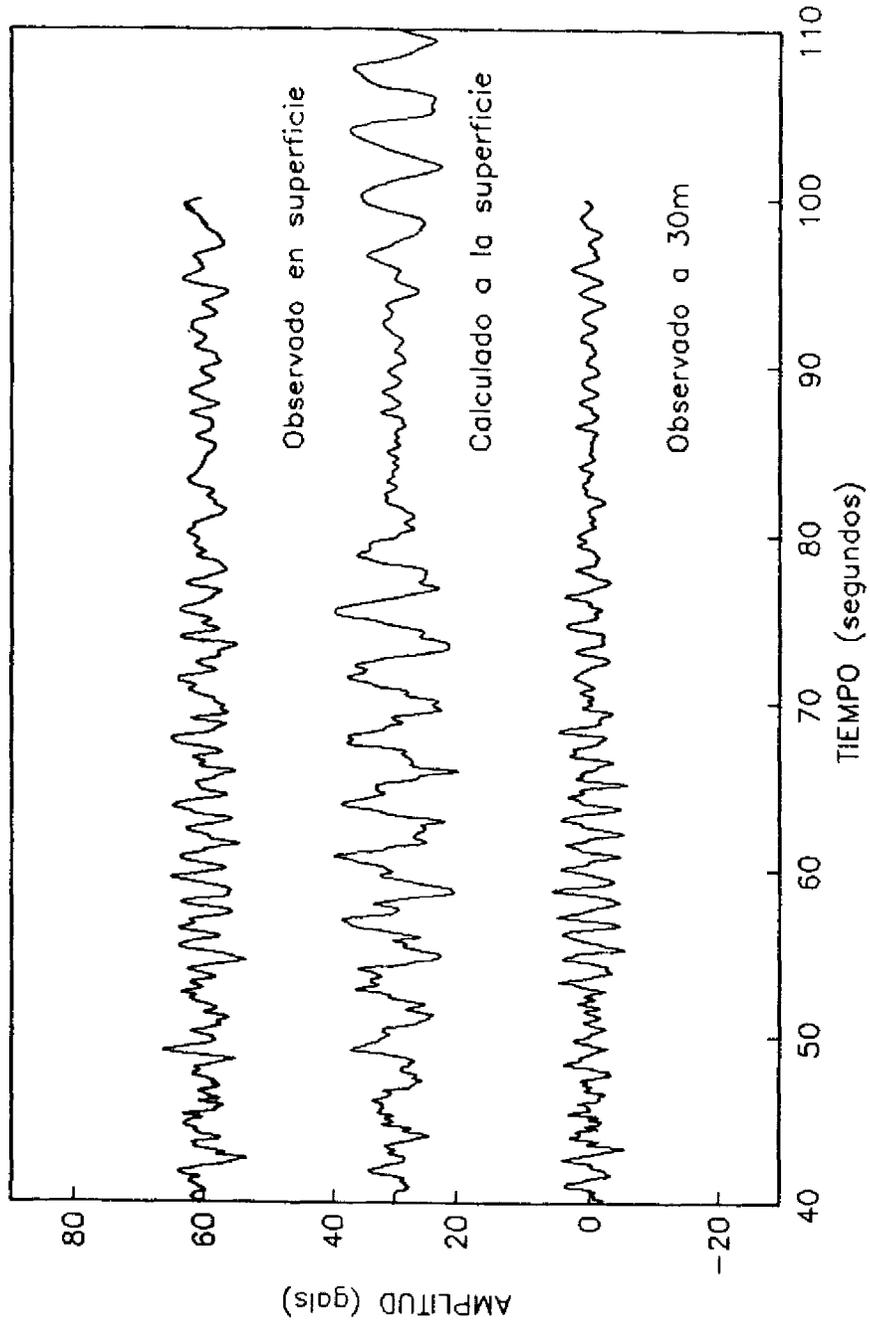


Figura 55

U.KENNEDY EW

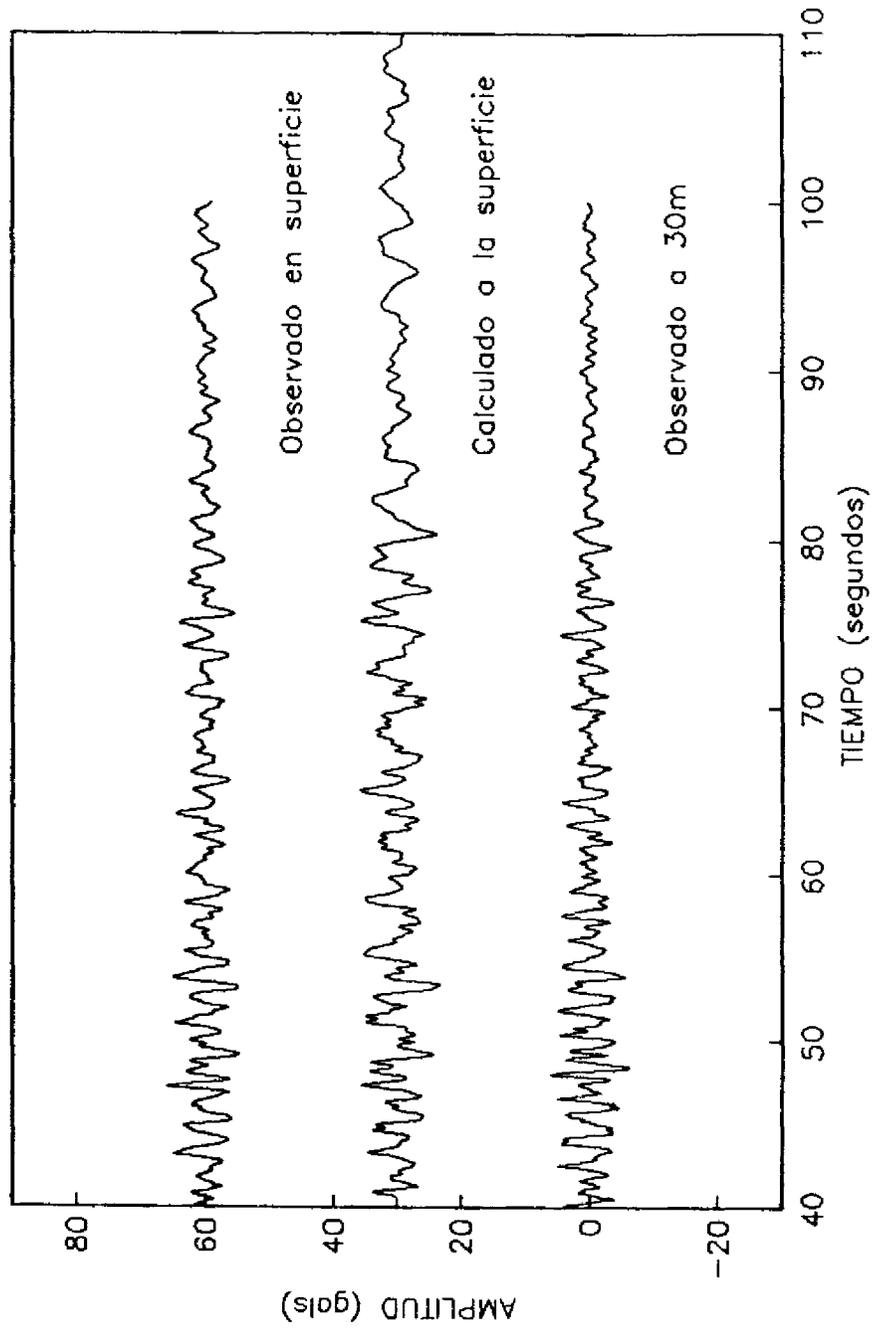


Figura 56

U.KENNEDY EW (2da simulacion)

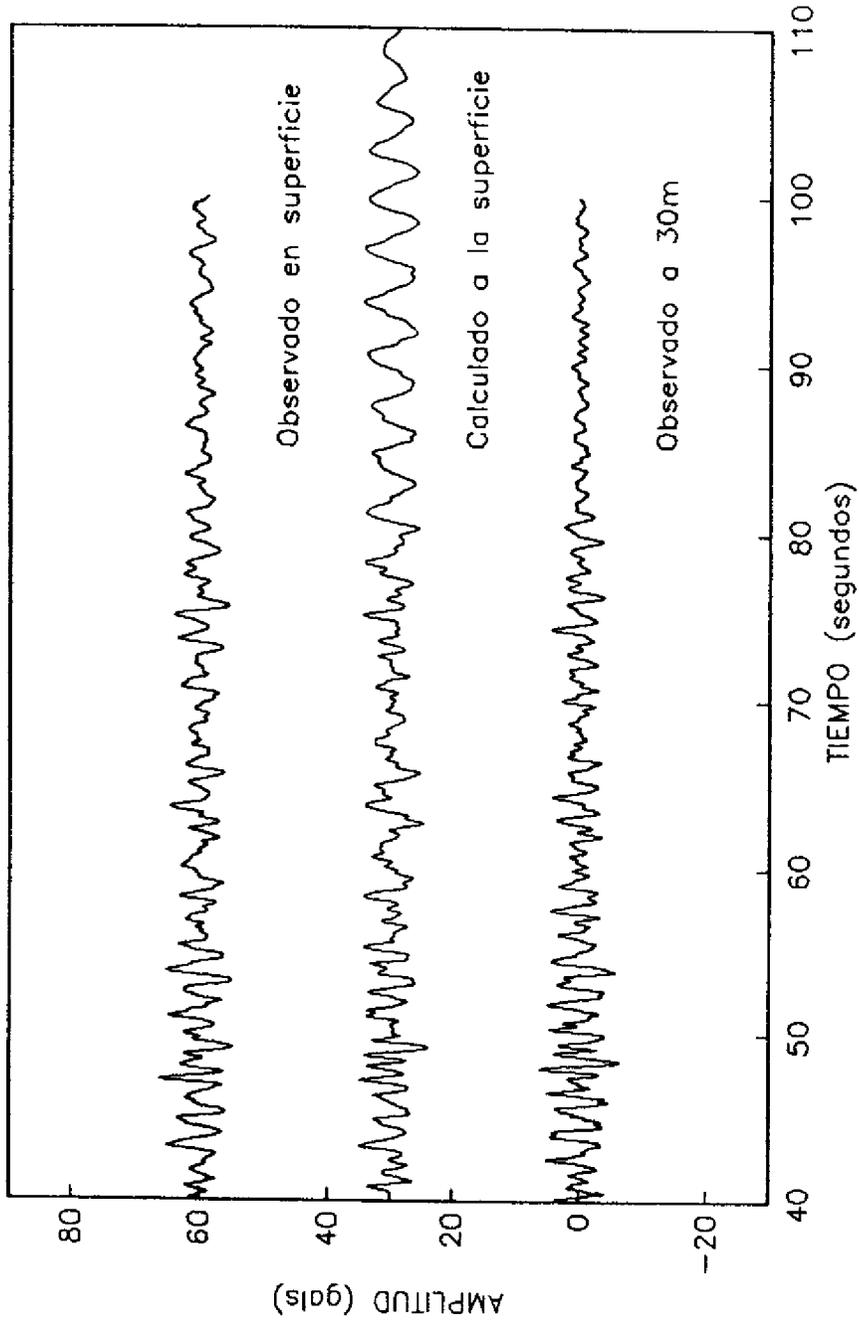


Figura 57. Segunda simulación con la estratigrafía modificada.

U.KENNEDY NS (2da simulacion)

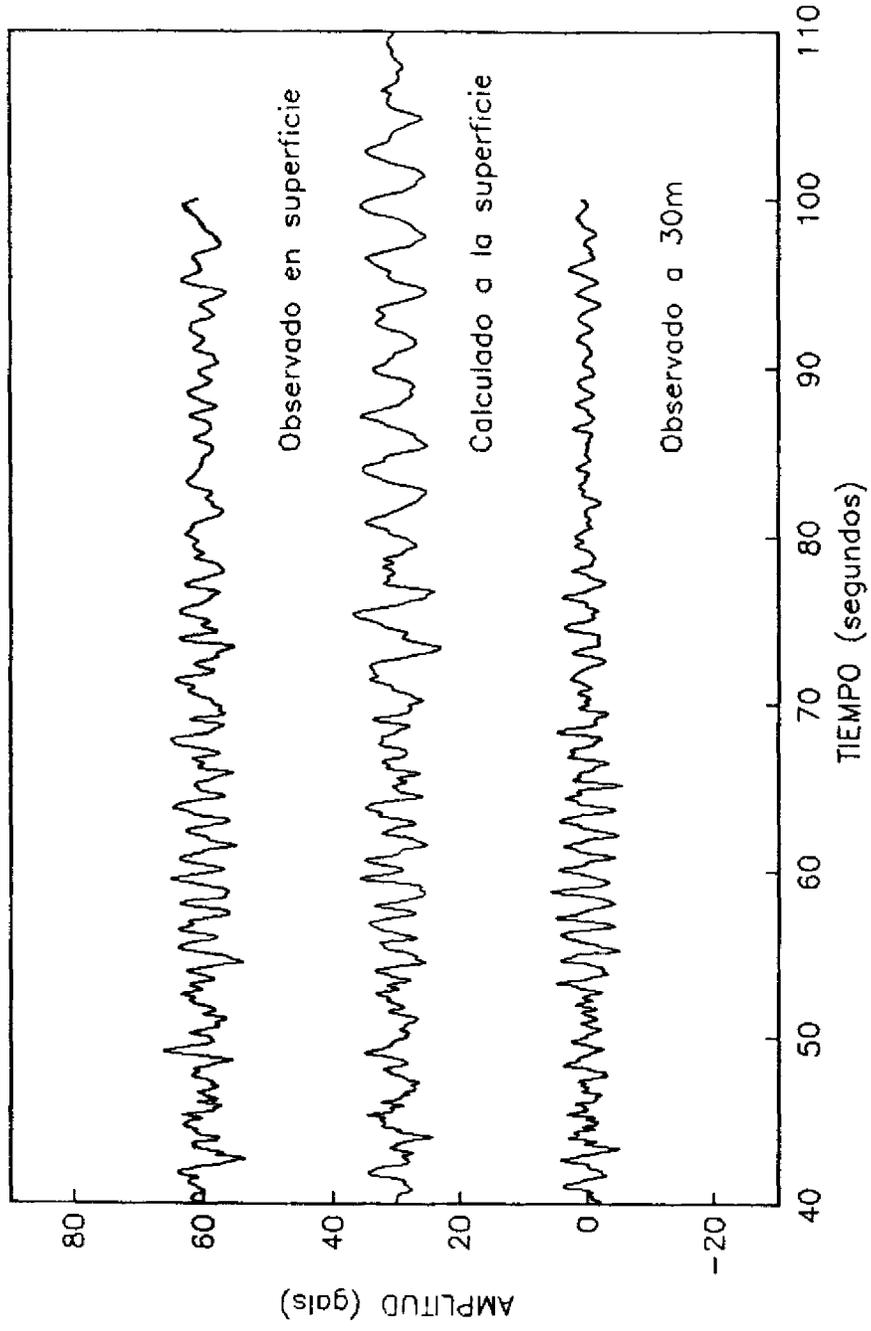


Figura 58. Segunda simulación con la estratigrafía modificada.

ROMA-C NS

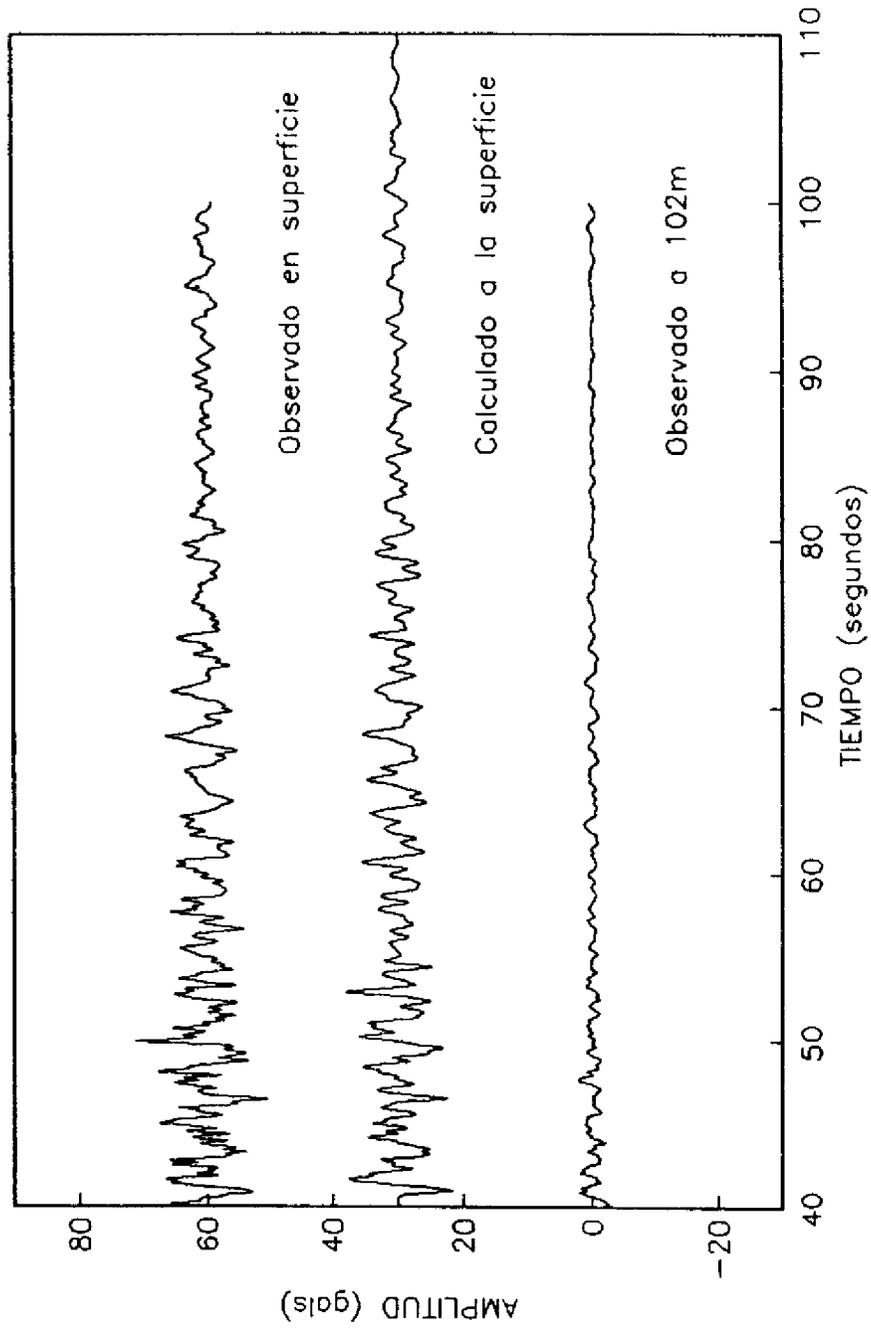


Figura 59

ROMA-C EW

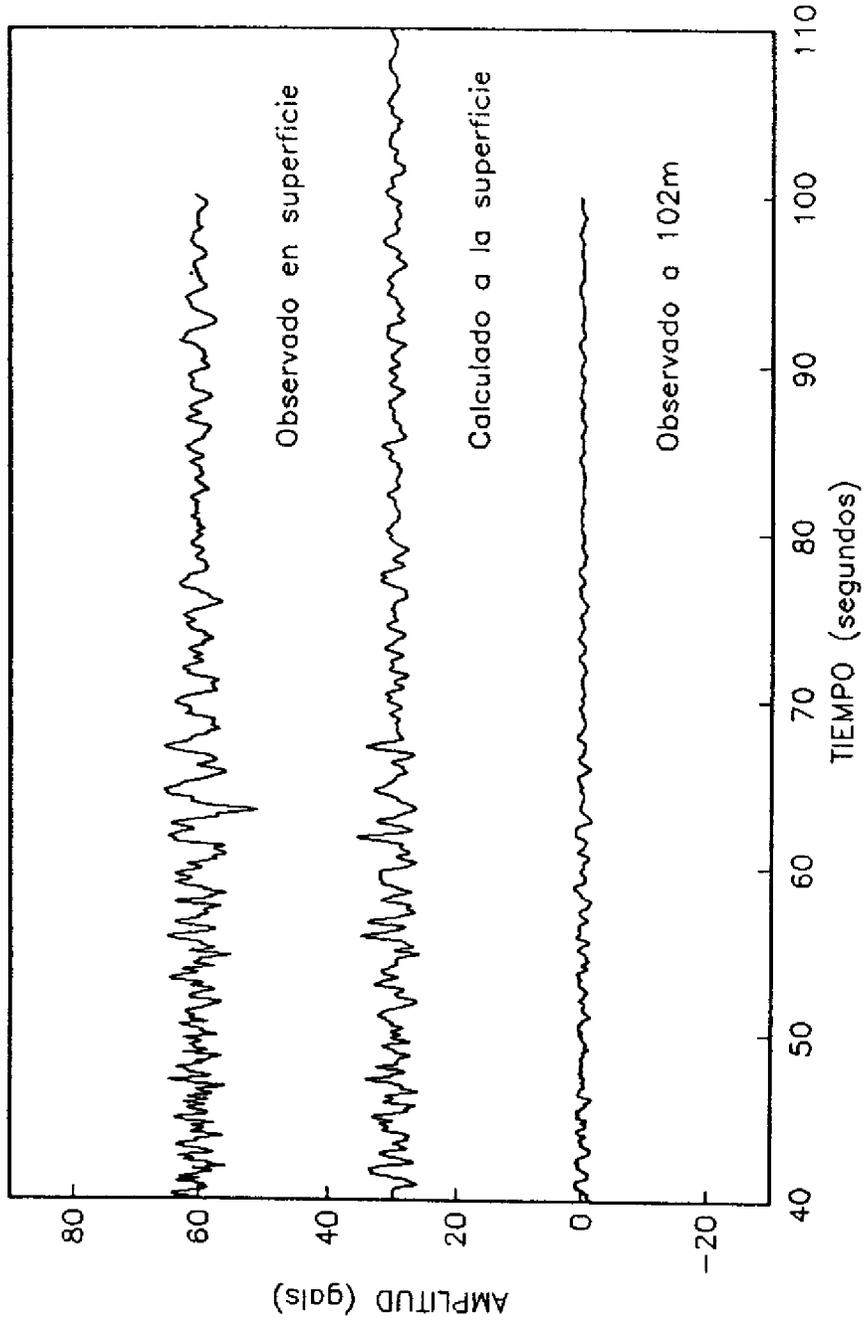


Figura 60

ROMA-C NS

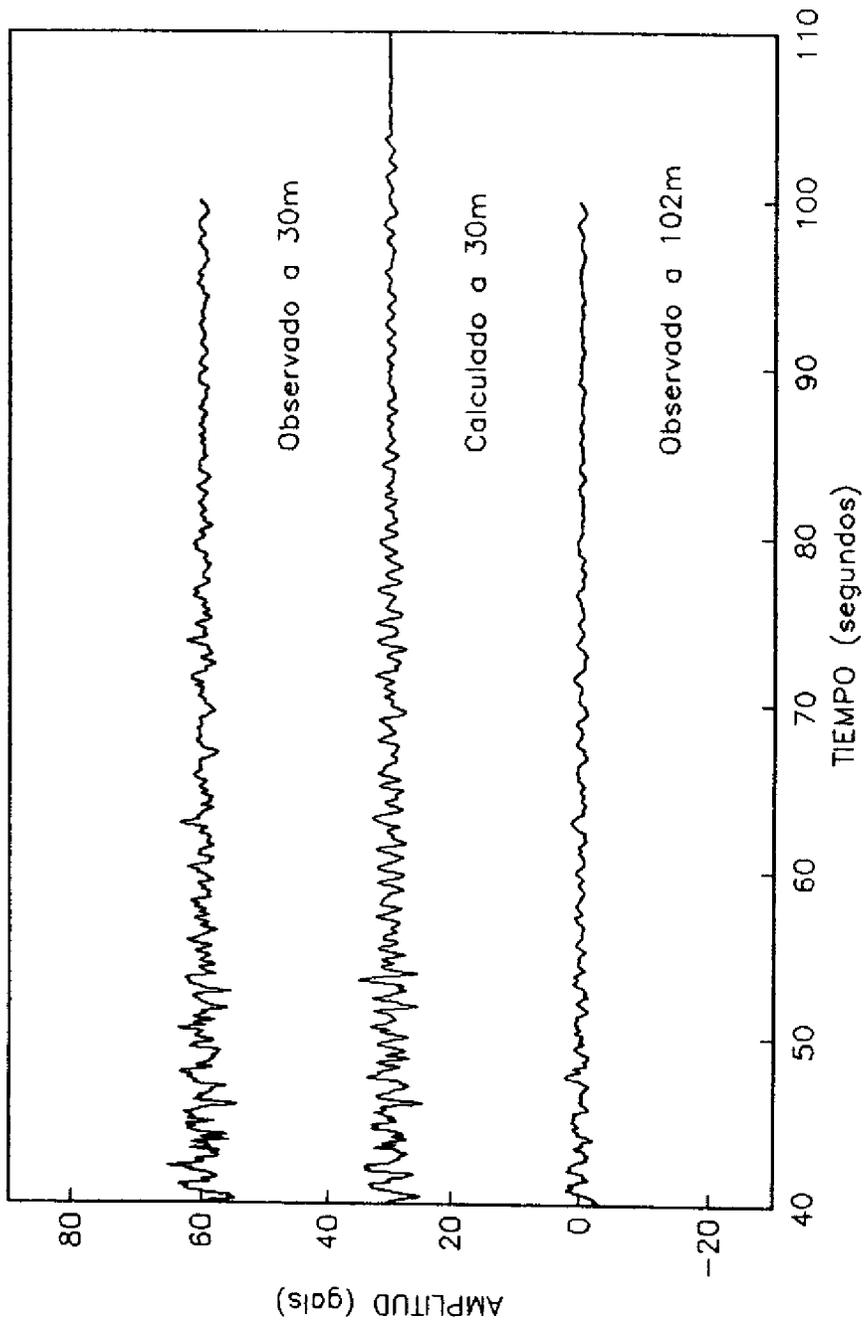


Figura 61

ROMA-C EW

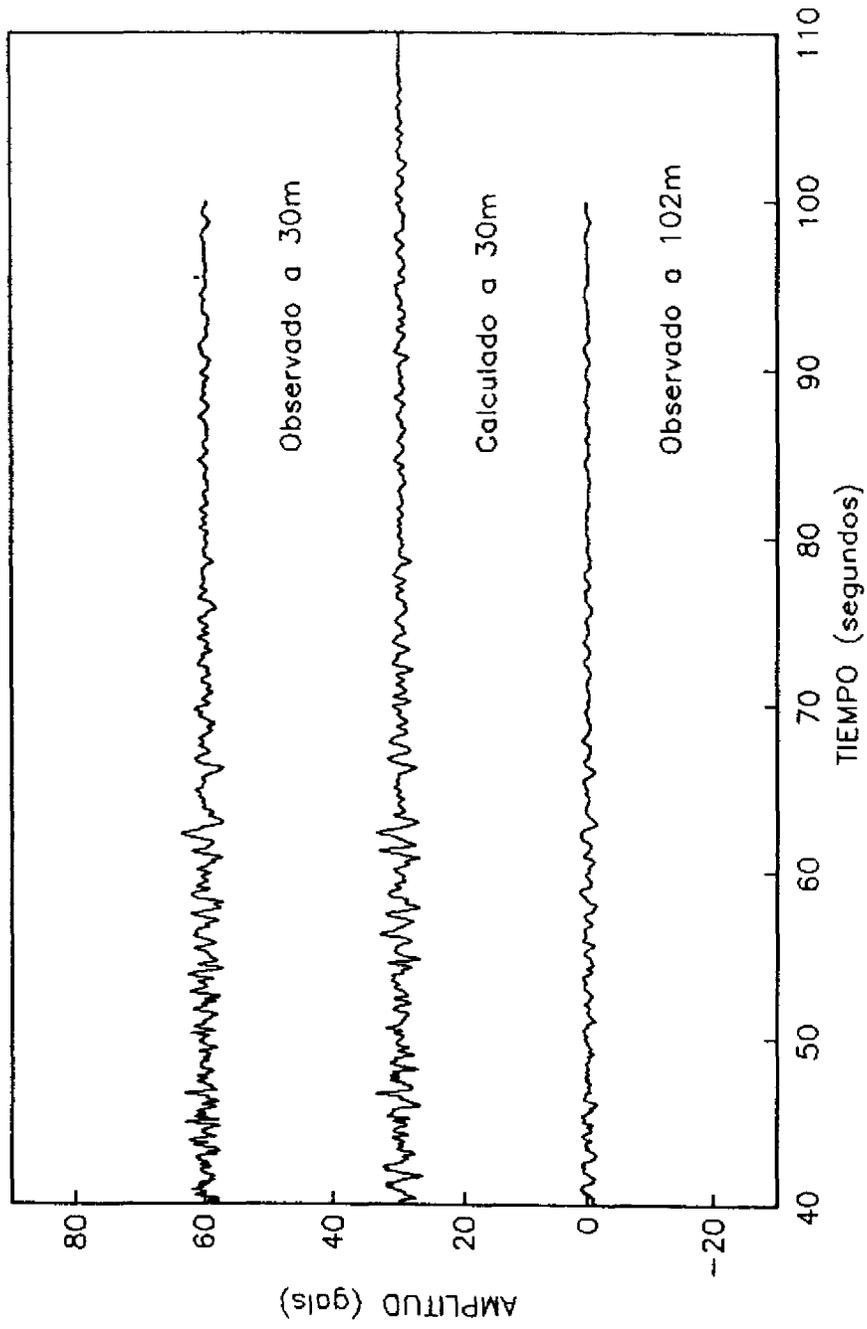
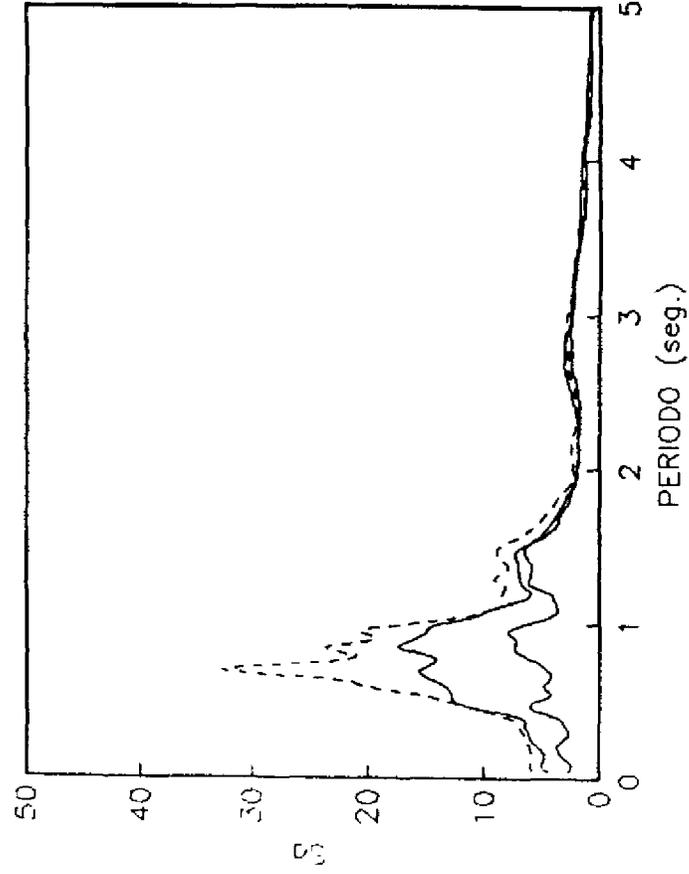


Figura 62

ESPECTROS DE RESPUESTA

COYOACAN 70m Y 12m TEOR. Y OBS.

NS



EW

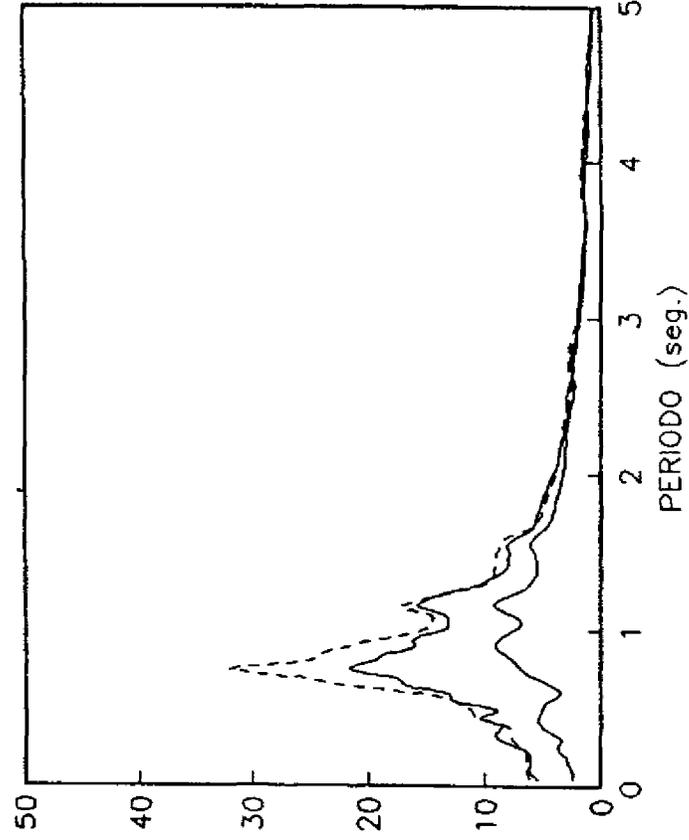
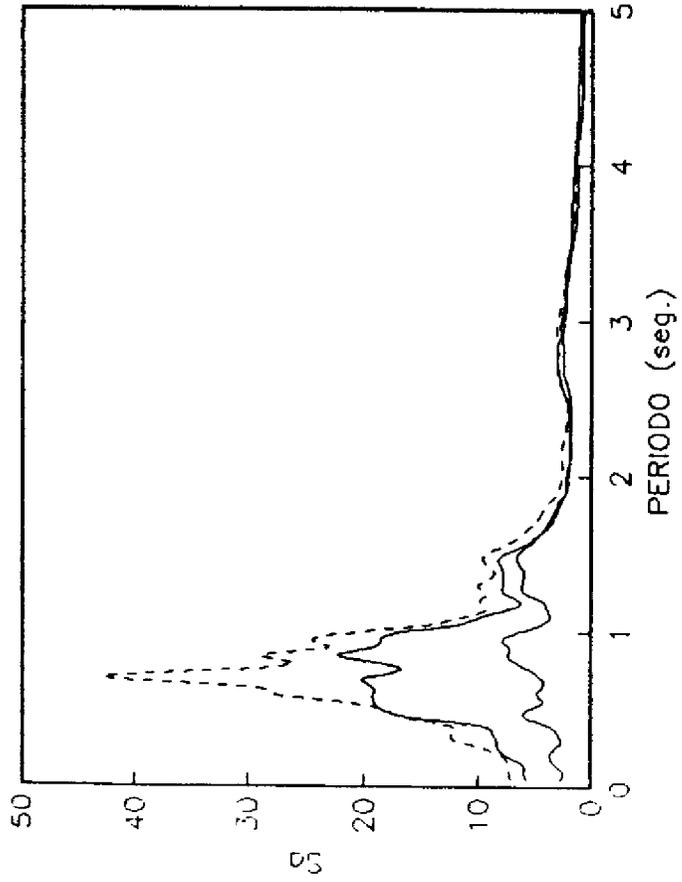


Figura 63. La línea continua de menor amplitud es el E. de R. de la señal registrada a la mayor profundidad. La línea continua de mayor amplitud es el Espectro de Respuesta de lo registrado a la menor profundidad o en su caso en la superficie, y la discontinua del calculado para todas las graficas.

COYOACAN 70m Y SUPERFICIE TEOR. Y OBS.

NS



EW

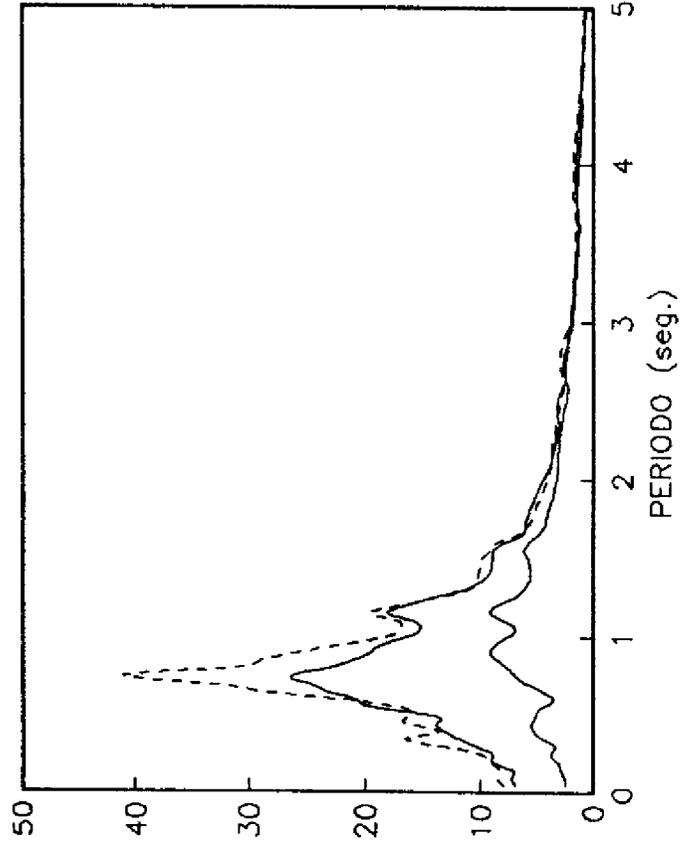


Figura 64

TLACOTAL 86m Y SUPERFICIE TEOR. Y OBS.

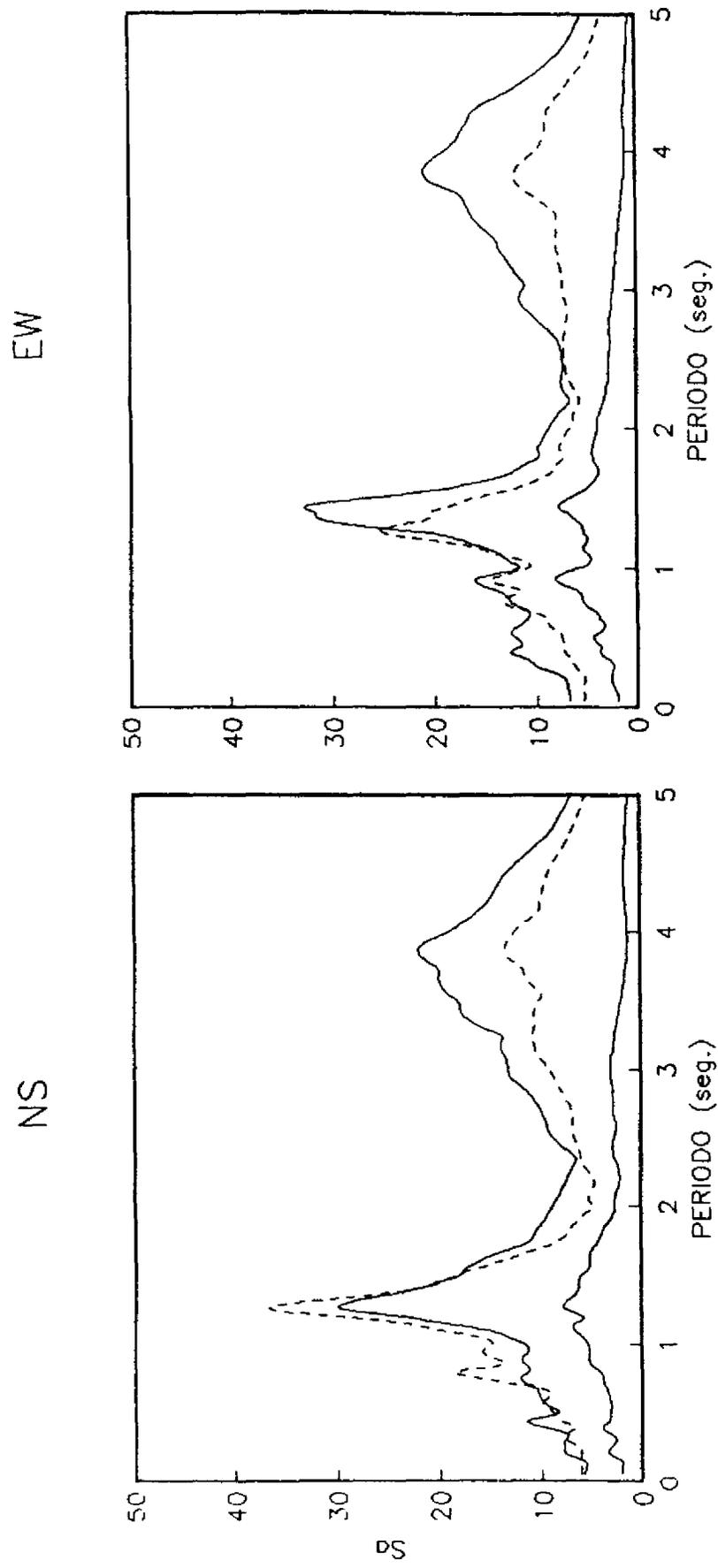


Figura 65

TLACOTAL 86m Y 30m TEOR. Y OBS.

NS

EW

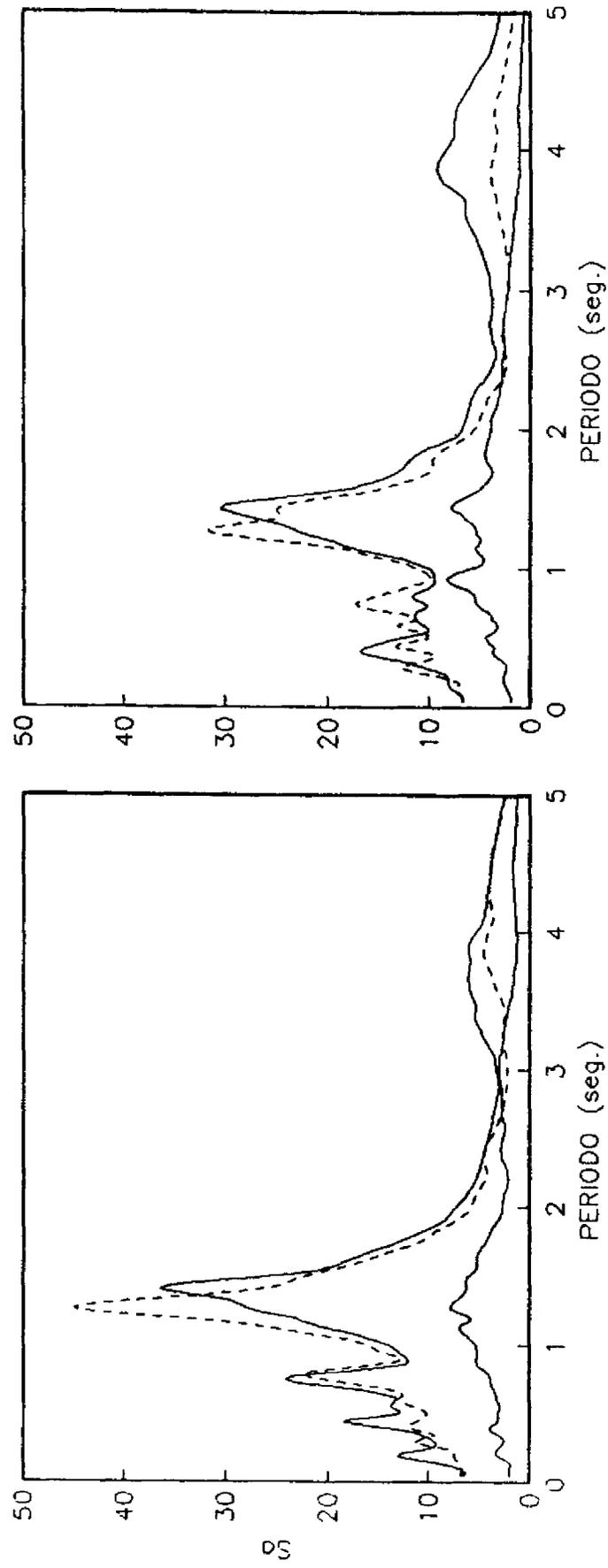


Figura 66

U. KENNEDY 30m Y SUPERFICIE TEOR. Y OBS.

NS

EW

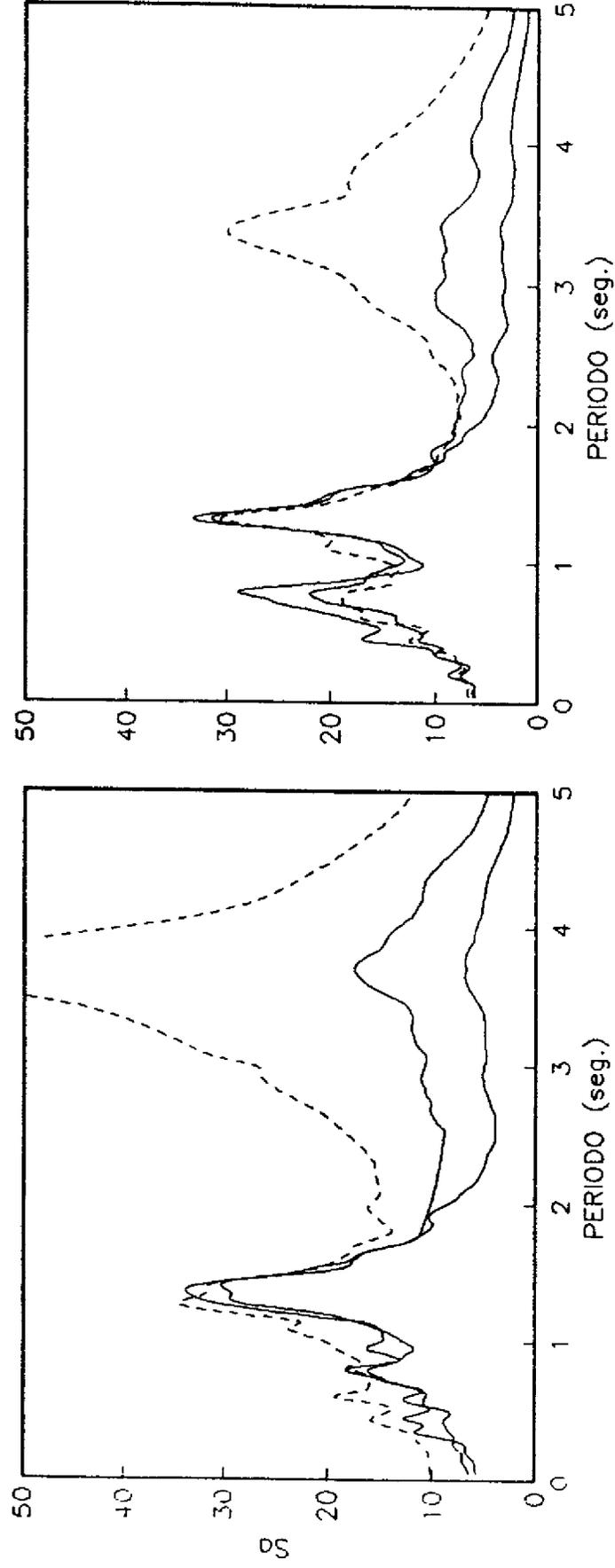


Figura 67

U. KENNEDY 30m Y SUPERF. (3)TEOR. Y OBS.

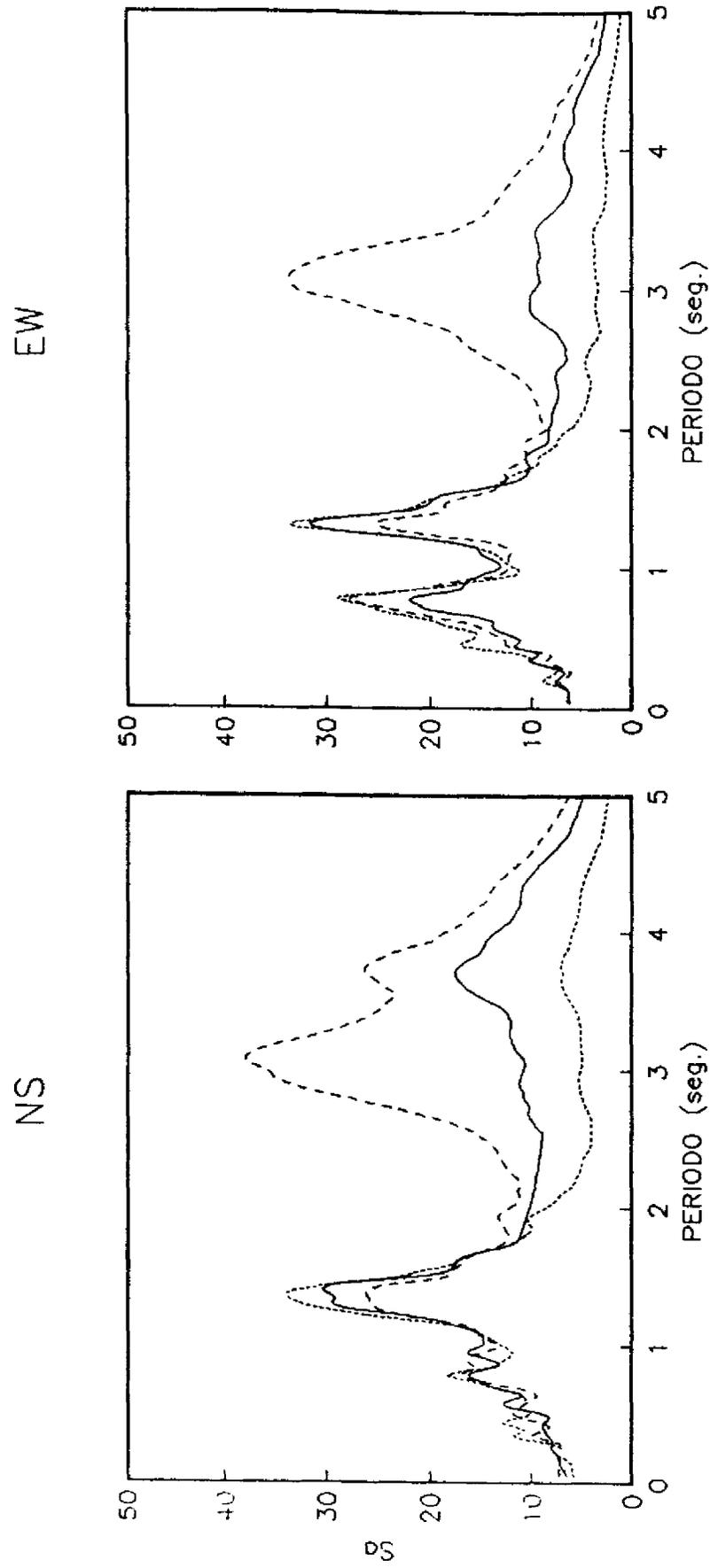


Figura 68. Segunda simulación con la estratigrafía modificada.

ROMA-C 102m Y 30m TEOR. Y OBS.

NS

EW

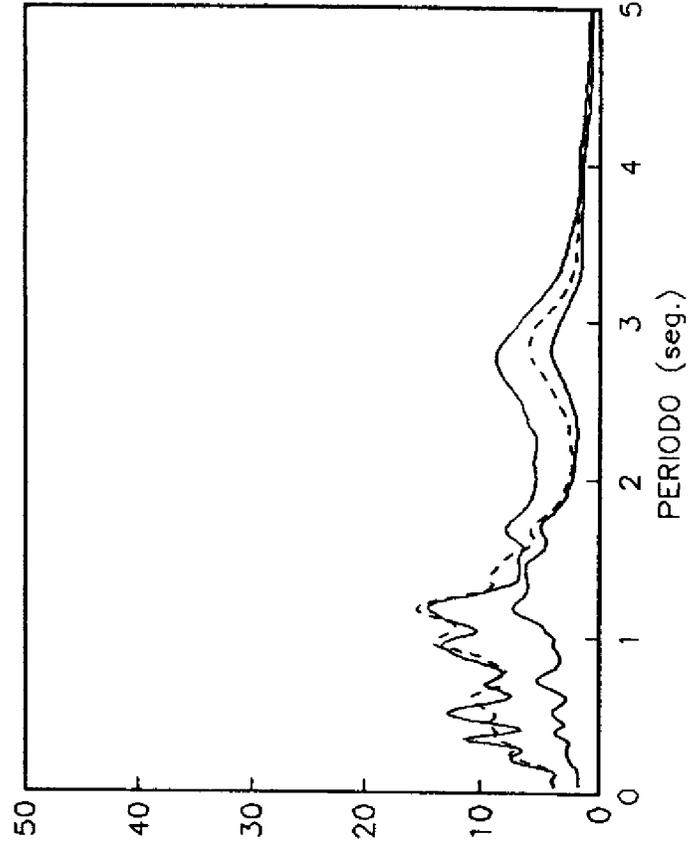
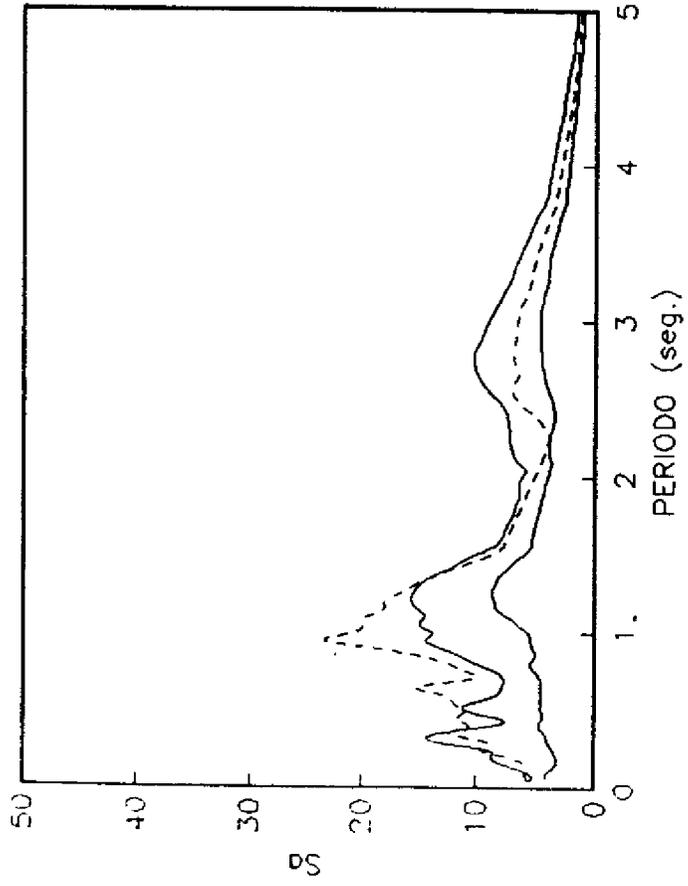
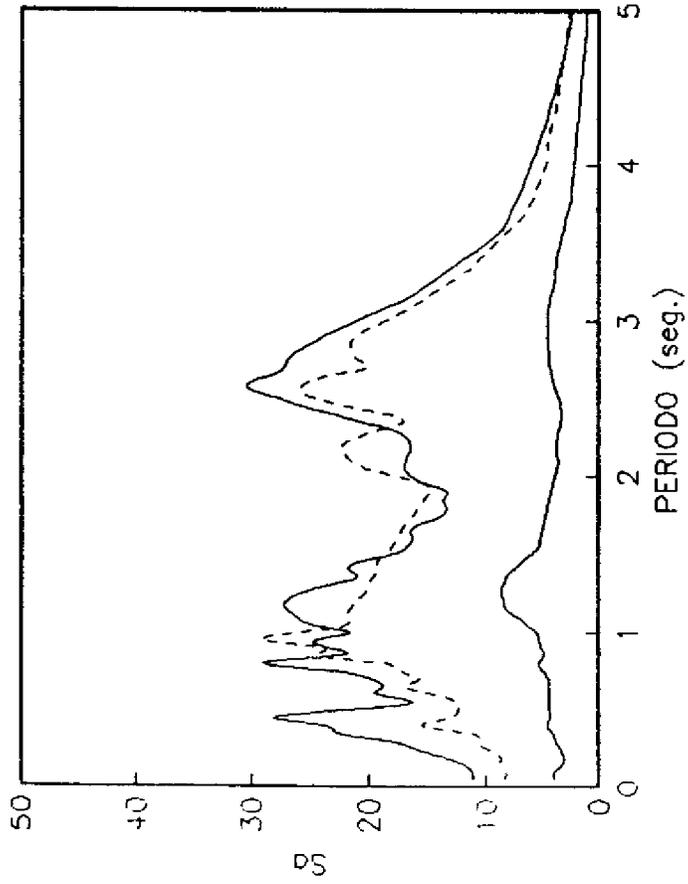


Figura 69

ROMA-C 102m Y SUPERFICIE TEOR. Y OBS.

NS



EW

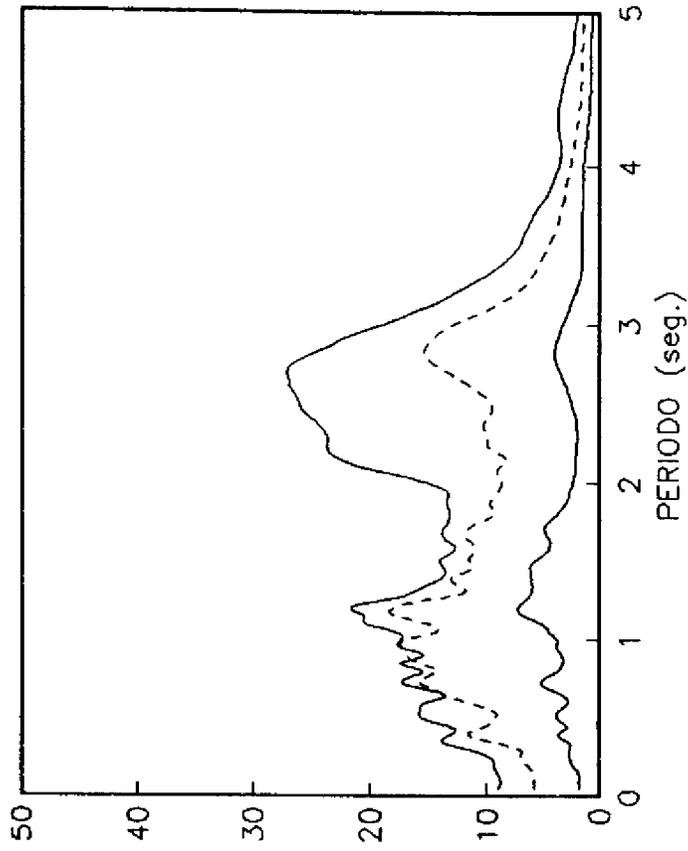


Figura 70