

Te
dVp
Ing. Est
M. 74p
1990
0.2

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

COMPORTAMIENTO DE TALUDES BAJO CARGAS SISMICAS
Un caso particular

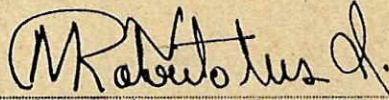
MIGUEL ANGEL MOLINA FRADO

Trabajo presentado para optar el grado academico
de Maestría en Ingeniería Estructural

Guatemala

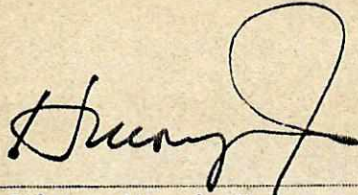
1990

Vo. Eo.

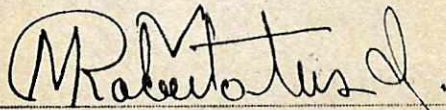


(f) Ingeniero Milton Roberto Matus Izaguirre
Asesor

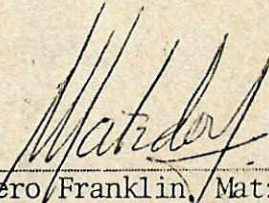
Tribunal:



(f) Doctor Héctor Monzón Despang

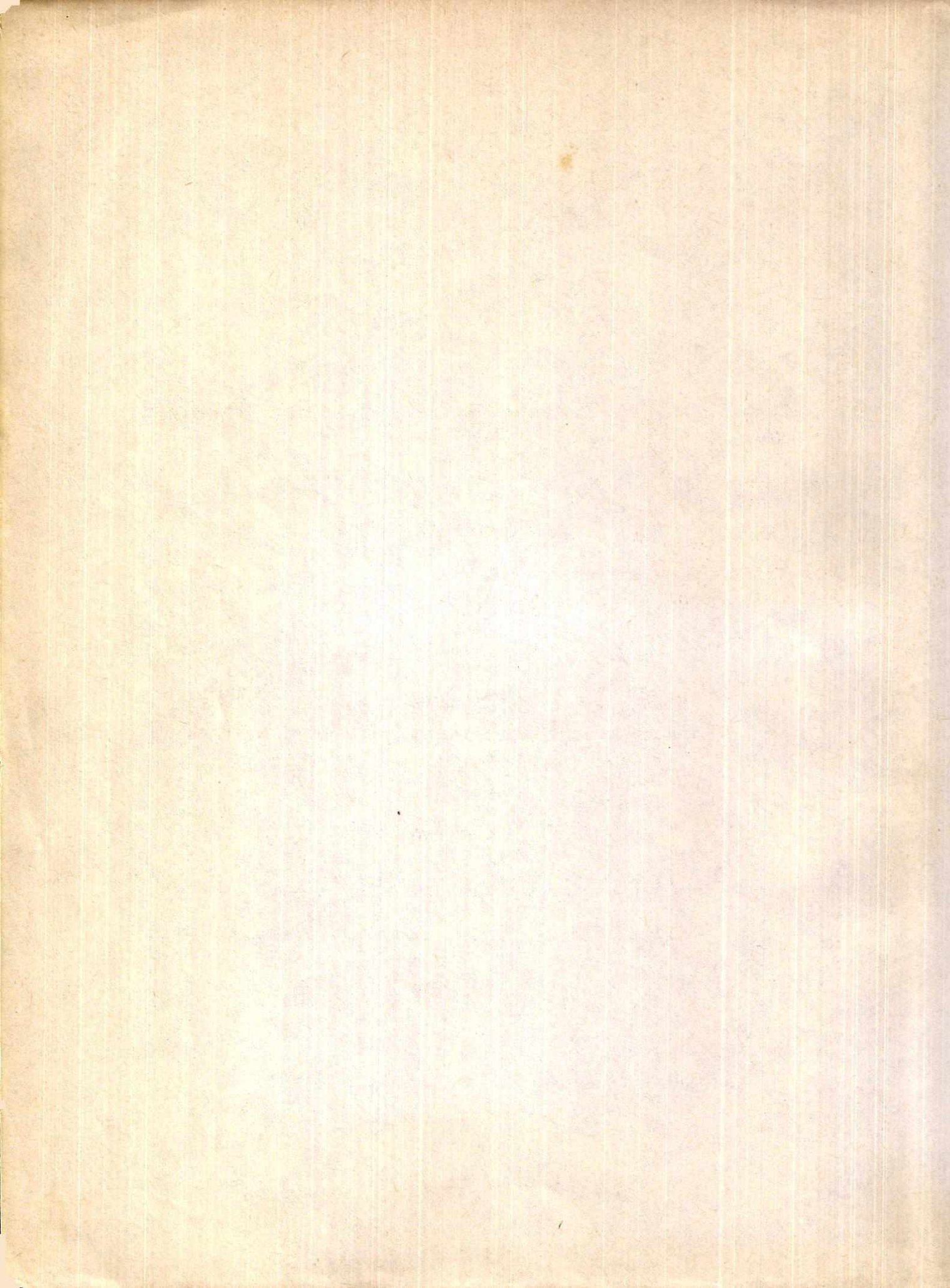


(f) Ingeniero Milton Roberto Matus Izaguirre



(f) Ingeniero Franklin Matzdorf M.

Fecha de aprobación: 9 de octubre de 1990

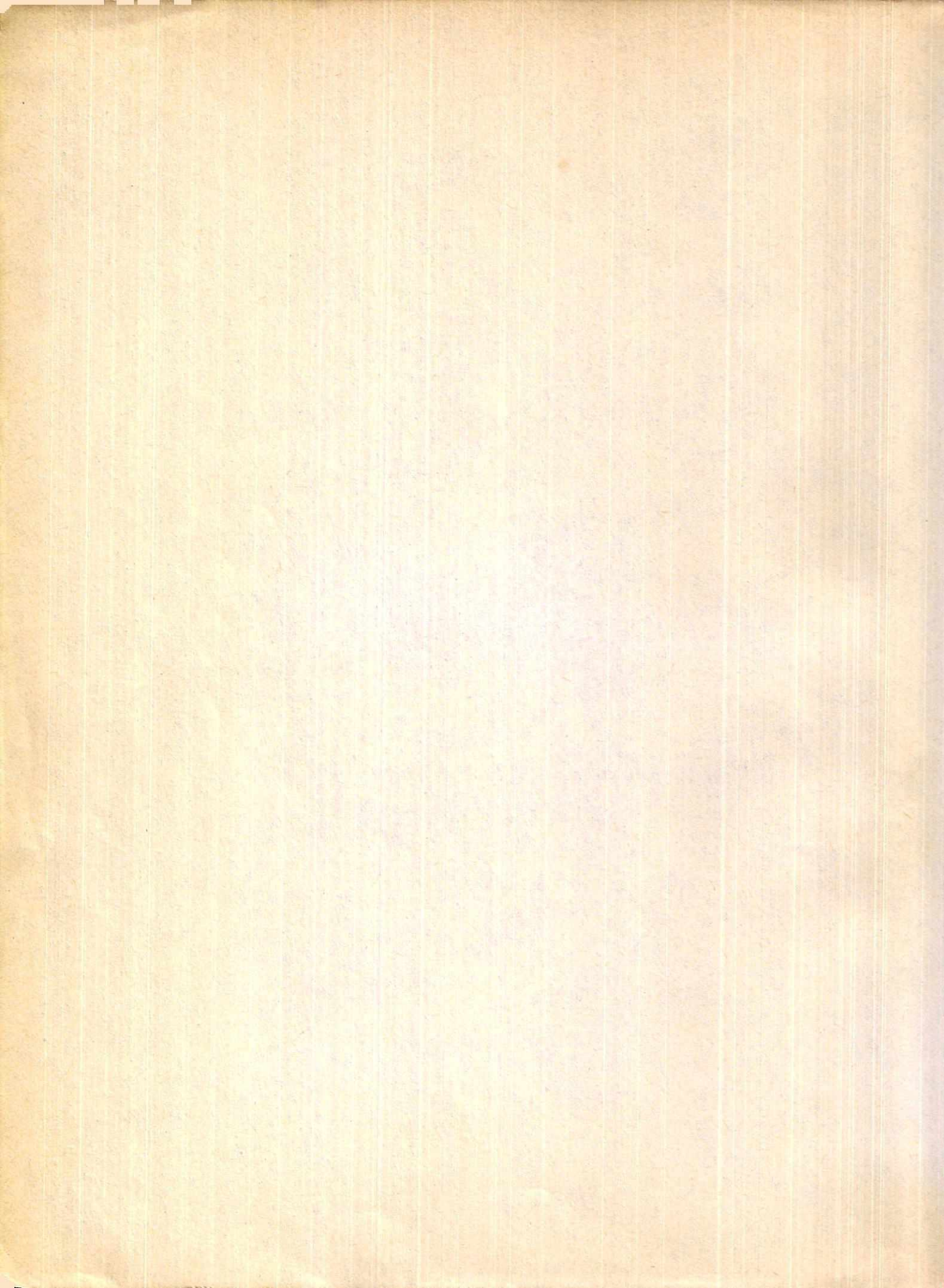


DEDICATORIA

A DIOS, POR SU AMOR Y POR SU GUIA Y CONSTANTE APOYO EN
TODA MI VIDA.

A MI MADRE, HERMANAS Y SOBRINOS.

A MI FAMILIA POR SU AMOR Y ANIMO, POR SU PACIENCIA E
INDULGENCIA Y EN ESPECIAL A MI ESPOSA, MARIA DEL CARMEN,
POR SU CONFIANZA E IMPORTANTE APOYO.



AGRADECIMIENTO

AGRADEZCO LA VALIOSA Y DESINTERESADA AYUDA E ILIMITADO ESFUERZO QUE ME BRINDO EL INGENIERO MILTON MATUS, EN LA PREPARACION DE ESTE TRABAJO.

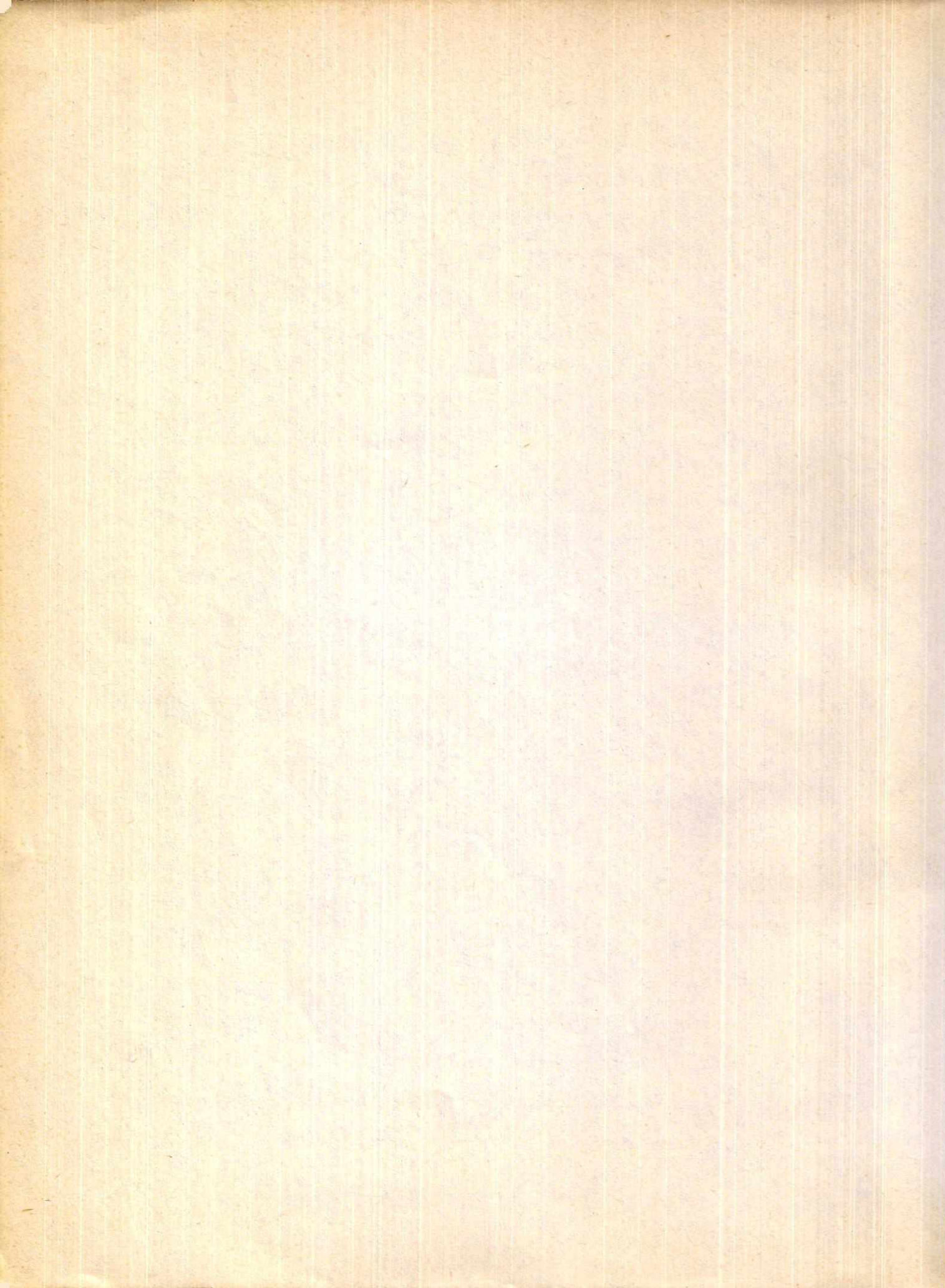
ASIMISMO AGRADEZCO AL INGENIERO FRANKLIN MATZDORF M., QUIEN ME PROPORCIONO ASISTENCIA Y ESTIMULOS INVALUABLES EN LA REALIZACION DE MIS ESTUDIOS.

CONTENIDO

	RESUMEN	v
I.	INTRODUCCION	1
II.	CONSIDERACIONES GENERALES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES	3
III.	ANALISIS DE TALUDES ANTE CARGAS SISMICAS	9
	A. Análisis pseudoestáticos	9
	B. Análisis dinámico	12
	C. Análisis dinámico con elemento finito	13
IV.	GEOMETRIA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	17
	A. Tipos de taludes	17
	B. Modelo de una estructura de suelo	17
	C. Prospección sísmica	21
	D. Módulo de corte	23
	E. Amortiguamiento	24
V.	CARGAS SISMICAS	27
	A. Causas de los sismos	27
	B. Tipos de ondas terrestres	27
	C. Foco, hipocentro, epicentro	30
	D. Estructura tectónica de Guatemala	30
	E. Estructura tectónica del valle de Guatemala	32
	F. Medidas de los sismos	34
	G. Espectros de desplazamiento, velocidad y aceleración	39
	H. Elección de acelerogramas reales	43

I.	Acelerogramas sintéticos	43
J.	SIMOKE, un programa para generar acelerogramas sintéticos o artificiales	47
VI.	ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR	53
A.	Datos generales	53
B.	Prospección sísmica del lugar	55
C.	Análisis dinámico del talud	56
D.	Resultados del análisis	59
1.	Aceleraciones de la tierra	60
2.	Distribución de esfuerzos	64
3.	Esfuerzos en X	66
4.	Esfuerzos en Y	67
5.	Esfuerzos de corte	68
VII.	CONCLUSIONES	71
VIII.	BIBLIOGRAFIA	73
	APENDICES	
A.	Informe del centro de investigaciones de ingeniería y resultados obtenidos de de velocidades de onda, en diferentes lugares ensayados.	75
B.	Ejemplo de datos de entrada para análisis	83
C.	Ejemplo de datos de salida del análisis	89
D.	Gráficas de acelerogramas de sismos y sus espectros	95
E.	Gráficas de la aceleración en X y Y y sus espectros para los nodos 1 y 42	125
F.	Gráficas de isoaceleraciones en X y Y	175
G.	Gráficas de la historia de esfuerzos en X	195

H.	Gráficas de la Historia de esfuerzos en Y	215
I.	Gráficas de la Historia de esfuerzos de corte	233
J.	Gráficas de isoesfuerzos de corte	249
K.	Gráficas de la variación de amortiguamiento	261
L.	Gráficas de la variación de módulo de corte	273
M.	Datos que sirvieron de base para la simulación de sismos	285



RESUMEN

Este trabajo trata sobre la estabilidad de taludes y los problemas estructurales que surgen por la acción de los sismos.

En el capítulo I se hace una breve descripción del problema de estabilidad de los taludes y se hace mención de la importancia de investigar este problema tomando en cuenta la sismicidad de Guatemala y la tendencia que se ha notado de utilizar las laderas de los barrancos para proyectos habitacionales, por carecer de áreas planas disponibles.

El capítulo II trata de las causas que contribuyen de una u otra forma a que el talud busque su posición más estable, causas que pueden provocar un aumento temporal de cargas, o pueden reducir la resistencia del suelo o crear una redistribución desfavorable de esfuerzos. Haciendo mayor énfasis en las fallas provocadas por terremotos.

El capítulo III trata sobre los diferentes acercamientos que se han estudiado para resolver el problema de análisis de taludes y como se integra la carga sísmica. En este sentido se mencionan los análisis Pseudoestáticos y el análisis dinámico.

El capítulo IV describe los diferentes tipos de taludes y la forma de como se puede modelar la estructura del suelo. Asimismo, se hace referencia a las propiedades dinámicas de los suelos, especialmente la velocidad de onda de corte, el módulo de rigidez y amortiguamiento, propiedades que se relacionen entre sí y que permiten analizar en forma

numérica directa el comportamiento del suelo al ser accionado por un movimiento sísmico. Adicionalmente se hace referencia a la prospección sísmica realizada durante el desarrollo del presente trabajo para estimar la velocidad de onda de corte.

El capítulo V trata las causas de los sismos, la estructura tectónica del área. La información sobre el movimiento del terreno y su medida se incluye también en este capítulo. En este trabajo se intenta proporcionar una somera introducción al tema de la simulación de sismos, en este sentido se hace referencia al programa de computadora "SIMQK", el cual fue utilizado para generar acelerogramas sintéticos.

El capítulo VI se ocupa para el estudio y análisis dinámico de un caso particular de análisis de estabilidad de taludes. Utilizando el programa para análisis "QUAD-4". Se describe las proporciones de la malla de elementos finitos utilizada, así como la prospección sísmica realizada en el lugar en estudio. La respuesta del talud fue evaluada usando la historia de aceleraciones de 9 sismos, cuyas características se incluyen en este capítulo. Finalmente se hace un análisis de todos los resultados obtenidos. Habiendo elaborado con la utilización del computador un sinnúmero de gráficas, que incluyen historia de aceleraciones en X y en Y, para diferentes puntos nodales; acelerogramas de los sismos utilizados y sus respectivos espectros; gráficas de distribución de esfuerzos en X, en Y y esfuerzos de corte a través de todo el talud (isoesfuerzos); gráficas de historia de esfuerzos para diferentes elementos de la malla, en X, en Y y de corte; gráficas que presentan la variación del módulo de cortante y otras con la variación

del porcentaje de amortiguamiento a través del talud.

De toda esta producción de gráficas se incluyen en el presente trabajo una pequeña parte de ellas, por razones de espacio, habiendo sido incluidas las que se consideraron de mayor importancia e interés para los efectos de este estudio.

1. INTRODUCCION

Debido a la estructura tectónica donde está situada Guatemala, es una región de alto potencial sísmico donde se han generado terremotos que han causado grandes daños al país; además que las perspectivas futuras nos llevan a inferir que eventos sísmicos son posibles en el futuro mediato de Guatemala.

Uno de los aspectos que causa daño en el momento de un terremoto, es el provocado por los deslizamientos o desplazamientos de tierra que ocurren en algunos taludes o laderas de los barrancos, problema que se agudiza con la existencia del desarrollo urbano.

Debido al crecimiento acelerado de la población de la ciudad capital y al problema de contar con pocas áreas planas para proyectos habitacionales, se han venido utilizando, cada vez con mayor frecuencia, las laderas de los barrancos capitalinos. Esto hace indispensable el estudio de estabilidad de taludes, para establecer los riesgos y para que sean consideradas las recomendaciones y medidas preventivas apropiadas que habría que tomar para minimizar los daños.

Las fuerzas que inducen los sismos en las estructuras, son de carácter dinámico, es decir, varían con el tiempo. Estas fuerzas son de tipo inercial, de amortiguamiento y de rigidez. Para evaluar la respuesta de las estructuras de suelo a la acción de los sismos se efectúa un análisis dinámico. En este caso particular se utilizará el programa de computadora QUAD-4, adquirido por la Universidad del Valle de Guatemala durante el desarrollo del proyecto de investigación "Bases Regionales

para elaborar códigos de viviendas sismo-resistentes de bajo costo", financiado por la Universidad y por la Organización de Estados Americanos, OEA.

El programa QUAD-4 utiliza el método de elemento finito, para llevar a cabo un análisis dinámico de estructuras de suelo ante cargas sísmicas.

Este trabajo comprende las siguientes fases: consideraciones generales de la estabilidad de taludes; determinación de geometría y propiedades de los materiales de la estructura; elección de los acelerogramas; análisis en el computador; ejemplo y discusión de resultados.

Espero que este trabajo contribuya al estudio del comportamiento de los taludes bajo cargas sísmicas, con el fin de dar recomendaciones que tiendan a prevenir desastres y que sirvan de guía para garantizar preliminarmente la estabilidad relativa de las edificaciones que se construyan en un futuro, en las orillas de los barrancos.

II. CONSIDERACIONES GENERALES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

Uno de los mayores problemas que necesita resolver el ingeniero, es el correspondiente a los fenómenos de estabilidad de taludes.

La filtración puede ser una causa muy importante para movilizar el suelo cuando el agua esta presente.

Las fuerzas por sismo también son importantes en el análisis de estabilidad de taludes.

Estas fuerzas variables producen esfuerzos cortantes en la masa de suelo y ocurrirá movimiento a menos que la resistencia cortante sobre cada superficie posible de falla, a través de la masa, sea suficientemente mayor que el esfuerzo cortante inducido. La resistencia al corte depende de la resistencia cortante del suelo y de otros factores naturales, tales como presencia temporal de agua de filtración y/o infiltración por aguas de lluvia, aguas subterráneas, presencia de raíces y otros.

Un talud de tierra no puede considerarse estable indefinidamente, porque tarde o temprano la estabilidad que puede presentar se pierde, debido a los agentes naturales como las presiones hidrostáticas, el intemperismo y la erosión.

Un aumento temporal de cargas, la reducción de resistencia del suelo o una redistribución desfavorable de esfuerzos, son causas que contribuyen, de una u otra manera, a que el talud busque su posición más estable.

La estabilidad de los taludes se confía a la resistencia propia del

material que los forma y el soportante del suelo subyacente al pie del talud.

Cuando el material que forma los taludes tiene un límite elástico bien definido, la falla del talud consiste en el deslizamiento de una parte de dicho talud a lo largo de una superficie definida que puede aflorar al pie del talud o puede extenderse por debajo del corte y aflorar a una cierta distancia al frente del talud. A este tipo de falla se le denomina deslizamiento y se observa, tanto en materiales cohesivos, como en los de poca cohesión.

Cuando el suelo, además de ser cohesivo, se encuentra en un estado plástico, o bien cuando se trata de materiales granulares sueltos y saturados, es muy frecuente que la falla tenga las características de un escurrimiento lodoso o flujo plástico.

A menudo, una falla por deslizamiento, una vez que ha dado comienzo el movimiento, degenera en flujo plástico por haber perdido su estructura y elasticidad el material que participó en el deslizamiento. Cuando el material que forma los taludes se encuentra muy fracturado o está formado por bloques mal cementados con suelos limosos erosionables, entonces se producen desprendimientos de los estratos superficiales. A este tipo de fallas se les denomina derrumbes o desplomes.

Es difícil determinar la causa de muchos movimientos de masas de tierra. Cualquier causa que produzca una disminución de la resistencia del suelo o un aumento de los esfuerzos en el suelo, contribuyen a la inestabilidad. A continuación se da un listado de las principales causas que provocan inestabilidad de taludes:

(16)

A. Causas que producen aumento de esfuerzos

1. Cargas externas como edificios, casas o agua.
2. Aumento del peso de la tierra por aumento de la humedad.
3. Socavaciones producidas por perforaciones de túneles, derrumbes de cavernas o erosión por filtraciones.
4. Vibraciones producidos por terremotos o explosiones.
5. Grietas de tracción.
6. Presión de agua en las grietas.

B. Causas que producen disminución de resistencia

1. Expansión de las arcillas por absorción de agua.
2. Presión de agua intersticial.
3. Destrucción de la estructura del suelo por vibración o actividad sísmica.
4. Deformación y falla progresiva en suelos sensibles.
5. Deterioro del material cementante.
6. Pérdida de la tensión capilar por secamiento.

La falla puede ser el resultado de cualquiera de estos factores, aislados o combinados. En el presente estudio se analizará la inestabilidad de taludes generados por terremotos.

Durante terremotos, dos acciones producen deslizamientos:

1. Fuerzas inerciales debido a las sacudidas de terremotos, pueden momentáneamente, generar esfuerzos de corte que exceden la resistencia al corte de taludes y producen derrumbes.
2. Deformaciones causadas por fuertes sacudidas pueden producir pérdidas de esfuerzo en materiales quebradizos o sensibles

tales como roca o cementadas, esta pérdida puede ser la causa de fallas catastróficas.

Pérdida de esfuerzos debido a licuefacción de arenas y deformación de arcillas sensibles.

Del estudio realizado sobre 40 terremotos, Keefer (9) encontró que los tipos específicos de deslizamientos generados por terremotos, en orden de abundancia son:

- fallas en roca
- deslizamientos de suelos
- deslizamientos en roca
- flujo de suelos.

Además se ha observado que:

- Los tipos más catastróficos de deslizamientos en términos de desgracias humanas han sido avalanchas de roca, flujo de suelos y falla en rocas.
- Los materiales más susceptibles de fallas de taludes inducidas por terremotos son los suelos sensibles a licuefacción, suelos pobremente cementados y suelos cementados.
- La pendiente del talud incrementa directamente la susceptibilidad de la falla.
- Se observó que es necesario un nivel de movimiento de la tierra para provocar varios tipos de deslizamientos. En el siguiente cuadro se da una tabulación de la magnitud y la intensidad y los tipos de falla producidos, basada en conclusiones de Keefer.

tipo de falla	magnitud	mercali modificada
Falla en roca, deslizamiento de roca, falla de suelos	4	VI
Derrumbes de suelos deslizamientos de suelos en bloques	4.5	—
Derrumbes de roca, deslizamientos de roca en bloques y flujo rápido de suelos	5	VII
Avalanchas de roca, avalanchas de suelos	6	—

Durante fuertes terremotos pasados, se han producido miles de deslizamientos en Guatemala, los cuales han causado accidentes y daños masivos a la propiedad. Por ejemplo: El terremoto de 1976, de magnitud 7.5, generó como mínimo 10,000 deslizamientos.

El tipo predominante de deslizamientos ocurridos en este terremoto fueron fallas en roca y fallas en desechos volcánicos.

III. ANÁLISIS DE TALUDES ANTE CARGAS SÍSMICAS

A. Análisis pseudoestáticos

En el método estático equivalente, se supone que una fuerza sísmica horizontal, igual al peso (W) de la masa, potencialmente a deslizarse y multiplicada por un coeficiente sísmico (K), actúa en el centro de gravedad de la masa del suelo. Esta fuerza sísmica es adicional a las fuerzas estáticas en el talud.

En realidad, los efectos dinámicos son reemplazados por una fuerza estática y el procedimiento para obtener la fuerza, por lo tanto, es pseudoestático.

Uno de los mayores problemas que afronta el ingeniero cuando usa este tipo de análisis pseudoestáticos, es seleccionar el valor del coeficiente sísmico a ser usado para propósitos de diseño.

Los métodos usados incluyen:

- a. La adopción de reglas empíricas. Muchos ingenieros que han adoptado métodos pseudoestáticos de análisis de estabilidad, adoptan algunos valores empíricos para el coeficiente sísmico de diseño, típicamente los valores oscilan en el rango de 0.05 a 0.15.
- b. La suposición de respuesta de cuerpos rígidos. Si se supone que un talud tiene un comportamiento como un cuerpo rígido, la aceleración puede ser uniforme a través de una sección y es igual en todo el tiempo a la aceleración de la tierra. De este modo, algunas veces, se argumenta que el coeficiente

de diseño sísmico puede ser igual a la aceleración máxima de la tierra.

- c. Uso de análisis de respuesta visco elástico. Debido a las diferencias en el uso de reglas empíricas o de la suposición de la respuesta de cuerpo rígido, se usó la solución de la respuesta elástica para la determinación del coeficiente sísmico de diseño. En efecto, el talud se considera que consiste de una serie de capas delgadas, las capas están conectadas por fuerzas de corte elásticas y amortiguamiento viscoso y la respuesta en los diferentes niveles es determinado a partir de un movimiento de la base.

En vista de los diferentes acercamientos corrientemente usados para determinar el coeficiente sísmico a emplear en los análisis pseudoestáticos, es interesante comparar los valores obtenidos por varios métodos.

Con este objeto se presenta el siguiente resumen de resultados.
(17)
(Desarrollado por Seed y Martin). Se determinaron valores para una presa de tierra larga, con una sección homogénea de 300 pies de alto, construida de suelo compacto teniendo una velocidad de onda de corte de 1000 pies/seg. y sujeto a la componente N - S del terremoto de El Centro de 1940, para el cual la máxima aceleración de la tierra fue alrededor de 0.3 g.

Los valores determinados por los siguientes métodos son ploteados en la figura 3.1

1. Un coeficiente de diseño empírico de 0.10-0.15 (típicamente usado en USA).

2. Un coeficiente de diseño en el rango de 0.15-0.25 (requerido en el código japonés).
3. Un coeficiente de diseño igual a la aceleración máxima de la tierra, correspondiente a la suposición de respuesta de cuerpo rígido.
4. Valores determinados por un análisis de respuesta elástica para 20% de amortiguamiento crítico.

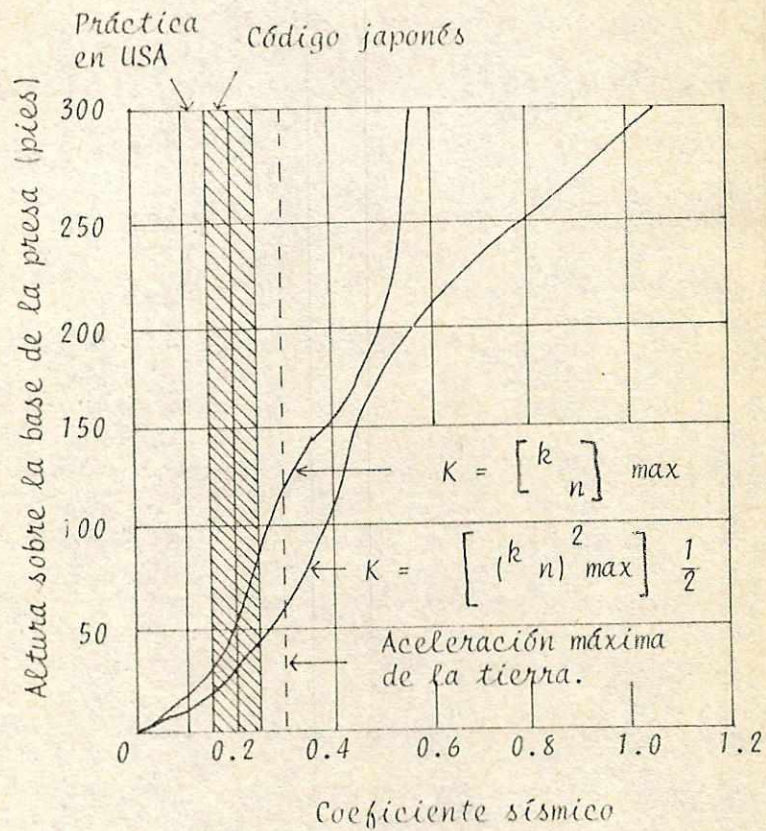


fig. 3.1

Es evidente que el ingeniero tiene un campo amplio donde seleccionar un coeficiente sísmico para usar en diseño. El amplio rango de valores y opiniones a menudo es una seria limitación y, presumiblemente, refleja la incertidumbre de los ingenieros, concerniente a este aspecto del diseño de taludes.

Adicionalmente el uso de la experiencia previa y métodos pseudoestáticos de análisis proveen una guía en la evaluación de estabilidad de taludes durante terremotos, pero su uso es seriamente limitado por los pocos conocimientos disponibles. Actualmente hay muy pocos casos de fallas de taludes donde las condiciones del suelo hayan sido suficientemente bien establecidas y que provean una guía cualitativa y que permita extrapolar la experiencia a nuevos lugares.

B. Análisis dinámico

El diseño de taludes que resistan los efectos destructivos de los terremotos con seguridad, constituye un problema complejo de análisis. Desplazamientos repentinos o súbitos de la tierra, durante los terremotos, inducen grandes fuerzas inerciales, siendo necesario determinar los efectos de estos esfuerzos de vibración, y superponerlos a los esfuerzos iniciales debido a cargas muertas. Durante un terremoto las fuerzas inerciales pueden ser suficientemente grandes y pueden sobrepasar los factores de seguridad, pero solamente por breves lapsos de tiempo.

Durante tales lapsos de tiempo pueden ocurrir desplazamientos permanentes, pero el movimiento puede ser interrumpido cuando la magnitud de la aceleración decrece o es revertida. La magnitud de las

deformaciones desarrolladas dependerá de la historia de las fuerzas inerciales y un método lógico de diseño requiere: una determinación de la variación de las fuerzas inerciales con el tiempo y una evaluación de las deformaciones inducidas por estas fuerzas, así como considerar la posible reducción de esfuerzos de los suelos.

Para proveer información de la variación de las fuerzas de inercia con el tiempo en un talud, se ha propuesto el uso de capas de suelo, para determinar la historia completa de aceleraciones y fuerzas desarrolladas durante el período significativo del movimiento de la tierra.

Se ha encontrado que el método de elemento finito es adecuado para estudiar el comportamiento de este tipo de estructuras de suelos.

C. Análisis dinámico con elemento finito

El método de elemento finito es un procedimiento numérico por medio del cual una estructura continua es representada por medio del ensamble de elementos interconectados en un número finito de puntos nodales. Al evaluar la respuesta sísmica, el siguiente juego de ecuaciones de fuerzas se resuelve:

$$\underbrace{[M] \{\ddot{u}\}}_{\text{inerciales}} + \underbrace{[C] \{\dot{u}\}}_{\text{amortiguamiento}} + \underbrace{[K] \{u\}}_{\text{rigidez}} = \{R(t)\} \quad (1)$$

$[M]$ = matriz de masa del ensamble de elementos.

$[C]$ = matriz de amortiguamiento.

$[K]$ = matriz de rigidez.

$\{u\}$ = vector de desplazamientos nodales.

$\{\dot{u}\}$ = vector de velocidades nodales.

$\{\ddot{u}\}$ = vector de aceleraciones nodales.

$\{R(t)\}$ = vector de cargas sísmicas.

Se utiliza también, una solución de amortiguamiento variable, en la cual una sola matriz de amortiguamiento se formula para cada elemento, basándose en la expresión de amortiguamiento de Rayleigh:

para el i -ésimo elemento:

$$[C]_i = \beta_i W_i [m]_i + \frac{\beta_i}{W_i} [K]_i$$

β_i representa la relación de amortiguamiento para el elemento i y se elige basándose en la deformación desarrollada en el elemento.

W_i frecuencia fundamental de vibración de todo el sistema.

Las ecuaciones de movimiento (ecuación 1) se resuelven por el método numérico paso-a-paso. (18)

Para usar el programa QUAD-4 se requiere efectuar tres pasos previos:

- a- modelar la estructura de suelo como el ensamble de elementos, es decir, geometría.
- b- determinación de propiedades de los materiales que componen los elementos.
- c- determinación de los acelerogramas a usar en el análisis

Los pasos que efectúa el programa son:

- i- ingreso de datos de geometría, propiedades de materiales y

de acelerograma.

- ii. ensamble de matrices de masa, amortiguamiento y rigidez.
- iii. planteamiento de ecuaciones de movimiento.
- iv. soluciones de ecuaciones, obteniendo desplazamientos, velocidades y aceleraciones en los puntos nodales.
- v. evaluación de esfuerzos y deformaciones unitarias en los elementos.

Los pasos ii al v se repiten hasta que los valores de módulo de corte y amortiguamiento sean compatibles con las deformaciones desarrolladas en cada elemento. Con esto se ha vuelto posible modelar geometrías complejas y la heterogeneidad dentro de las estructuras de tierra y calcular los esfuerzos tanto estáticos como dinámicos virtualmente en cualquier lugar dentro de las regiones modeladas. Dentro de este contexto y para efectuar los respectivos análisis dinámicos se hace uso del programa QUAD - 4 desarrollado por Idriss (5) et al.

El programa tiene disponible dos tipos de elementos finito para modelar el suelo: Triangulares y cuadriláteros.

El amortiguamiento en suelos depende de la deformación y el valor de amortiguamiento a usarse en cada elemento debería basarse en la deformación desarrollada en dicho elemento. Además, con condiciones de borde, irregularidades y vibraciones en las propiedades del material, estas deformaciones pueden variar considerablemente.

Por eso, el programa contiene un procedimiento analítico que permite el uso de diferente porcentaje de amortiguamiento para cada elemento. Esto facilita la incorporación de los valores de rigidez y

amortiguamiento, los cuáles son dependientes de la deformación para cada elemento.

El amortiguamiento del material (o amortiguamiento interno) ocurre en el suelo cuando pasa a través de él una onda de vibración.

Puede considerarse como una medida de la pérdida de energía de vibración que resulta principalmente por histéresis del suelo. El amortiguamiento es expresado convenientemente como una fracción del amortiguamiento crítico en cuyo caso se define como una relación de amortiguamiento.

IV. GEOMETRIA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

A. Tipos de taludes

Los taludes pueden ser hechos por el hombre, como en:

- Cortes y rellenos para carreteras y ferrocarriles.
- Fresas de tierra.
- Excavaciones temporales y otros.

Los taludes pueden también ser formados naturalmente, como en las faldas de las montañas o en los bordes de los ríos. En cualquier caso, la superficie que no es horizontal da por resultado componentes gravitacionales del peso que tienden a movilizar el suelo desde un nivel alto a uno más bajo.

B. Modelo de una estructura de suelo

El suelo a estudiar se subdivide en elementos triangulares y/o rectangulares.

Esta subdivisión se denomina "Malla" y sus proporciones no se fijan arbitrariamente.

El principal requerimiento es que la malla debería ser lo suficientemente fina en la región de interés para obtener resultados con una exactitud aceptable y que los bordes del modelo estén lo suficientemente lejos de la región de interés, de tal manera que no afecten la exactitud de la solución. Idris y Lysmer, usando estudios paramétricos llegaron a plantear los siguientes lineamientos para el análisis dinámico de los suelos:

- a. máxima altura recomendada para las láminas de la malla $h_{\text{máx}}$ no debería exceder:

$$h_{\text{máx}} = V_s / (5 \times F_{\text{máx}})$$

Donde:

V_s = velocidad mínima de la onda de corte (m/seg)

$F_{\text{máx}}$ = frecuencia usada en el análisis. Un valor de 8 Hz se considera apropiado, por lo tanto

$$h_{\text{máx}} = V_s / 40$$

Aunque la velocidad de onda de cortante es aplicada directamente en el análisis de respuesta, su mayor utilidad corresponde a la determinación del módulo de cortante G del suelo.

Ya que la velocidad de onda de corte está relacionada con el módulo de corte: G , como $G = V_s^2 \times \rho_0$, donde ρ_0 es la densidad del suelo, tenemos:

$$h_{\text{máx}} = \frac{(G/\rho_0)^{1/2}}{40}$$

En el método geofísico para determinar V_s , las ondas de baja energía son propagadas a través del depósito del suelo, y la velocidad de onda de cortante se mide directamente. Alternativamente puede calcularse un valor apropiado de G empleando la ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Donde: E es el módulo de Young y μ es la relación de poisson. En ausencia de datos más específicos pueden usarse los valores bajo de

deformación E, contenidos en el siguiente cuadro:

VALORES TÍPICOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD
DE SUELOS Y ROCAS

TIPO DE SUELO	E (MN / m ²)
Arcilla suave	hasta 15
Arcilla firme y dura	de 10 a 50
Arcilla muy firme y dura	de 25 a 200
Arena limosa	de 7 a 70
Arena suelta	de 15 a 50
Arena densa	de 50 a 120
Arena y grava densas	de 90 a 200
Arenisca	hasta 50,000
Creta	de 5,000 a 20,000
Caliza	de 25,000 a 100,000
Basalto	de 15,000 a 100,000

En la ecuación anterior pueden utilizarse los valores de la relación de poisson que aparecen en el siguiente cuadro:

VALORES TÍPICOS DE RELACION DE POISSON PARA SUELOS

TIPO DE SUELO	RELACION DE POISSON
Arena	0.35
Arcilla saturada	0.50
La mayor parte de los otros tipos de suelo	0.40

- b. El número mínimo de láminas o capas en cualquier región de interés no debería ser menor que cuatro.

- c. El tiempo de solución se incrementa, aproximadamente, con el cubo del número de láminas o capas.
- d. Un talud influye en la respuesta dinámica de un depósito de suelo horizontal hasta una distancia de seis veces la altura del talud en cada dirección.

En un análisis dinámico, la elección del módulo de corte G , no sólo afecta el espaciamiento de los puntos nodales, sino que también determina el período fundamental de vibración del depósito del suelo. Este, a su vez, controla el grado de respuesta del suelo a la acción del sismo.

El período natural de vibración, T_s de un depósito de suelo homogéneo con una velocidad de onda de corte constante es una función del módulo de corte G , la densidad R_0 y de la profundidad del depósito de suelo, H .

$$T_s = 4H/(G/R_0)^{1/2} \quad \text{ó} \quad T_s = 4H/V_s$$

Puede tomarse un rango de velocidad de onda de corte entre 250 y 900 m/seg. para cubrir un margen tan ancho como sea posible.

Debe notarse que el período fundamental del suelo, generalmente, varía entre 0.2 y 2.0 segundos, dependiendo de la rigidez y profundidad de los suelos que sobreyacen al lecho de roca.

Los parámetros de los suelos que inciden en las características sísmicas son:

V_p = velocidad de ondas de compresión.

V_s = velocidad de ondas de corte.

G = módulo de rigidez o cortante

μ = relación de Poisson.

Propiedades todas que se relacionan entre sí y que permiten analizar en forma numérica directa el comportamiento del suelo al ser accionado por un movimiento sísmico.

C. Prospección sísmica

Para determinar las características del suelo, existen pruebas de campo y laboratorio. Para los efectos del presente estudio se realizaron estudios de campo, con un aparato geofísico, el sismógrafo modelo MD-11, propiedad de la Universidad del Valle, adquirido a través del proyecto "Bases Regionales para elaborar códigos de Vivienda Sismoresistentes de bajo costo", cuya aplicación es para determinación de profundidades de depósitos de suelo, y velocidades de onda de corte, en suelos de poca profundidad.

La prospección sísmica estudia la propagación dentro del sub-suelo de ondas elásticas que han sido provocadas por medio de golpes mecánicos en la superficie del suelo. El parámetro medido es el tiempo de recorrido de las ondas, que es función, a la vez, de la disposición y composición de las formaciones geológicas atravesadas.

El efecto de los golpes mecánicos son traducidos en una emisión de ondas de deformación u ondas elásticas de diversos tipos, entre los que están las ondas longitudinales, las ondas transversales y las ondas que se propagan por la superficie del suelo. De estas ondas, las longitudinales son las más rápidas, razón por la que ellas son las más utilizadas en investigaciones a pequeñas profundidades.

El parámetro de las rocas y de las formaciones geológicas estudiadas es la velocidad de propagación de dichas ondas. Este

parámetro está relacionado con el módulo de elasticidad del medio y, en general, aumenta con la densidad de las rocas; en cambio para un mismo tipo de roca, la velocidad de propagación de las ondas disminuyen con el grado de alteración y fisuración o fracturación. Con base en lo anterior, se puede decir que cada formación geológica está caracterizada por un intervalo de velocidades de propagación.

Quando las ondas elásticas se propagan a través del sub-suelo, sufren reflexiones y refracciones en las interfaces o contactos entre rocas, cuyas velocidades son diferentes. Estas ondas sísmicas son detectadas por medio de geófonos que se introducen en el suelo y que son colocados en función de la profundidad de investigación y del método utilizado. Estos detectores transmiten los impulsos a un registrador, de donde se obtiene el registro sísmico, que indica el tiempo de llegada de las ondas sísmicas a los detectores con una precisión de milisegundos.

El sismógrafo modelo MD-11, utiliza el método de refracción sísmica y desarrolla una función básica que es la presentación visual de la forma de la onda sísmica.

Como parte del desarrollo del presente trabajo se hicieron varias pruebas con el sismógrafo MD-11, previo a escoger el lugar para el estudio del caso particular. Los lugares que se ensayaron fueron los siguientes.

- Campus de la Universidad del Valle
- Km. 10 Carreteras a El Salvador
- Campo de Marte
- Area de zanjeo a 300 mts. de la descarga del proyecto drenajes

de aldeas al sur de Antigua Guatemala.

- Amatitlán.

Los resultados de este estudio están contenidos en las gráficas del Apéndice A.

D. Módulo de corte

El parámetro (K_2) max relaciona el módulo de corte máximo G_{MX} , y la presión efectiva promedio para cualquier profundidad y bajo la superficie como sigue:

$$G_{MX} = (K_2)_{max} * P_m^{1/2}$$

donde P_m = presión efectiva promedio

$$P_m = \frac{(1+2 K_o) P_v}{3}$$

K_o = Coeficiente de presión lateral en reposo.

P_v = Presión vertical efectiva (usualmente computada al centro del elemento).

Para estimar el valor de la presión efectiva debajo del nivel freático, se utilizó el siguiente procedimiento.

Presión efectiva = presión total - U

U = presión de poros o neutra

w = peso específico del agua (62.41 Lb/pie³)

U = w * Z_w

Z_w = profundidad o altura de la capa de agua que está encima del punto de interés.

arena saturada = 127 Lb/pies³

presión total = presión seca + presión saturada.

E. Amortiguamiento

La figura 4.1 proporciona las variaciones típicas promedio de la relación de amortiguamiento versus esfuerzos de corte, amortiguamiento del material que representa valores promedio de resultados de pruebas de laboratorio en arenas y arcillas saturadas. Esta gráficas representan propiedades promedio y fueron normalizados para derivar propiedades de capas individuales. En ausencia de mayor información, puede ser razonable considerar el amortiguamiento de gravas igual que para arenas.

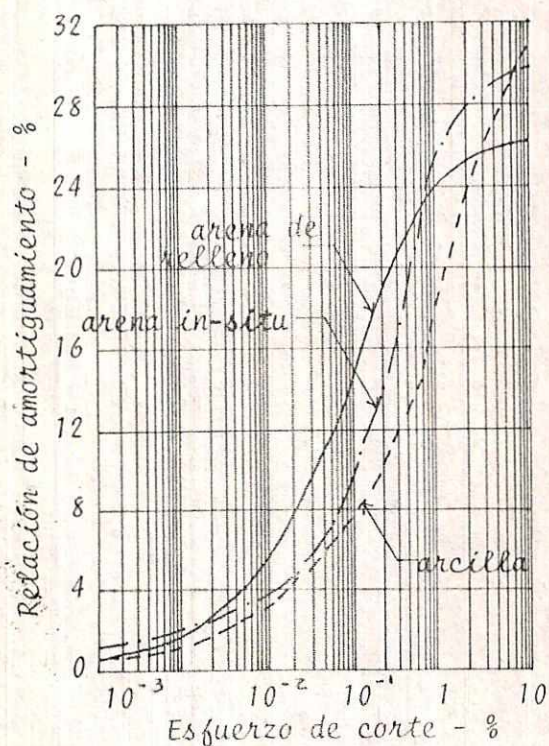


fig.4.1

Las variaciones típicas del módulo de corte versus los esfuerzos cortantes para arenas y arcillas se muestran en la figura 4.2.

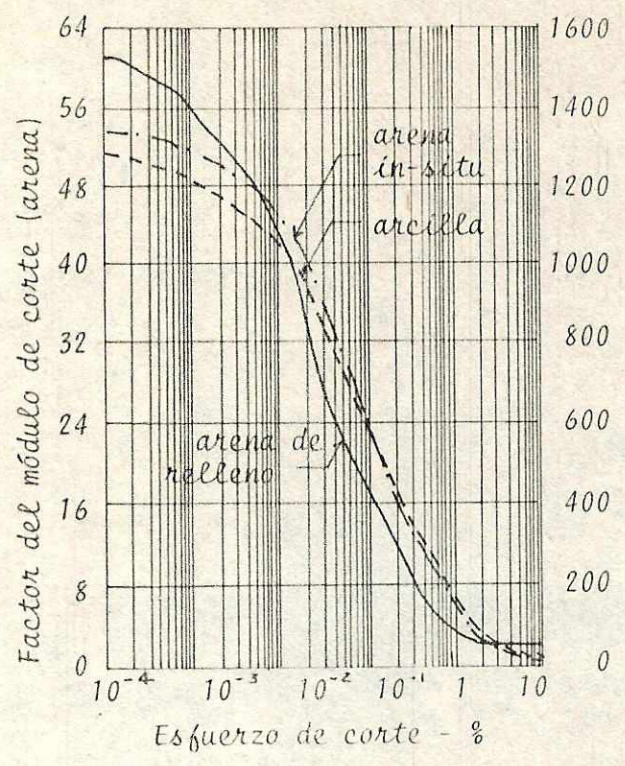


fig.4.2

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

V. CARGAS SISMICAS

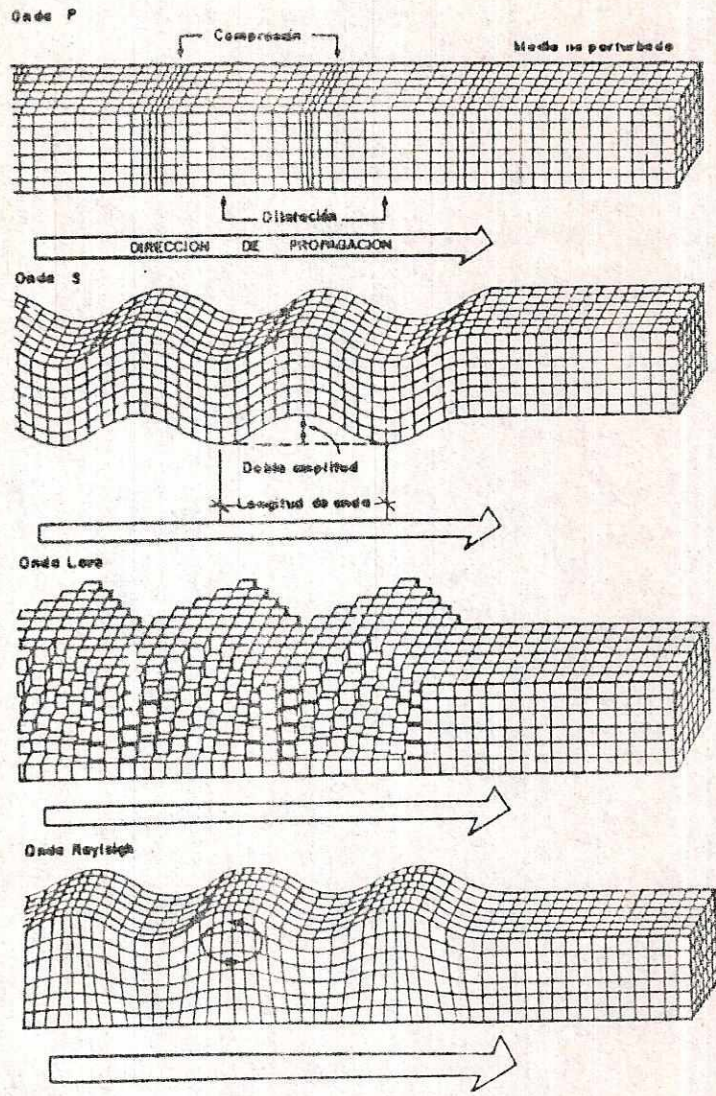
A. Causas de los sismos

Muchos son los fenómenos que pueden dar origen a los sismos: La actividad volcánica, las explosiones, el colapso de los techos de las cavernas, etc. Sin embargo, los sismos más importantes desde el punto de vista de la ingeniería son de origen tectónico, es decir, los asociados con deformaciones a gran escala en la corteza de la tierra. La teoría mas aceptada en cuanto a los mecanismos que producen movimientos tectónicos, sostiene que los sismos tectónicos son causados por deslizamientos a lo largo de fallas geológicas.

B. Tipos de ondas terrestres

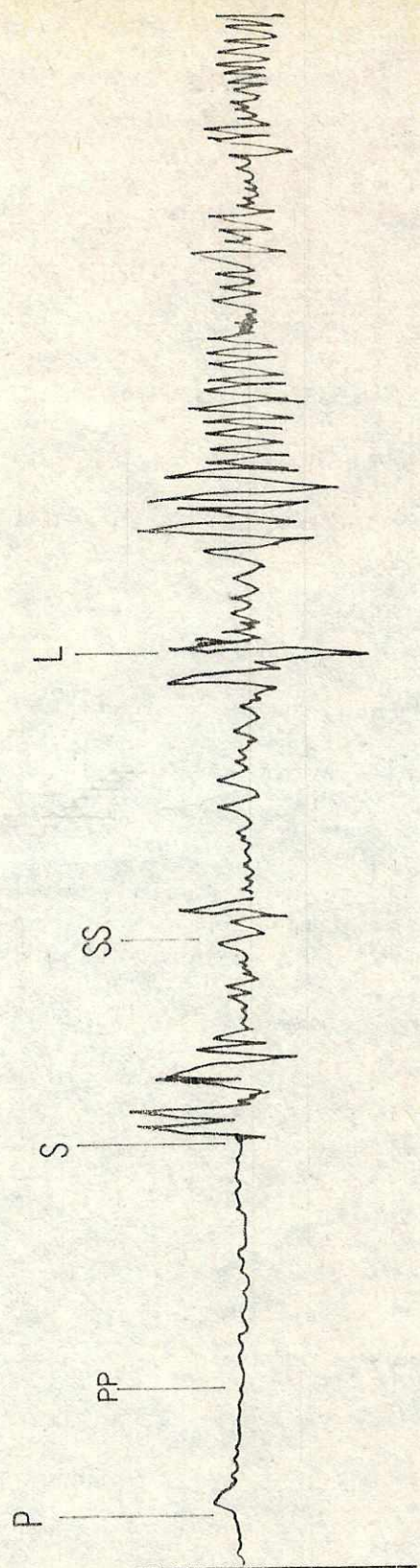
Los sismos generan ondas de cuerpo: P (primarias), y S (ondas de corte que viajan a través de la tierra), y ondas de superficie (que se propagan a lo largo de la superficie), ver figura 5.1. Debido a la diferencia de la velocidad de propagación de estas ondas, se podría esperar que los acelerogramas consistieran en dos trenes separados de oscilaciones, uno para cada tipo de onda. Sin embargo, los acelerogramas son siempre muy complicados y el tren de onda S siempre empieza antes de que se hayan desvanecido las ondas P.

Un acelerograma típico contiene tres grupos principales de ondas o fases: P o primaria; S o secundaria y L u ondas superficiales, que incluyen las de Love y Rayleigh, ver figura 5.2.



ONDAS P, S, LOVE Y RAYLEIGH

fig.5.1



Acelerograma típico de un sismo.

fig. 5.2

En los acelerogramas de sismos destructivos, las ondas L generalmente se confunden con el final de la fase S porque las aceleraciones de las ondas L son ordinariamente muy pequeñas.

La Velocidad se incrementa con la profundidad, por lo que la onda superficial puede distinguirse en que su arribo es más tarde que las ondas de cuerpo. La velocidad de las ondas P y S son determinadas por el tipo de material a través del cual viajan. En general, la velocidad de las ondas de cuerpo se incrementan con la densidad del material.

C. Foco, hipocentro, epicentro

El foco, centro o hipocentro de un sismo, es el punto de la corteza terrestre en el que indican los cálculos que se originan las ondas sísmicas.

El epifoco o epicentro es la proyección vertical del foco en la superficie de la tierra. En ausencia de datos instrumentales, el epicentro se fija a veces, basándose en los daños observados, como el punto de sacudidas más intensas. En general, este punto no coincide exactamente con el epicentro instrumental. Términos tales como distancia focal y distancia epicentral se refieren a distancias a un punto de interés dado, llamado estación.

D. Estructura tectónica de Guatemala

Guatemala está situada en la región de convergencia de tres placas tectónicas: La placa del Caribe, la placa de Norteamérica y la placa del Coco (Figura 5.3).

El movimiento relativo de las placas genera actividad sísmica a lo

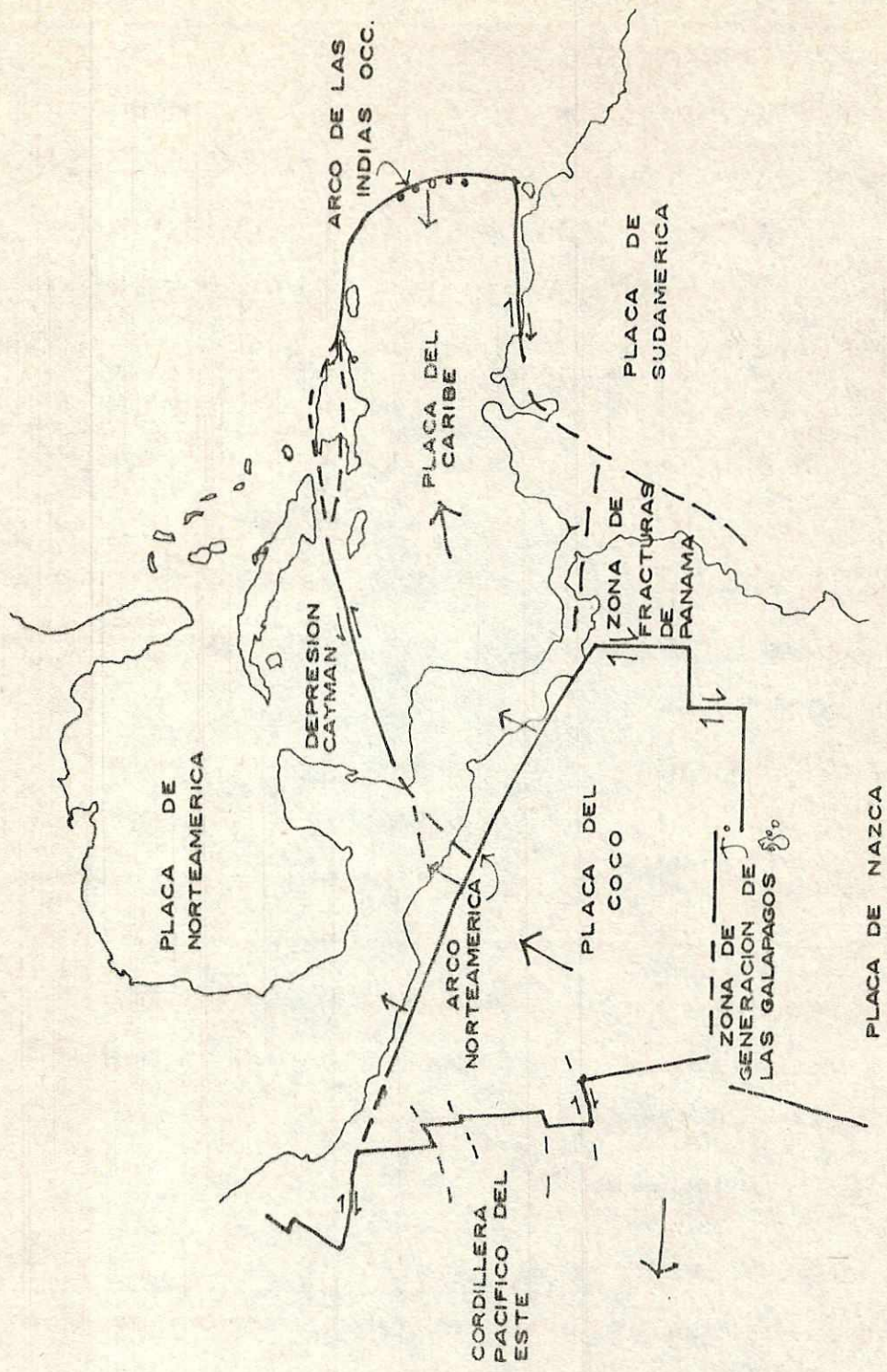


fig. 5.3

largo de las zonas de contacto. En Guatemala existen dos zonas de contacto:

a. El contacto entre las placas del Coco y del Caribe debajo de la costa sur de Guatemala, es una zona de subducción.

b. El contacto entre las placas tectónicas del Caribe y Norteamérica, desde Izabal hasta Huehuetenango, es una zona de grandes fallas superficiales de transcurrancia.

Adicionalmente, debido a la interacción de las tres placas tectónicas, la superficie del país está altamente fracturada con fallas pequeñas y medianas. Estas zonas de fallas son secundarias desde el punto de vista tectónico, sin embargo, son capaces de producir sismos locales muy intensos. Las fuentes que las producen se pueden dividir en tres sub-grupos principales:

1. Grábenes y estructuras con fallamientos de tipo normal detrás del arco volcánico (ejemplo: falla de Jalpatagua).
2. Grábenes y estructuras con fallamientos de tipo normal, perpendiculares al arco volcánico (ejemplo: Gráben del Valle de Guatemala con sus fallas de Mixco, Villa Nueva, Pinula y Palencia).
3. Fallamientos antiguos de cabalgamientos en Chiapas y Huehuetenango.

Algunas de las fallas se muestran en la figura 5.4.

E. Estructura tectónica del valle de Guatemala

El Valle de Guatemala es uno de los muchos grabens que se encuentra entre el sistema de falla del Motagua y la cadena volcánica. (Ver figura 5.4).



fig.5.4

El graben de Guatemala está delimitado en el Oeste por la falla de Mixco, que representa unas zonas de fallas de 4 a 6 kms. de ancho. El espaciamiento de las fallas es del orden de 200 a 700 metros. Éstas son perceptibles en distancia de 1 a 6 kms. al Este del Lago de Amatitlán no se presenta una serie de fallas, sino una sola falla. Aparentemente la actividad del movimiento es más reciente en el Sur que en el Norte.

El rumbo de las fallas de Mixco es de N 20° E, al Oeste de la capital; hacia el Norte el rumbo cambia de N 25° E a N 30° E.

En el área de San Juan Sacatepéquez, La Florida, la zona fallada es aproximadamente de 8 kms. de ancho. Al Oeste del Lago de Amatitlán, la falla de Mixco cruza hacia las cumbres del complejo volcánico de Pacaya y tiene un rumbo de N 25°.

Los sistemas de fallas de Mixco y Santa Catarina Finula, a ambos lados del graben, convergen hacia el volcán Pacaya. Los cráteres sucesivos de este volcán están definidos por la presencia de las intersecciones de estos dos sistemas de fallas con el sistema de fallas de Jalpatagua que tienen un rumbo de N 70° O.

El volcán de Agua está ubicado probablemente en la extensión occidental de la falla jalpatagua, donde intersecciona fallas relacionadas con el sistema de Mixco.

F. Medidas de los sismos

Diferentes parámetros pueden ser usados para caracterizar los movimientos fuertes de tierra, estos incluyen magnitud, intensidades, aceleraciones pico, velocidad pico, valores de espectro de respuesta, valores de espectro de Fourier.

La magnitud de un sismo es una medida de la energía liberada. Intensidad es una medida de la capacidad de destrucción sísmica local. Por lo tanto, a un sismo se asocia una sola magnitud, mientras que su intensidad varía de estación en estación.

De los diferentes tipos de magnitud que han sido definidas, las comúnmente citadas en ingeniería sísmica son la magnitud local de Richter M_L y la magnitud de onda de superficie M_s . M_L es determinada del trazo de la amplitud sobre un registro hecho por un tipo particular de sismógrafo (Wood-Anderson) localizado a pocos cientos de kilómetros del terremoto.

M_s es determinada de movimientos de tierra asociado con ondas de superficie de 20 seg. de período registradas en cualquier parte del mundo.

Una descripción más adecuada de un sismo abarca aceleraciones u otras representaciones en función del tiempo, con tres componentes ortogonales de traslación del movimiento del terreno en un punto: Las dos componentes horizontales y la componente vertical.

Las características del movimiento del suelo que son registradas por un acelerograma y que proveen una descripción del sismo en un sitio particular, son: La amplitud, el contenido de frecuencia y la duración.

La amplitud, generalmente, viene caracterizada por el valor pico o por el número de picos que exceden cierto valor específico; el contenido de frecuencia puede ser representado por el número de veces por segundo que se cruza la ordenada cero; y la duración por la diferencia de tiempo entre el primer y último pico que exceden un nivel dado.

Los valores que toman las características anteriores dependen de ciertos factores tales como:

- Las características del mecanismo de ruptura y la magnitud
- Las características del medio de propagación
- La distancia
- Las características locales del lugar.

Los factores anteriormente mencionados inciden de la siguiente manera: Generalmente, la duración y el tipo de ruptura de la falla afecta el contenido de frecuencia de la onda sísmica. Por su lado, el período predominante del movimiento aumenta con la distancia y el tamaño del evento sísmico (magnitud). La implicación ingenieril de esto es que las estructuras altas se ven más afectadas por sismos lejanos que las estructuras bajas ubicadas en el mismo punto. Los efectos de las condiciones del lugar sobre el contenido de frecuencia pueden ser bastante significativas, así los suelos firmes transfieren componentes de alta frecuencia y los suelos suaves, los componentes de baja frecuencia. El medio de propagación influye tanto en la frecuencia como en la amplitud de la onda sísmica (Ver figura 5.5).

Debido a la irregularidad de los movimientos de tierra y a que cada uno difiere de los demás, aun en un mismo sitio, importa establecer cualquier característica que ciertos grupos de sismos puedan tener en común y basar el diseño sísmico en estas generalizaciones. Con este objeto se pueden clasificar los sismos en cuatro grupos:

1. Los que son prácticamente una sola sacudida:

Los registros de aceleración, velocidad y desplazamiento para uno de estos movimientos se muestran en la figura 5.6.

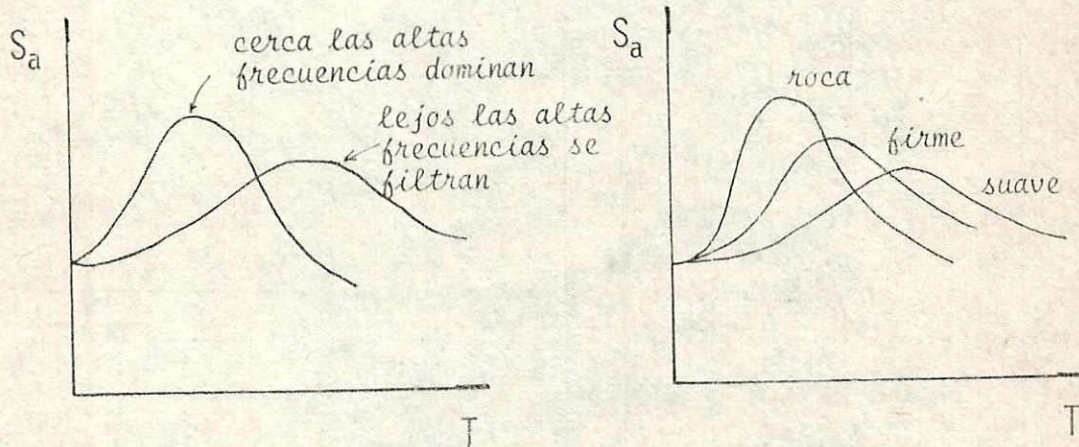
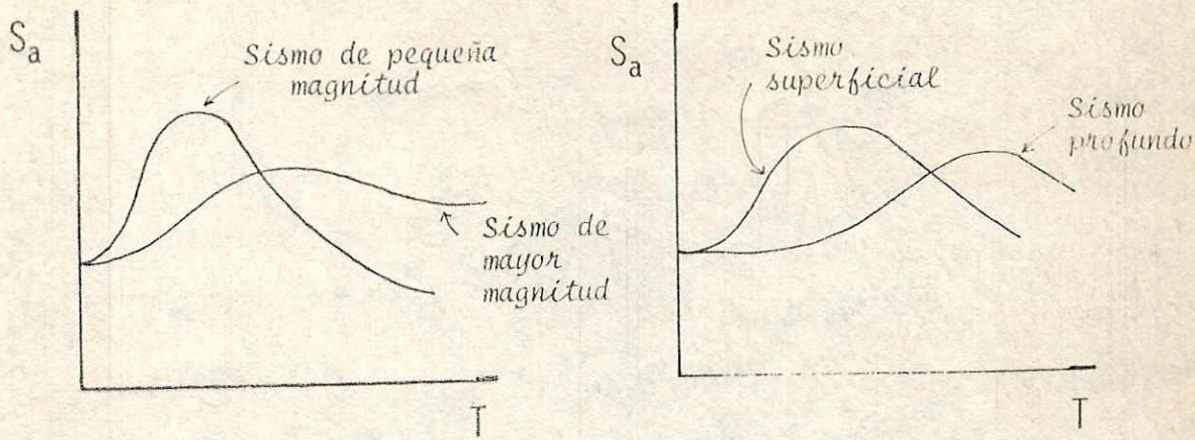


fig. 5.5

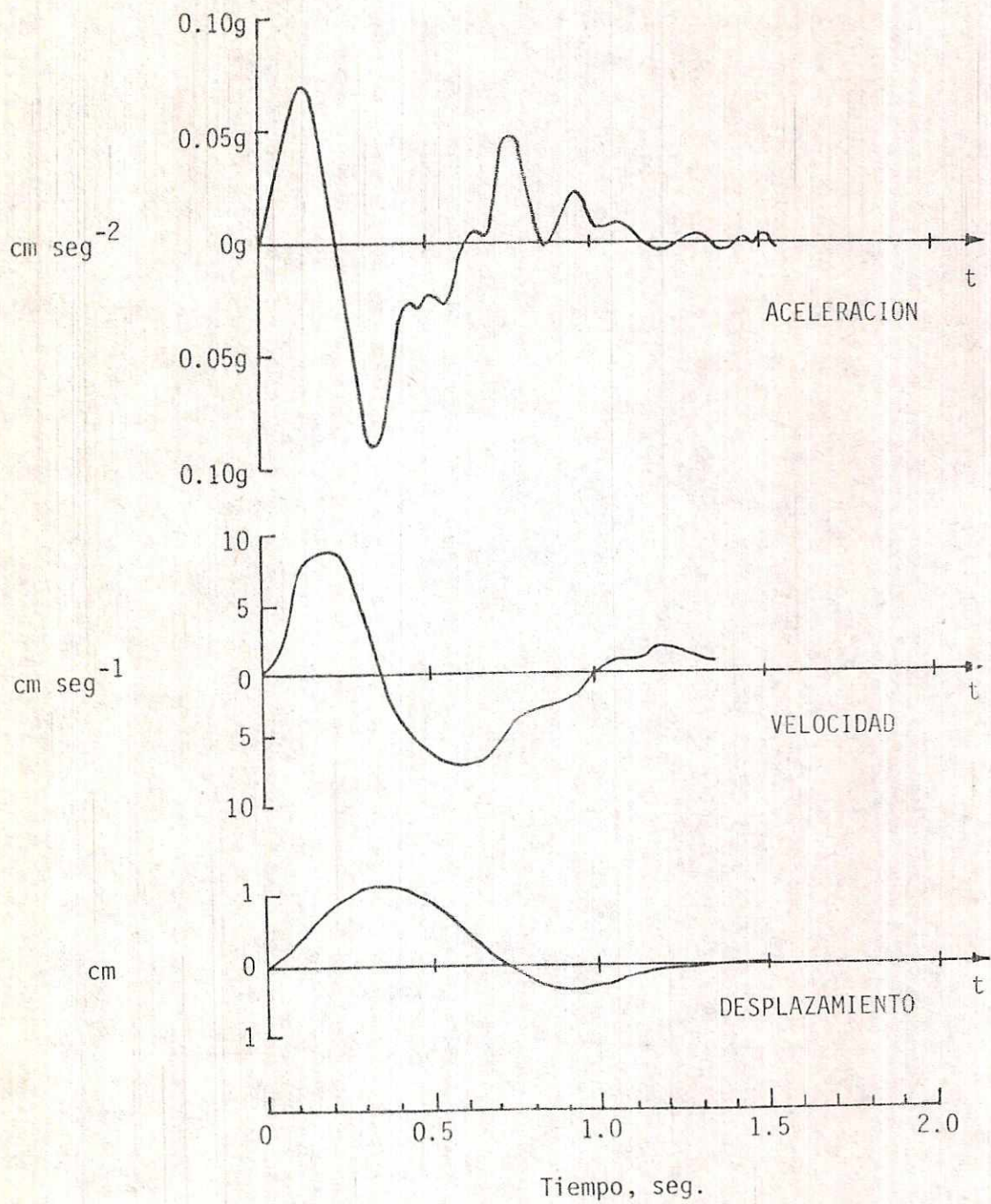


fig.5.6

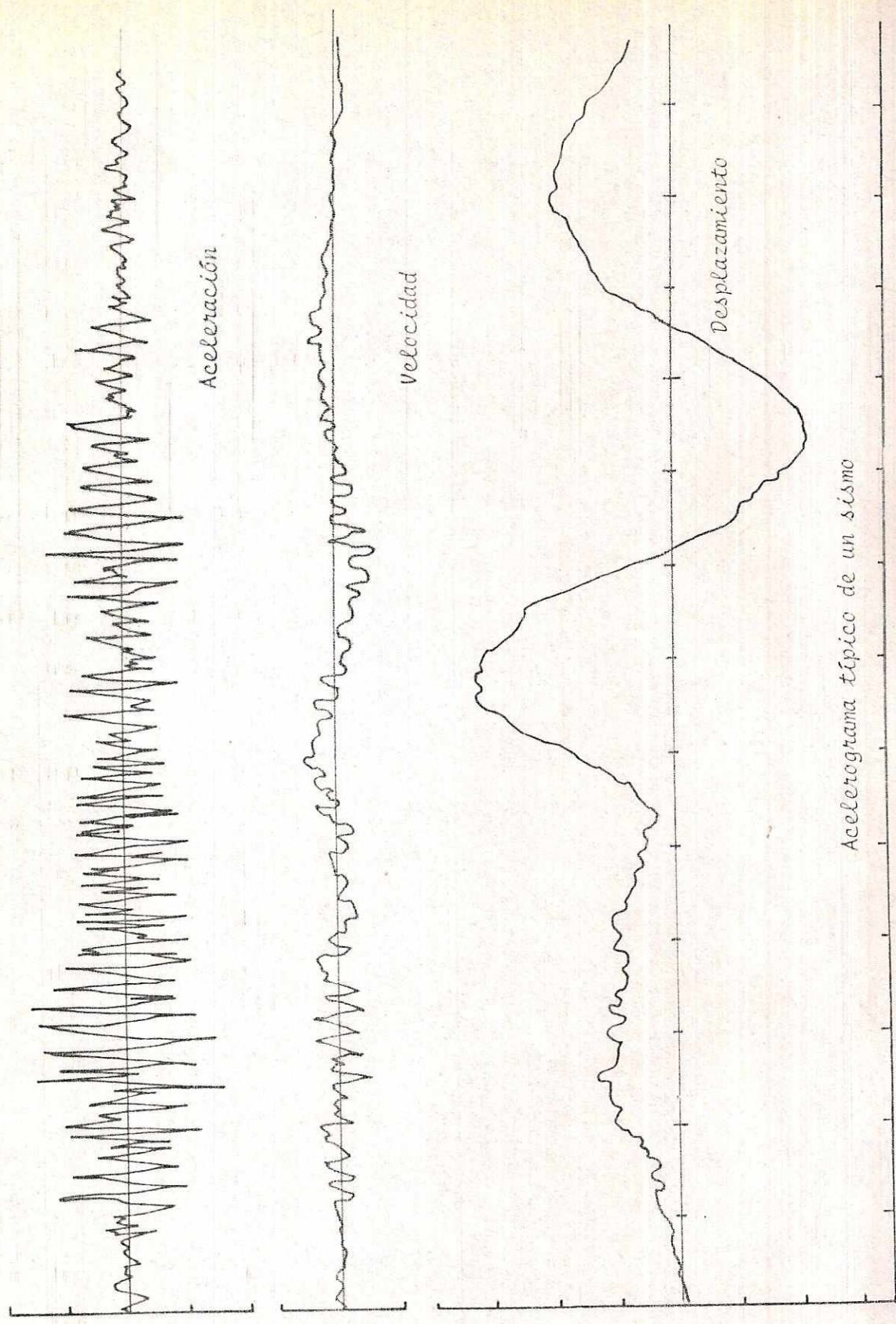
Los movimientos de este tipo ocurren solamente a cortas distancias del epicentro, únicamente en terreno firme y en sismos originados a poca profundidad.

Han ocurrido sismos destructivos de una sola sacudida, dichos sismos han tenido magnitudes moderadas (entre 5 y 6.5), focos someros (en profundidades menores de 30 kms.) y prevalecen periodos cortos de vibración (del orden de 0.2 seg. o más breves).

2. Los movimientos moderadamente largos, extremadamente irregulares, (ver figura 5.7). Corresponde a distancias focales moderadas y ocurre solamente en terreno firme. El rango amplio de periodos de vibración oscila entre 0.05 y 0.5 seg. y 2.5 a 6 seg.
3. Los movimientos del terreno de larga duración que presentan periodos dominantes de vibración. Tales movimientos resultan del filtrado de sismos de los tipos anteriores a través de estratos de suelo blando.
4. Los movimientos del terreno que producen deformaciones permanentes de gran escala. En el sitio de interés pueden presentarse deslizamientos o licuación de suelos.

G. Espectros de desplazamiento, velocidad y aceleración

Si un sistema de un grado de libertad con una masa M , rigidez k y amortiguamiento C (fig.5.8), se somete a la acción de la aceleración del suelo, puede obtenerse el desplazamiento y velocidad en cada instante durante toda la historia del sismo.



Acelerograma típico de un sismo

fig.5.7

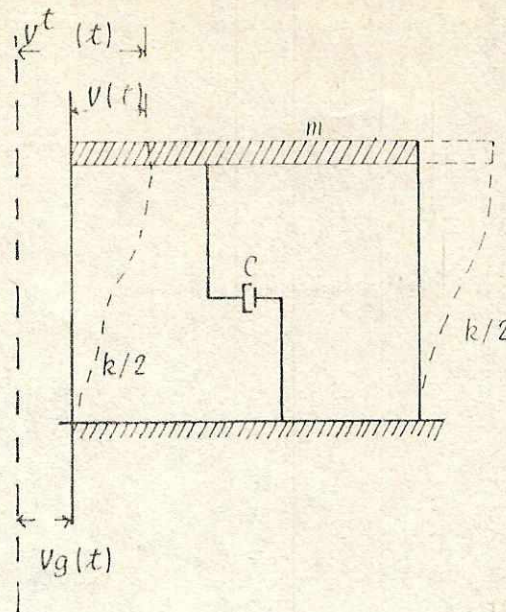


fig.5.8

En determinado instante el sistema alcanza el desplazamiento máximo. Si se varían las propiedades del sistema, se obtendrá una familia de respuestas máximas que al graficarse como funciones del período de vibración del sistema se denomina espectro de desplazamiento relativo S_d .

El mismo procedimiento puede aplicarse a las velocidades obteniéndose el espectro de velocidad relativa S_v .

La aceleración espectral S_a , definida por $S_a = \omega^2 S_v = \omega^2 S_d$, es una medida de la máxima fuerza elástica desarrollada en el oscilador:

$$F_s \text{ máx.} = k S_d = \omega^2 m S_d = m S_a.$$

plotear el desplazamiento y la aceleración pueden construirse de la misma forma que la velocidad, los espectros de desplazamiento y aceleración.

Debido a la relación simple que existe entre estas tres cantidades es más conveniente presentarlas todas en un papel logarítmico tripartito.

Es evidente que el espectro de respuesta provee una medida mucho más significativa de la intensidad de un terremoto que cualquier cantidad simple, por ejemplo, la aceleración pico. De hecho, el espectro de respuesta muestra directamente para qué extensión, cualquier estructura real dada (con período de vibración y amortiguamiento específico) responderá para este movimiento de la tierra.

El espectro de respuesta revela directamente aspectos del movimiento sísmico del suelo que son de interés primordial para el ingeniero estructural y la preparación de las curvas de espectros de respuesta es uno de los principales usos de los acelerogramas registrados.

Un método estándar de mostrar el contenido de frecuencia de una función como lo es un acelerograma, es por medio de espectros de amplitud de Fourier. Los picos de la curva de espectro representan los períodos en los cuales relativamente grandes cantidades de energía serían puestas en el sistema.

La tendencia general de una curva de espectro de Fourier indica que una cantidad significativa de energía puede introducirse a una estructura casi uniforme sobre una banda que se extiende desde 0.1 segundos hasta 3 ó 4 segundos. Este es también el rango de períodos que parecen cubrir las estructuras típicas de ingeniería. Abajo de 0.1 segundos una estructura se vuelve tan rígida que el diseño dinámico ordinariamente no es un factor significativo. Arriba de 3 ó 4 segundos

una estructura es tan flexible que las condiciones de deformaciones excesivas, y no las condiciones de resistencia, limitarán el diseño y otras condiciones de carga tal como las fuerzas de viento, pueden jugar un papel importante.

H. Elección de acelerogramas reales

Los registros de sismos reales son limitados en el sentido que están condicionados a una simple ocurrencia de un juego de parámetros aleatorios (magnitud, profundidad focal, características de atenuación, contenido de frecuencia, duración, etc.).

Al escoger de entre los registros de sismos reales, es deseable obtener las condiciones de diseño tan cerca como sea posible de las correspondientes de los sismos reales. Desafortunadamente, no todos los factores pueden ser conocidos o estar disponibles. Y no es posible cumplir con la condición de que los registros provengan de áreas geológicamente similares, pues existen áreas sísmicas que poseen poco o ningún registro de aceleración, en contraste con regiones ricas en acelerogramas.

I. Acelerogramas sintéticos

Las limitaciones y el corto número de acelerogramas registrados, unido al aumento del uso del análisis dinámico para obtener la respuesta de sistemas estructurales son las principales motivaciones para desarrollar la capacidad de simulación de sismos.

En un estudio dado, es común tomar tres o cuatro acelerogramas. Estos son frecuentemente una combinación de eventos reales y de

acelerogramas simulados.

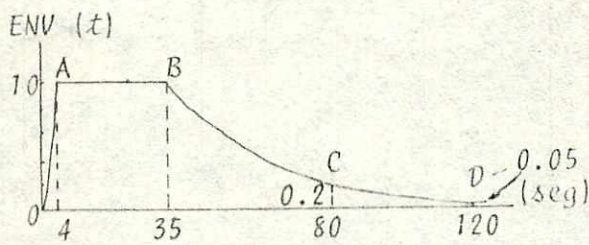
Para la mayoría de los propósitos de diseño puede suponerse que el movimiento del suelo es un proceso de vibraciones aleatorias, y que los acelerogramas pueden ser simulados matemáticamente con la teoría de vibraciones aleatorias. Debido a la escasez actual de registros en lecho de roca, la modelación de sismos simulados está necesariamente basada en los numerosos acelerogramas registrados en suelos suaves. Esto se considera razonable ya que hay muchas evidencias de que la diferencia principal entre movimientos en lecho de roca y en suelo suave, es el contenido de frecuencia; esta diferencia puede ser tomada en cuenta en el proceso de simulación.

El patrón más común del movimiento del suelo es aquel de una transición abrupta de cero a un movimiento máximo, seguido por una vibración intensa más o menos uniforme, y finalmente una atenuación bastante gradual. En la terminología de la teoría de vibraciones aleatorias, la porción central puede considerarse como un proceso aleatorio estacionario, mientras que las fases inicial y final, siendo transitorias, son no-estacionarias.

La figura 5.9 ilustra las envolventes de amplitud usadas por Jennings para modelar cuatro sismos.

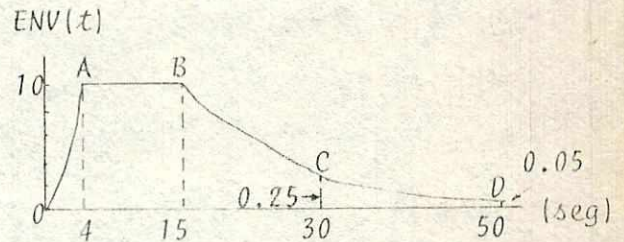
Las tres principales características de un acelerograma, que requieren consideración en el proceso de simulación, son: Aceleración máxima, duración y contenido de frecuencia.

Para determinar la duración del sismo simulado, como las colas de la mayoría de los sismos disminuyen gradualmente, el punto de corte del



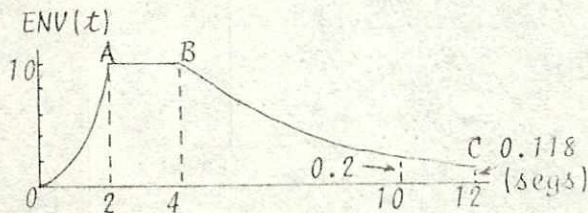
OA: $ENV(t) = t^2/16$
 AB: 1.0
 BC: $\exp[-0.0357(t-35)]$
 CD: $0.05 + 0.0000938(120-t)^2$

(a) TIPO A



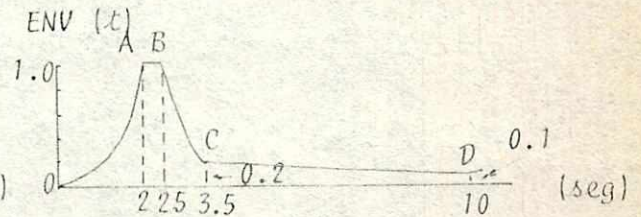
OA: $ENV(t) = t^2/16$
 AB: 1.0
 BC: $\exp -0.0992(t-15)$
 CD: $0.05 + 0.005(50-t)^2$

(b) TIPO B



OA: $ENV(t) = t^2/4$
 AB: 1.0
 BC: $\exp[-0.268(t-4)]$

(c) TIPO C



OA: $ENV(t) = t^3/8$
 AB: 1.0
 BC: $\exp[-1.606(t-2.5)]$
 CD: $0.1 + 0.00237(10-t)^2$

(d) TIPO D

fig. 5.9

movimiento fuerte es evidente arbitrario, dependiendo de la definición de "fuerte". Donovan ha confirmado una relación entre la duración del movimiento fuerte y la magnitud del sismo, como se muestra en la figura 5.10.

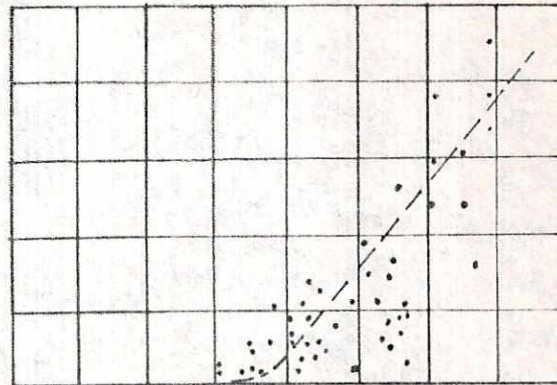


fig.5.10

La aceleración máxima esperada puede determinarse haciendo uso de las relaciones de atenuación establecida estadísticamente con base en los registros de varias partes del mundo, por ejemplo las siguientes:

Esteva (1970)

$$A = \frac{0.8M}{1230 e^{(R+25)^2}}$$

McGuire (1974)

$$A = \frac{0.28M}{1.3 (R+25)}$$

donde :

A = Aceleración máxima esperada en c/seg^2

M = Magnitud del sismo

R = Distancia epicentral en Kms.

La aceleración máxima esperada puede establecerse también a partir de las ecuaciones propuestas por varios investigadores, por ejemplo:

(7) (7) (7) (7)
 Joyner y Boore ; Crouse et al ; Sadigh et al ; Donovan y Borstein ;
 (7) (7) (7)
 Campbell ; Idriss ; Kawashima .

J. SIMOKE, un programa para generar acelerogramas sintéticos o artificiales

Existen países donde han ocurrido sismos importantes y desafortunadamente no se han registrado acelerogramas. En Guatemala, a la fecha, hay pocos registros disponibles de la actividad sísmica ocurrida en años anteriores.

En el estado actual de la tecnología electrónica, que ha permitido el fácil acceso a las computadoras para efectuar estudios analíticos de diferentes fenómenos naturales y las limitaciones y el corto número de acelerogramas registrados que estudia el comportamiento de sistemas estructurales, han servido de motivación para el desarrollo de programas de computadora para simular acelerogramas o generar sismos artificiales.

En el presente estudio se hace uso del programa "SIMUE" para generar sismos artificiales.

El programa calcula una función de densidad de energía espectral a partir de un espectro de respuesta suavizado que el usuario especifica.

Genera un acelerograma estadísticamente independiente y trata, por iteración, igualar el espectro de respuesta especificado. Efectúa una corrección de línea base al acelerograma generado para asegurar una velocidad final igual a cero y, por último, calcula los espectros de respuesta para los amortiguamientos especificados.

La energía del movimiento producido no varía con el tiempo. Para simular el carácter transitorio de los sismos reales, el movimiento es multiplicado por una función envolvente determinística $I(t)$. Las funciones envolventes disponibles en este programa son tres: Trapecial, exponencial y compuesta. (Ver figura 5.11)

En el presente estudio se ensayó la simulación de varios sismos, para los cuales se estimaron las características de los sismos, con base en los sismos históricos y al tipo de fallas que tiene Guatemala. Para generar sismos artificiales utilizados en el programa "SIMUE", se estableció el siguiente procedimiento:

- a. Origen: Para determinar el origen del sismo, se deberá conocer la situación tectónica del país y establecer el grupo sismogénico (zona de subducción, zona de transcurrancia, fuentes secundarias varias), que predomina en el área a estudiar, asimismo se debe revisar los sismos históricos producidos y el área de influencia de los diferentes eventos sísmicos.

b. Magnitud: De forma similar al inciso a) para establecer la magnitud se debe revisar los sismos históricos, las magnitudes registradas y analizar las perspectivas futuras de eventos sísmicos que son posibles en el futuro mediato en Guatemala.

c. Duración: Para determinar la duración del sismo simulado, existen varias formas. En el presente estudio se utilizaron las relaciones de: Donovan que relaciona la duración del movimiento fuerte y la magnitud del sismo (ver figura 5.10) y la siguiente ecuación empírica recomendada (en Japón), para estimar la duración del terremoto de diseño:

$$T_d = 10^{0.31 M - 0.774}$$

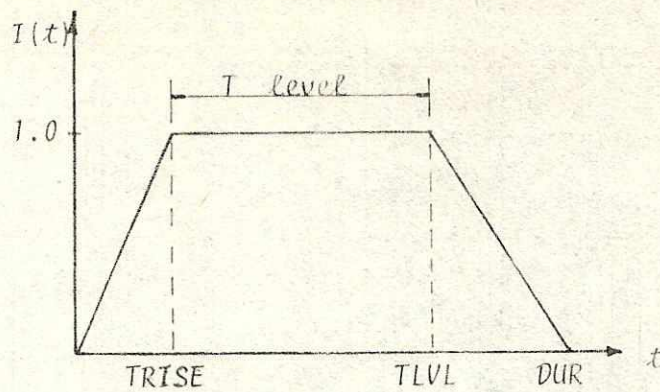
T_d = duración en seg. dependiendo de la magnitud.

M = magnitud

d. Curva envolvente: El patrón más común del movimiento del suelo es aquel de una transición abrupta de cero a un movimiento máximo, o menos uniforme y finalmente una atenuación bastante gradual.

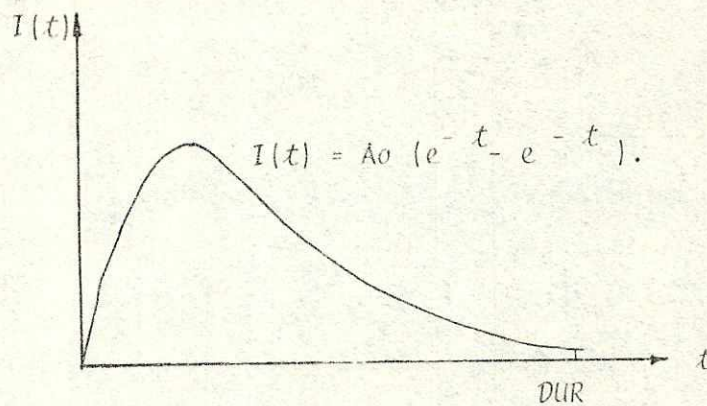
Como una aproximación de la amplitud variando con el tiempo, se proporcionaron las curvas envolventes de la figura 5.9. A partir de estas curvas se determinaron los valores TRISE Y TLM (tiempo de inicio y final de la envolvente de intensidad), requeridos en el programa SIMONE.

- e. **Distancia epicentral:** Para la simulación de sismos, una buena aproximación para estimar la distancia del punto de interés a la falla seleccionada previamente.
- f. **Longitud de ruptura:** Para confirmar el modelo sismogénico es necesario contar con la longitud de ruptura para estimar la extensión y alcance de un sismo de gran magnitud. En la figura 5.12 se consideran varias relaciones entre la magnitud y la longitud de ruptura para las diferentes fuentes sismogénicas (subducción, transcurrencia y fallamientos secundarios superficiales).
- g. **Espectros:** Los espectros de respuesta se calculan a partir de los acelerogramas de sismos reales. Estos espectros por lo general son suavizados y simplificados para fines prácticos. Para el presente estudio se utilizaron los espectros de respuesta de velocidad preparados por Donovan y Bortein y el espectro recomendado por la guía de los japoneses. En el apéndice M se presentan los datos que sirvieron de base para la simulación de 15 sismos.

Οpción A: Trapezoidal

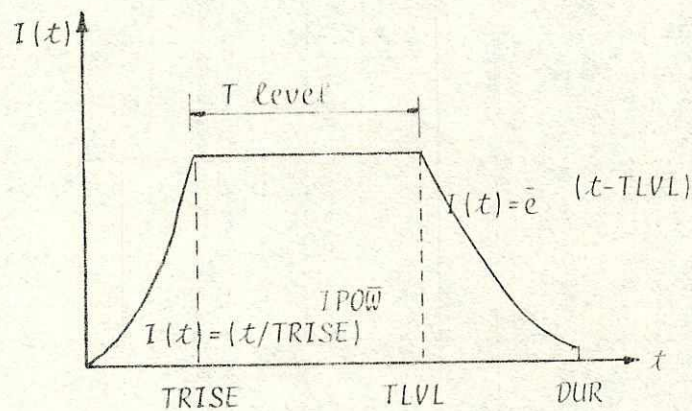
D A T O S:

1. ICASE = 2
2. TRISE
3. TLVL
4. DUR

Οpción B: Exponencial

D A T O S:

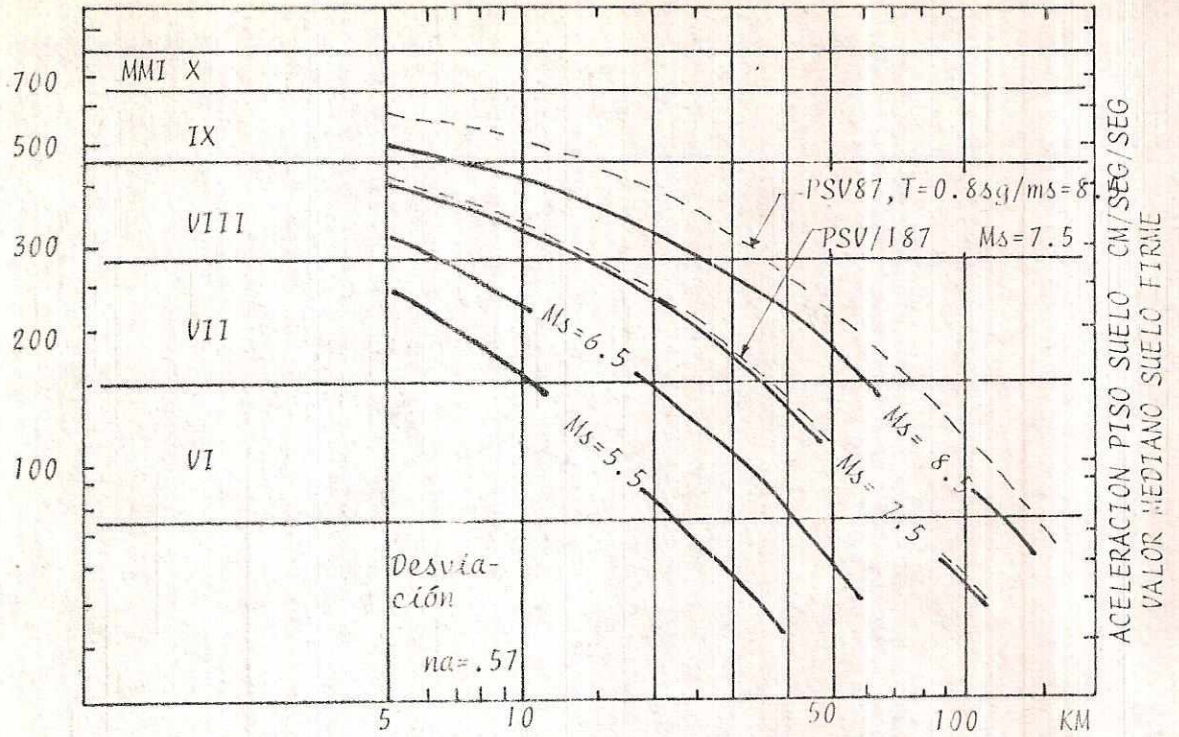
1. ICASE = 3
2. ALFAO
3. BETAO
4. A0
5. DUR

Οpción C: Compuesta

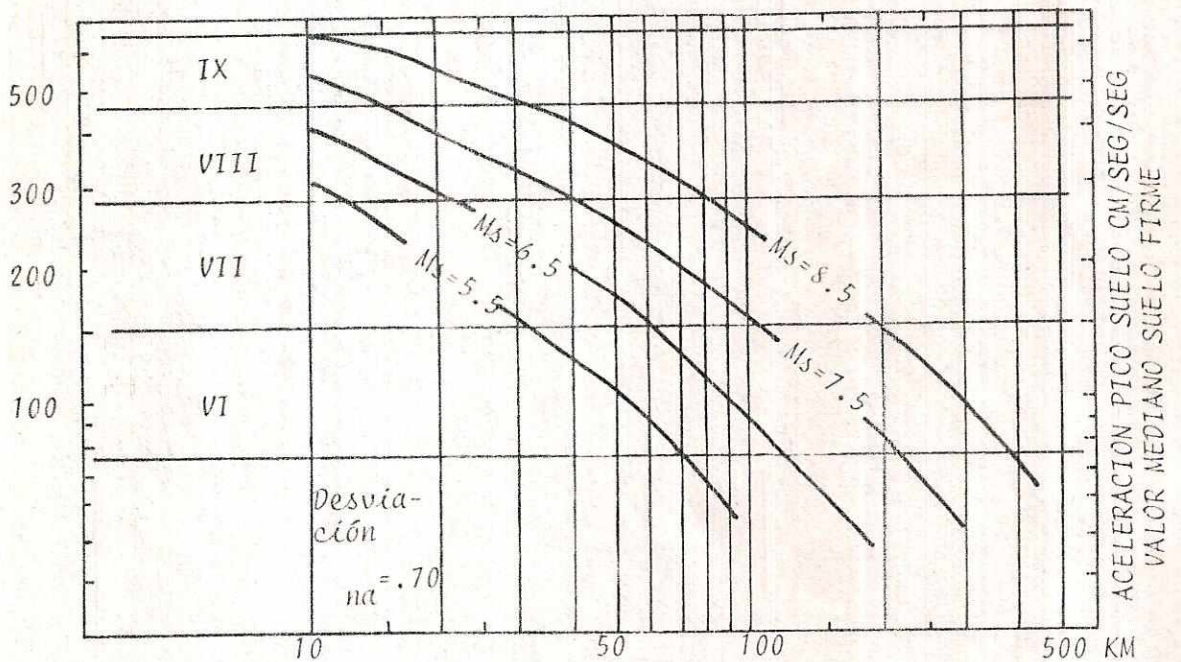
D A T O S:

1. ICASE = 4
2. TRISE
3. TLVL
4. IPOW
5. ALFAO
6. DUR

fig.5.11



a) Fuentes Superficiales y Zona de Transcurrencia



b) Zona de subducción

fig.5.12

VI. ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR

A. Datos generales

Para el estudio y análisis de un caso particular, se escogió un talud que está localizado en la zona 15, Colonia El Maestro II, en el lugar denominado "La Isla" en la ciudad capital de Guatemala.

Se trata de un talud provocado por un corte, el cual tiene una fuerte pendiente cercana a los 90° y tiene una altura de 29 metros, la longitud crítica que presenta es de 80 metros y luego empieza a disminuir la pendiente y la altura, hacia ambos lados. Se observa que no tiene ningún tipo de revestimiento ni natural ni hecho por el hombre (Ver fotografías fig.6.1).

El talud a estudiar presenta una sobrecarga de varias casas de habitación, grandes, construidas muy cercanas (más o menos 30 metros) a la orilla de esos barrancos, asimismo la calle aledaña al mismo, pasa a 55 metros de distancia aproximadamente.

Se supone que el talud no sufrió daños durante el terremoto de 1976. Dicho talud se esquematiza en la siguiente figura 6.2:

El talud está constituido, básicamente, de "arena pómez pobremente cementada", con una densidad natural específica de 1.82 gr/cm³, equivalente a 18.0 Kg/PC de acuerdo a los análisis efectuados en el centro de investigaciones de Ingeniería, cuyo informe se adjunta en el apéndice A.

Adicionalmente se obtuvo la información en la perforación de un

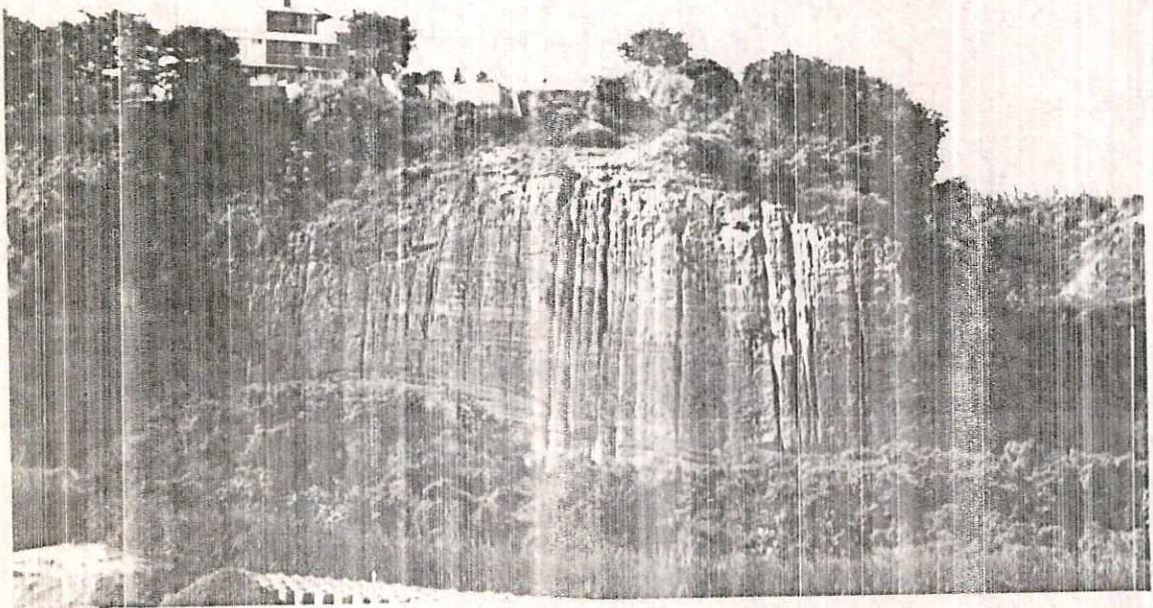
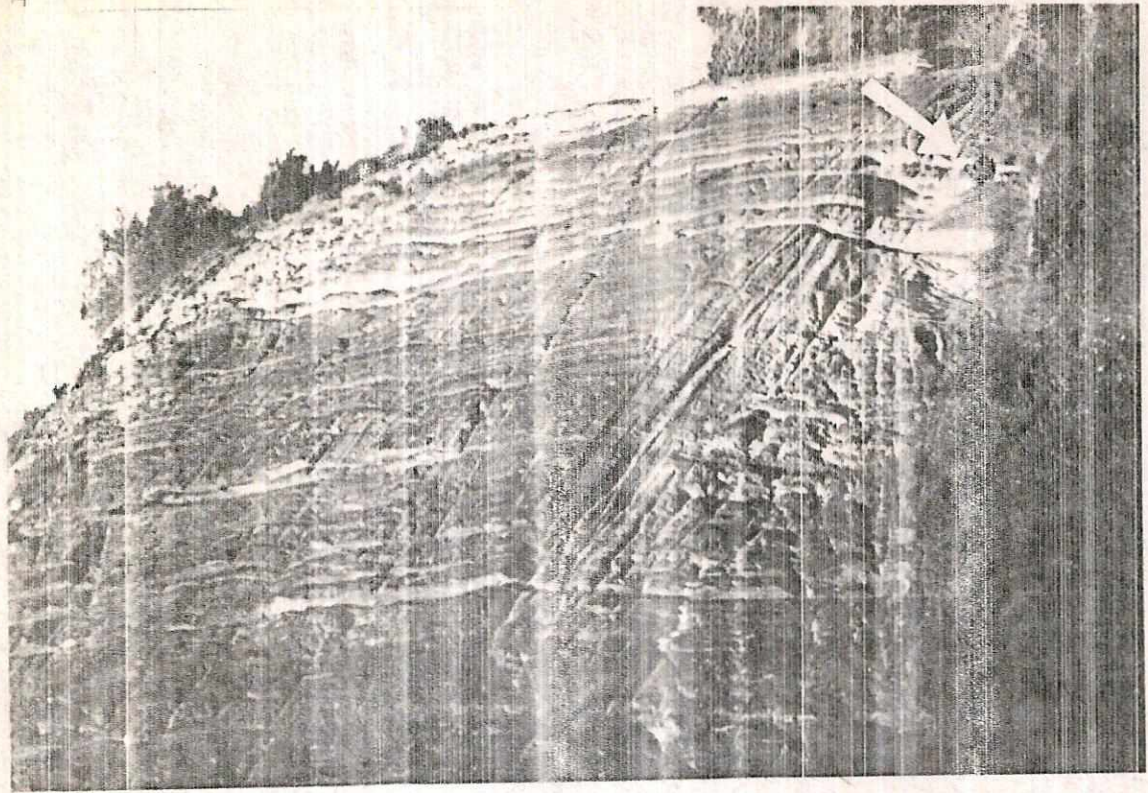


Fig. 1

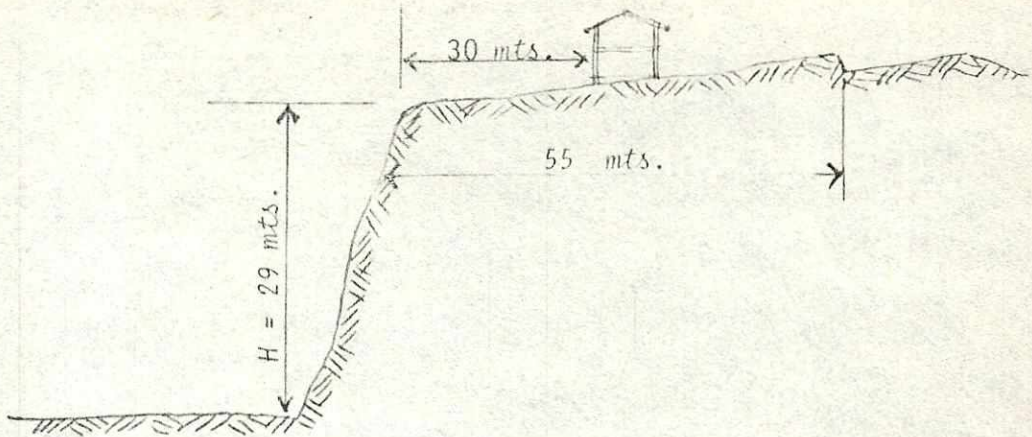


fig.6.2

pozo mecánico construido al pie del talud:

40 pies - nivel freático

II. Prospección sísmica del lugar

Con el sismógrafo MD - 11, se realizaron 2 perfiles sísmicos, en la parte superior del talud, uno con una longitud de 80 pies y el otro con una longitud de 30 pies.

El arreglo utilizado en toda la prospección fue de hacer mínimo 3 martillazos, en estaciones espaciadas a cada 10 pies.

El análisis de los sismogramas y construcción de las curvas tiempo-distancia, han permitido identificar la velocidad de las ondas sísmicas. Los valores de velocidad obtenidos se ajustan bastante bien a los obtenidos por el INSIVUMEH en un estudio de prospección sísmica a gran escala realizada en el valle de Guatemala (4).

De la prospección sísmica realizada en el talud en estudio, se obtuvo los siguientes resultados:

Se ha estimado una velocidad que varía entre 220 m/seg. y 400

m/seg; estas velocidades lentas corresponden a la parte superior del subsuelo. La profundidad de esta capa de material de arena es de 30 mts. aproximadamente. Al pie del talud no se pudo realizar la prospección sísmica que se había previsto, en vista de que el área presentaba una zona de material suelto y saturado (slump).

Para el presente caso particular, se tomará una velocidad de onda de corte promedio de 350 M/seg..

El módulo de corte se estima a partir de

$$G = V_s^2 * \rho = 350^2 * 1820 = 222.95 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{-seg.}$$

Por lo tanto, un valor máximo para la altura de las láminas de la malla sería:

$$h \text{ máx} = \frac{(G/\rho)^{1/2}}{40} = \frac{V_s}{40} = \frac{220}{40} = 5.50 \text{ mts}$$

El periodo natural de vibración T_s , puede estimarse a partir de:

$$T_s = 4H/(G/\rho)^{1/2} \quad \text{ó} \quad T_s = 4H/V_s$$

$$\Rightarrow T_s = 4 \times 67\text{Mts} = 0.76 \text{ seg.}$$

350

C. Análisis dinámico del talud

Para el presente estudio se utilizó una malla con elementos rectangulares de diferentes dimensiones, las cuales están indicadas en la figura 6.3 donde muestra la malla con 84 elementos finitos y los 106 puntos nodales usados en el análisis del talud. El modelo de elementos finitos usado en el análisis consiste de una región rectangular de 285 pies de longitud, 120 pies de altura en el lado izquierdo y 220 pies de altura en el lado derecho con un talud vertical de 100 pies de alto.

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS PARA TALUD CON CARA VERTICAL Y BORDES RIGIDOS USANDO ELEMENTOS SOLIDOS RECTANGULARES.

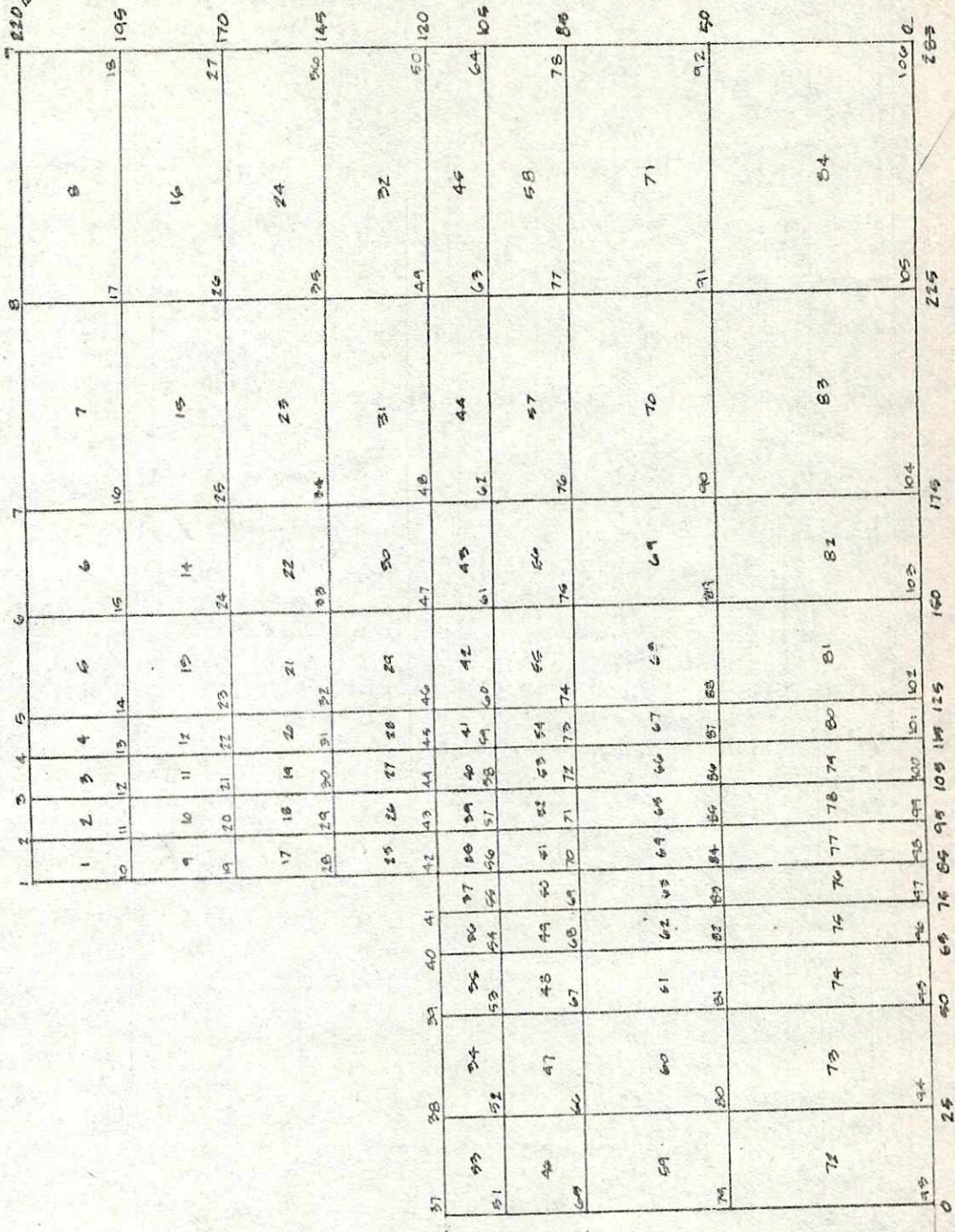


fig. 6.3

El material se supone con una relación de poisson de 0.35 y un amortiguamiento inicial del 5 por ciento.

En orden de simular un sistema semi-infinito, los puntos nodales, 9, 18, 27, 36, 50, 64, 78, 92, 17, 51, 65, y 79 fueron fijados (sin movimiento) en la dirección vertical y, por lo tanto, solamente se permite movimiento en la dirección horizontal. Los puntos nodales del 93 al 106 son fijados en la base.

Las propiedades del material arenoso de que está constituido el talud en estudio, fueron considerados como sigue:

Peso unitario total = 113.40 pcf

(K₂) max = 65

K₀ = 0.5

Todos los datos que se prepararon para el análisis, se presentan en el apéndice B. En este sentido muchas de las propiedades usadas en el análisis fueron seleccionadas por ser razonablemente similares a las características de la arena cementada en Guatemala. Respecto de los valores de módulo de corte y porcentaje de amortiguamiento, inicialmente se había estimado el módulo de corte con base en la velocidad de la onda de corte, asimismo se estimó un valor del 5% de amortiguamiento. Valores que fueron ajustados mediante un primer análisis que fue efectuado con el programa QUAD-4. Estos valores ajustados aparecen en el archivo de datos, (Apéndice B).

La respuesta del talud fue evaluada usando la historia de aceleraciones de 9 sismos, los cuales se describen a continuación:

SISMOS PARA EL ANALISIS DE VALORES CON QUAD-4

Nb.	NOMBRE	No. Ptos.	« »t. (seg)	Duración (seg)	Amaz Real (g)	Amaz de análisis (g)
01	FRUEIAS	500	0.02	10.0	0.306	0.10
02	GUATEM13 +GUATEM15	1089	0.01	10.9	0.040	0.10
03	SSAL 01 +SSAL02	1014	0.02	20.3	0.535	0.10
04	EJEM1A	2000	0.01	20.0	1.000	0.10
05	TJAP54 +TJAP55	987	0.02	19.7	0.1923	0.10
06	CENTRO	1250	0.04	50.0	0.348	0.10
07	CHILENW	1250	0.04	50.0	0.159	0.10
08	MEX13 +MEX33	1500	0.04	50.0	0.032	0.10
09	SNZ5 +SNZ6	1024	0.02	20.5	0.168	0.10

De estos sismos, el número 1 y el número 4 son sismos simulados, los restantes son reales, además los sismos números 2, 3, 5, 8 y 9 tienen componente horizontal y vertical, los demás sólo componente horizontal. En el apéndice D aparecen los acelerogramas de los 9 sismos y sus respectivos espectros de respuesta.

D. Resultados del análisis

Los resultados del análisis consisten en aceleraciones en todos los puntos nodales, esfuerzos generados en los elementos que conforman el modelo estudiado y la variación de los valores del módulo de corte y amortiguamiento.

Por razones de espacio se presentan únicamente los listados de resultados obtenidos con el sismo SSN. (Apéndice C).

1. Aceleraciones de la Tierra

Con la utilización del computador, se elaboraron 180 gráficas con las historias de aceleraciones en X, Y para los 10 puntos nodales (1,3,5,7,9,37,39,41 y 42), usando 9 sismos. Adicionalmente se procesaron 18 gráficas con las aceleraciones máximas horizontales y verticales que se generan a través de todo el modelo del talud isoaceleraciones con los diferentes sismos utilizados. En el apéndice E se presentan las gráficas de historia de aceleraciones en X y Y de los nodos 1 y 42 y sus respectivos espectros de respuesta. En el apéndice F se presentan las gráficas con las isoaceleraciones generadas con cada uno de los 9 sismos. Las siguientes tendencias fueron identificadas por inspección de la serie de gráficas citadas anteriormente.

- a. Cerca de la cara del talud las aceleraciones horizontales se amplifican.
- b. Aceleraciones verticales significativas ocurren cerca de la cara del talud.
- c. La amplificación de la aceleración de la base depende del período predominante del sismo.

En los acelerogramas de los 9 sismos utilizados para el análisis, (Apéndice D) las envolventes mantienen un patrón que se inicia con una aceleración de cero y luego tiene una transición abrupta a una aceleración máxima, seguida por vibración intensa poco más o menos uniforme y

finalmente se observa una atenuación bastante gradual.

En este sentido los 9 sismos utilizados tienen diferentes tipos de envolventes, por ejemplo, en el sismo artificial PRUEBAS, la vibración intensa se presenta entre 1.8 y 3.2 segundos y luego tiene un decaimiento brusco seguido de una atenuación poco más o menos gradual.

En el sismo MEX33, la vibración intensa se presenta a los 21 segundos, en el sismo CHILENW se presenta a los 16 segundos y en el sismo SNZ5 se presenta en los 5 segundos.

La aceleración de la base se amplifica hacia la superficie de la tierra, cuando el período de vibración de las estructuras del suelo tiende a ser igual al del sismo. Sin embargo, la forma de las envolventes de los acelerogramas en los diferentes puntos nodales se mantienen bastante parecidas, únicamente varía la magnitud de la aceleración al ser filtrada por el suelo. Este efecto se puede apreciar observando los acelerogramas del sismo en la base, y los correspondientes acelerogramas de los puntos nodales 1 y 42, (Apéndice E).

Por otro lado se ha observado que las aceleraciones horizontales en la superficie de la tierra disminuyen en los puntos nodales que tienden a alejarse de la cara del talud, por ejemplo, la aceleración es mayor en el nodo 1 que en el nodo 3, y este, a su vez, es mayor que en el nodo 5 figuras (Apendice F).

Otro aspecto importante que se notó, es que algunos de los sismos que a pesar que no tienen componente vertical, inducen una componente de aceleración vertical en los diferentes puntos nodales, por ejemplo, el sismo CENTRO no tiene componente vertical, sin embargo, indujo

aceleración vertical en los puntos nodales (1,5,7,19,37,41 y 42). Dichas aceleraciones también son mayores a medida que nos acercamos a la cara del talud.

El análisis del talud proporcionó como periodo del primer modo de vibración de la estructura de suelo, los resultados siguientes:

SISMO	PERIODO primer modo (seg)
PRUEBA 5	0.7453
GUATEM	0.74
SSAL	0.7319
TJAF	0.7283
CENTRO	0.746
CHILENW	0.7454
MEX	0.7681
SNZ	0.737

Por lo anterior podría establecerse un periodo promedio de 0.74 seg. para el primer modo.

También se graficaron los espectros de respuesta de pseudo-aceleración de los 9 sismos utilizados para el amortiguamiento de 0,2,5,10 y 20%. Dichas gráficas aparecen en el apéndice D.

Estos espectros de respuesta nos indican que los rangos de periodos dominantes son los siguientes:

Nb.	S I S M O	Rango de Período dominante (seg.).
1	FRUELA 5	0.04 - 0.15
2	GUATEM	0.08 - 0.50
3	SSAL	0.30 - 0.80
4	EJEMLA	0.1 - 0.4
5	TJAP	0.3 - 0.5
6	CENTRO	0.4 - 0.7
7	CHILENW	0.10 - 0.30
8	MEX	0.80 - 2.0
9	SNZ	0.07 - 0.2

De los datos anteriores podríamos esperar que las estructuras con periodos del orden de 0.74 seg., al ser sometidas a sismos con periodos dominantes cercanos, producirán mayores aceleraciones en el modelo, lo cual puede apreciarse en el comportamiento del sismo SSAL (ver gráfica de isoaceleraciones para S3, en el Apéndice F).

Además, revisando las gráficas, notamos que las aceleraciones horizontales en la punta del talud se amplifican de 2.14 a 4.2 veces, con relación a la aceleración en la base del modelo utilizado. Respecto de las aceleraciones verticales se nota un incremento con factores que oscilan entre 1.66 y 14 en los diferentes sismos utilizados.

En algunos casos, la participación de los modos superiores de vibración del talud fue mayor que la del primer modo, como puede notarse con los resultados del sismo SNZ 5 y 6, donde las aceleraciones son mayores al pie del talud, mientras que en otros casos, las

aceleraciones son mayores en la parte más alta del talud. Este efecto se ilustra también con la figura 6.4, donde se muestra la posición del talud en determinado instante de la historia. En ambas figuras (a) y (b) se observa el efecto del segundo modo de vibración. Asimismo en la figura 6.3(a) se observa que se producen tensiones a nivel de los elementos 37, 38 y 39, al pie del talud.

2. Distribución de esfuerzos

La distribución de esfuerzos para las condiciones de carga dinámica (terremotos) es presentada por medio de gráficas que indican líneas de igual esfuerzo (isoesfuerzos) en X y Y; y esfuerzos de corte a través de todo el talud.

Además se graficó la historia de esfuerzos para 10 elementos (8,9,14,17,21,25,26,37,38 y 39), para los esfuerzos en X y Y, y los esfuerzos de corte.

La distribución de esfuerzos isoesfuerzos se presentan en las gráficas del apéndice J, para los 9 sismos.

El patrón de la gráficas de la historia de esfuerzos es el mismo que el manifestado por el patrón de aceleraciones del sismo correspondiente. Por ejemplo, si observamos el acelerograma del sismo SS101, notamos que tiene de 4 a 5 picos máximos entre los 2 y 4 segundos, luego viene disminución brusca de la aceleración. El mismo comportamiento sufren los esfuerzos de cualquier elemento variando únicamente la magnitud de los mismos.

El contorno de las gráficas de historia de esfuerzos muestra que la magnitud de los esfuerzos es función del periodo y de la magnitud del

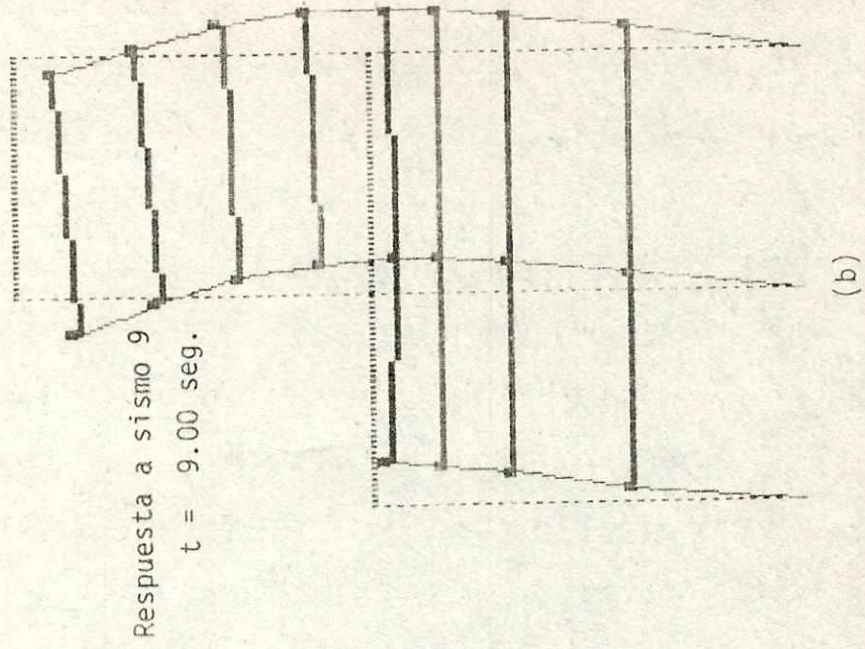
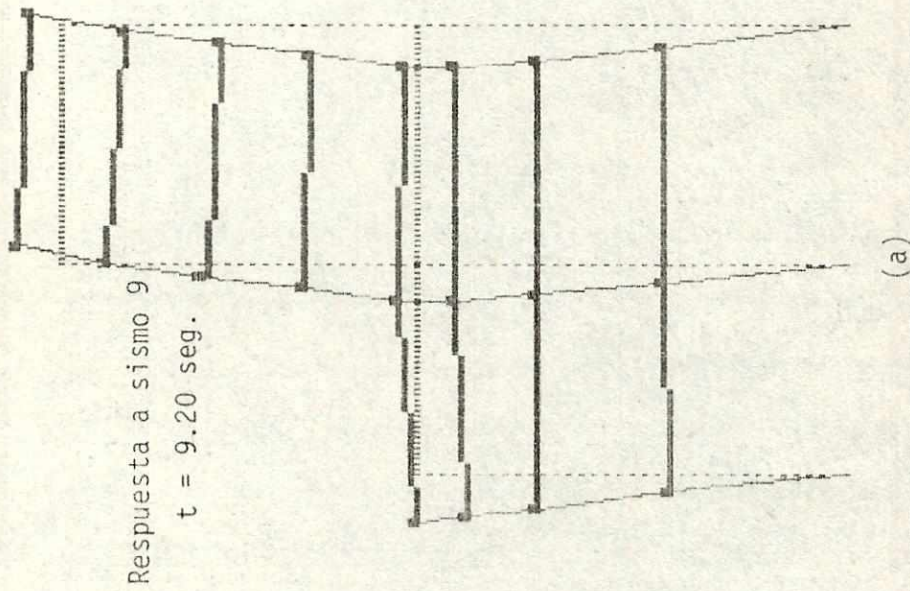


Fig. 6.4

terremoto. Por ejemplo, los esfuerzos de tensión en el sismo CENTRO para el elemento 9, son del orden de 70 Ksf y el mismo elemento para el sismo SSAL, los esfuerzos de tensión son del orden de 170 Ksf.

Habiendo obtenido la distribución de esfuerzos actuantes a través del talud, es posible aplicarlo al problema de estabilidad de taludes en suelo cementado. Estos resultados obtenidos en el presente estudio, podrían compararse con los niveles de esfuerzo resistente del suelo que se determinen por análisis de ensayos de campo y laboratorio, sobre los esfuerzos esperados en el suelo en diferentes puntos del talud, de esta manera es posible identificar las áreas en las cuales las fallas son probables, asimismo pueden definirse los posibles modos de falla.

La inspección de los diagramas de la distribución de esfuerzos (isoesfuerzos) muestra que los mismos se incrementan a medida que aumenta la profundidad y a medida que se aleja de la cara del talud.

3. Esfuerzos en X

Los esfuerzos en X son importantes, en vista de que pueden indicar presencia de esfuerzo de tensión en el talud. En este sentido se monitorean los elementos 9, 17 y 25 por ser los elementos que pueden sufrir mayores daños bajo esfuerzos de tensión.

En las gráficas de historia de esfuerzos (Apéndice B) notamos que de manera general el esfuerzo se incrementa con la profundidad, por ejemplo es mayor en el elemento 25 que en los elementos 17 y 19 los cuales están mas arriba. Los esfuerzos máximos actuantes en el elemento 9 y 25, varían de la siguiente forma:

No.	SISMO	Esfuerzo máximo en X (ksf)	
		elemento 9	elemento 25
1	PRUEBA 5	60.9	408.6
2	QUATEM	74.7	535.4
3	SSAL	200.5	1247.4
4	EJEMIA	162.0	867.0
5	TJAP	91.9	517.0
6	CENTRO	96.8	524.1
7	CHILENW	125.9	845.9
8	MEX	124.3	772.7
9	SNZ	73.8	250.6

Como puede verse los esfuerzos mayores se producen con el sismo SSAL, el cual tiene un período muy similar al período de la estructura de suelo. El esfuerzo en X en el elemento 25 está en fase con el esfuerzo en Y del elemento 38. En los elementos 9 y 25, están invertidos los signos de esfuerzos en X en todos los sismos.

4. Esfuerzos en Y

En el presente estudio se graficó la historia de esfuerzos para el elemento 6. Como puede observarse en las gráficas de historia de esfuerzos, (apendice H) se inducen esfuerzos en Y, a pesar de que en algunos sismos no existe componente de aceleración en Y, por ejemplo en los sismos PRUEBA 5, EJEMIA, TJAP54, CENTRO, CHILENW.

Los esfuerzos máximos actuantes en Y en los elementos, 37, 38 y 39 varían de la siguiente forma:

No.	SISMO	Esfuerzo máximo en Y elemento (ksf)		
		37	38	39
1	PRUEBAS	622.5	2241.8	1549.5
2	GUATEM	1014.2	3436.6	2524.4
3	SSAL	1572.4	7058.5	4804.2
4	EJEMIA	1679.7	5764.4	4228.9
5	TJAP	695.7	3322.9	2679.6
6	CENTRO	653.8	3119.5	2426.9
7	CHILENW	1525.9	4537.2	3157.2
8	MEX	1117.2	4383.1	3182.3
9	SNZ	601.6	2357.8	1986.2

En los datos anteriores se observa que el sismo 3 SSAL induce los mayores esfuerzos en Y.

La gráfica de los esfuerzos de los elementos 37, 38 y 39 son iguales, variando únicamente la amplitud como está indicada en la tabla anterior. En el apéndice H se incluyen las gráficas con las historia de esfuerzos del elemento 38, por ser los de mayor amplitud.

b. Esfuerzos de corte

La inspección de los diagramas de la distribución de esfuerzos muestra que los esfuerzos de corte se incrementan en el talud, en la medida que el período de la estructura del suelo tiende a ser igual al período del sismo. Por ejemplo, si observamos el esfuerzo en el elemento 21, notamos que el esfuerzo es mayor con el sismo 3 SSAL.

Superponiendo las gráficas de historia de esfuerzos, (Apendice 1) en los diferentes elementos, observamos que los esfuerzos máximos de corte están en fase (ocurren al mismo tiempo) con los esfuerzos en X únicamente al pie del talud. Los máximos esfuerzos de corte ocurren alrededor del pie del talud, mientras que los esfuerzos en los elementos que están en la cara del talud son más pequeños.

En el presente estudio se graficaron los esfuerzos de corte para los elementos 14, 21 y 26, por considerar que el plano de falla por corte del talud se espera en esa zona. Los esfuerzos actuantes máximos de corte en los elementos 14, 21 y 26 varían de la siguiente forma:

No.	SISMO	Esfuerzo máximo de corte (ksf) elementos		
		14	21	26
1	RUJEDA 3	403.5	623.7	626.2
2	GUATEM	642.7	832.7	817.2
3	SSAL	1388.4	1852.3	1902.8
4	EJEMIA	1036.2	1483.7	1463.1
5	TJAP	656.1	889.4	828.9
6	CENTRO	662.6	920.0	870.3
7	CHILENW	988.8	1347.1	1312.8
8	MEX	934.2	1358.4	1389.2
9	SNZ	303.6	365.6	349.0

Las zonas de falla potencial en el talud pueden ser identificadas comparando los esfuerzos actuantes con el esfuerzo resistente del suelo obtenido de ensayos de laboratorio. En el apéndice I sólo se incluye la

gráfica del elemento 21 por ser iguales a los elementos 14 y 26, variando únicamente la amplitud como está indicada en la tabla anterior.

En el apéndice K se presentan las gráficas de la variación del porcentaje de amortiguamiento.

En los sismos 5, 8 y 9 las gráficas son bastante similares al sismo 2, por lo que se incluye la gráfica del sismo 2, de igual manera los gráficos de los sismos 4 y 7 son bastante similares a los del sismo 6, por esta razón se incluyó esta gráfica.

Finalmente en el apéndice L se presentan las gráficas de la variación del módulo cortante.

En los sismos 5, 8 y 9 los gráficos son bastante similares al sismo 2, por lo que sólo se incluye la gráfica del sismo 2, de igual manera los gráficos de los sismos 4 y 7 son bastante similares a los del 6, por esta razón se incluyó esta gráfica.

VII. CONCLUSIONES

- A. Cerca de la cara del talud las aceleraciones horizontales se amplifican. Notándose que dichas ampliificaciones se producen con mayor intensidad a partir de una distancia la cual es aproximadamente una vez la altura del talud.
- B. Las aceleraciones verticales significativas pueden ocurrir cerca de la cara del talud y pueden provocar daños en los taludes.
- C. La ampliificación de la aceleración de la base y la magnitud de los esfuerzos dinámicos en el depósito de suelo son fuertemente influenciados por los periodos de vibración del suelo y del terremoto. Cuando la relación de estos dos periodos tiende a la unidad (están en resonancia) la aceleración se magnifica y la magnitud de los esfuerzos se incrementa fuertemente.
- D. Cerca del pie del talud las aceleraciones horizontales son escasamente ampliificadas, sin embargo, aceleraciones verticales significativas pueden ocurrir y, eventualmente, provocan daños al talud.
- E. Para los diferentes sísmos utilizados, el patrón de la distribución de los esfuerzos es casi el mismo.
- F. Con el sismógrafo MD-11 es posible obtener datos de las propiedades dinámicas de los suelos, como por ejemplo la velocidad de onda sísmica, o determinar la profundidad equivalente del lecho rocoso, en base a la velocidad de onda cortante.
- G. Contando con la herramienta fundamental para el análisis de taludes

(C.F.O-4), se considera necesario que se continúe la investigación, con el fin de avanzar un poco más en el conocimiento del comportamiento de los mismos. En este sentido se sugieren algunos temas como los siguientes: realizar análisis de taludes, creando algún modelo que simule fisuras o agrietamientos iniciales en el talud. Otro tema interesante es el analizar taludes inclinados, a diferentes ángulos de inclinación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Crespo, V. C. Mecánica de suelos y cimentaciones.
1981 2a. ed. México, Editorial Limusa. 511 pp.
2. Dowrick, D.J. Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos. México, Editorial Limusa. 410 pp.
3. Glough, R. W. y J. Penzien. Dinámicas of estructuras. New York, Editorial McGraw-Hill. 634 pp.
4. Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Meteorología e Hidrología. Informe final del estudio de aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala; Proyecto estudio de aguas subterráneas en Guatemala. Guatemala. 303 pp.
5. Idris, I.M. et al. Earthquake engineering research center. 1973 California, College of Engineering University of California.
6. _____ et al. "QUAD-4 a computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures" California, University of California.
7. Joyner, W.B. y D. M. Boore. Proceedings of Earthquake engineering & Soil Dynamics II. Utah.
8. Keefer, D. K. "Landslides caused by earthquakes". Geological society of america bulletin; 95: 406-421.
9. Earthquake Engineering Research Institute. Reducing earthquake hazards: lessons learned from earthquakes. California. 208 pp.
10. Matus, M.R. Bases de datos de acelerogramas. Guatemala. 77 pp.
11. _____ Simulación de acelerogramas. Guatemala. 42 pp.
12. _____ "Algunas Experiencias en el uso del sísmógrafo MD-11". Guatemala. 16 pp.

3. Monción, H. Programa de cooperación técnica de ingeniería de terremotos; informe sobre la fase 2. Guatemala, 1986 pp.
4. Rosenblueth, E. y N. M. Newmark. Fundamentos de Ingeniería sísmica. México, Editorial Diana. 680 pp. 1976
5. Sitar, N. Behavior of slopes in weakly cemented soils under static and dynamic loading. Stanford University, 1979. 165 pp.
16. Sowers, G.B. y G.F. Sowers. Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. México, Limusa. 677 pp. 1983
17. Wiegel, R.L. ed. Earthquake Engineering. Engewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 518 pp. 1970
18. Wilson, E.L. y R.W. Clough. "Dynamic response by step-by-step matrix analysis". Symposium in the use of computers in civil engineering. Lisboa.

AFENDICE A

Informe del Centro de Investigaciones de
Ingeniería y resultados obtenidos de
velocidades de onda, en diferentes lugares
ensayados.



INFORME No. 357.89.SS
O.T. No. 43492

INTERESADO: Ing. Miguel A. Molina P.

ASUNTO: Análisis de Gravedad Específica (AASHTO T-100)
Límites de Atterberg (AASHTO T-89 y T-90) y
Análisis Granulométrico (AASHTO T-27); en una
muestra de arena pomez color gris.

PROYECTO: Talud zona 15, ciudad

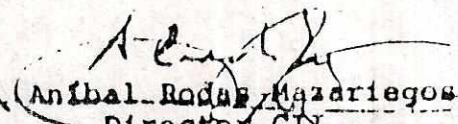
FECHA: 27 de noviembre de 1989

Resultados de Ensayos

1. Gravedad Específica: 1.82 gr/cm³
2. Límites de Atterberg: No plástico
3. Análisis Granulométrico:

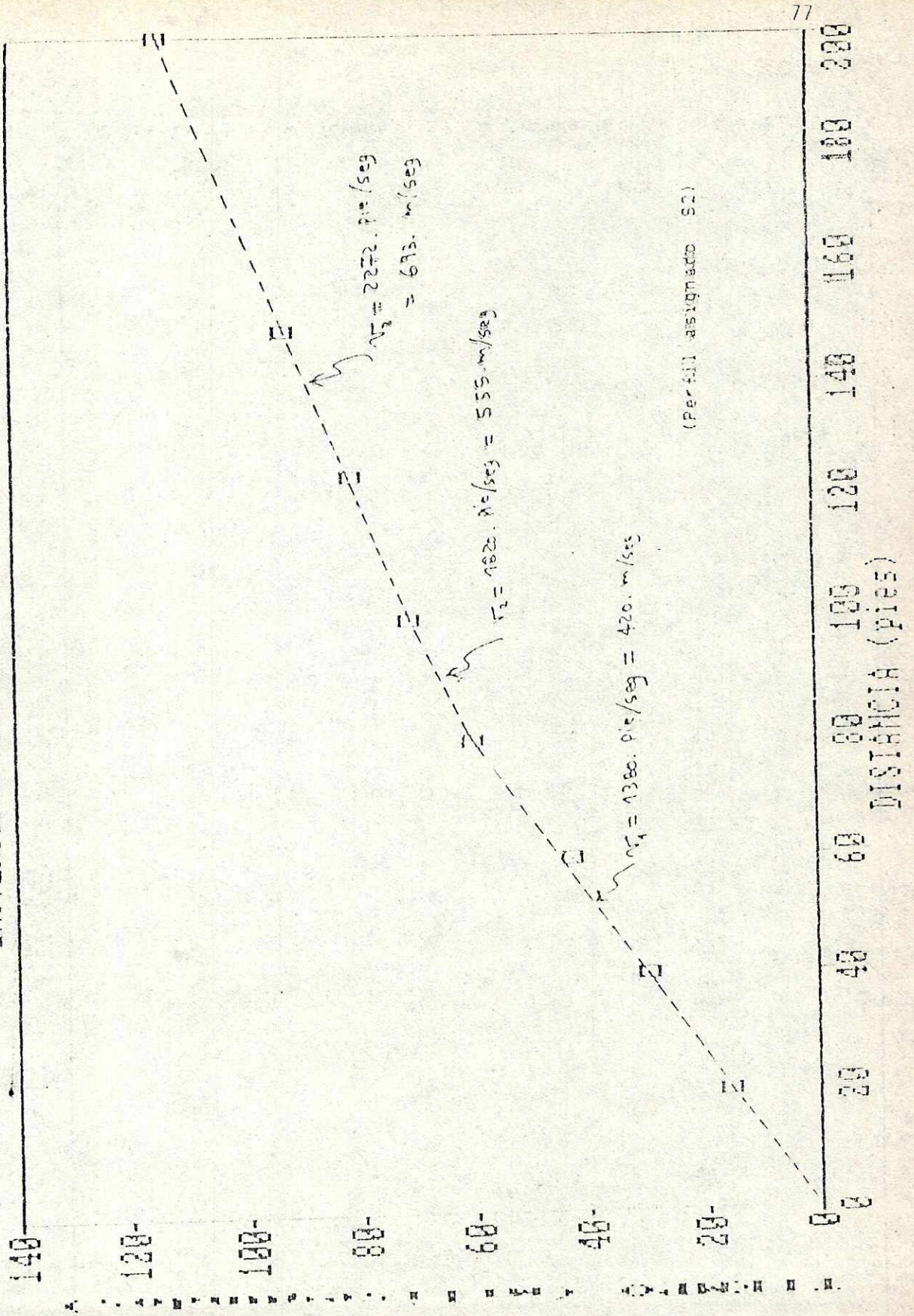
<u>Tamiz No.</u>	<u>% que pasa</u>
3/4"	100
4	97
10	92
40	68
200	23

Atentamente,

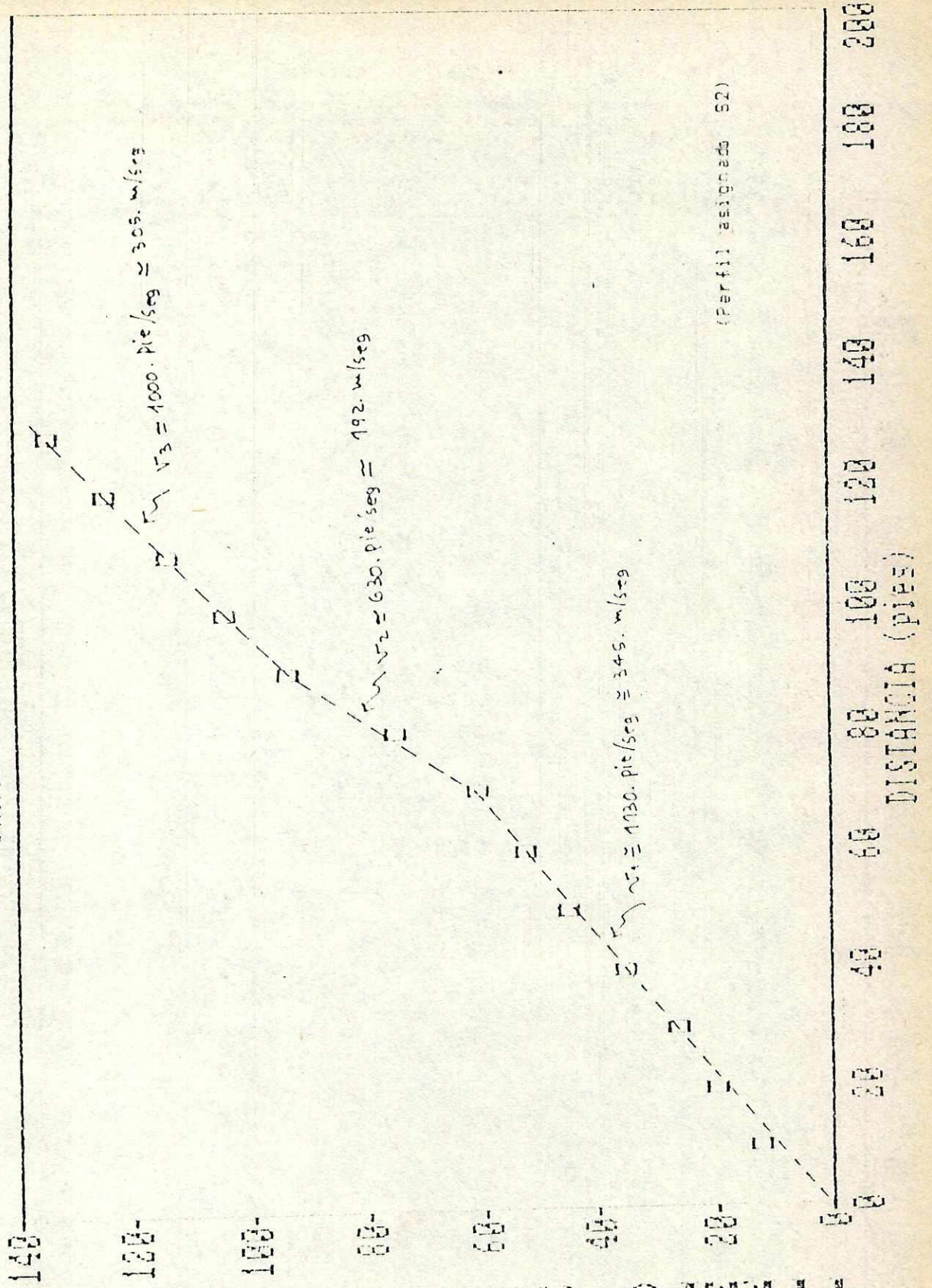

Ing. Anibal Rodas Mazariegos
Director CIN

emr.

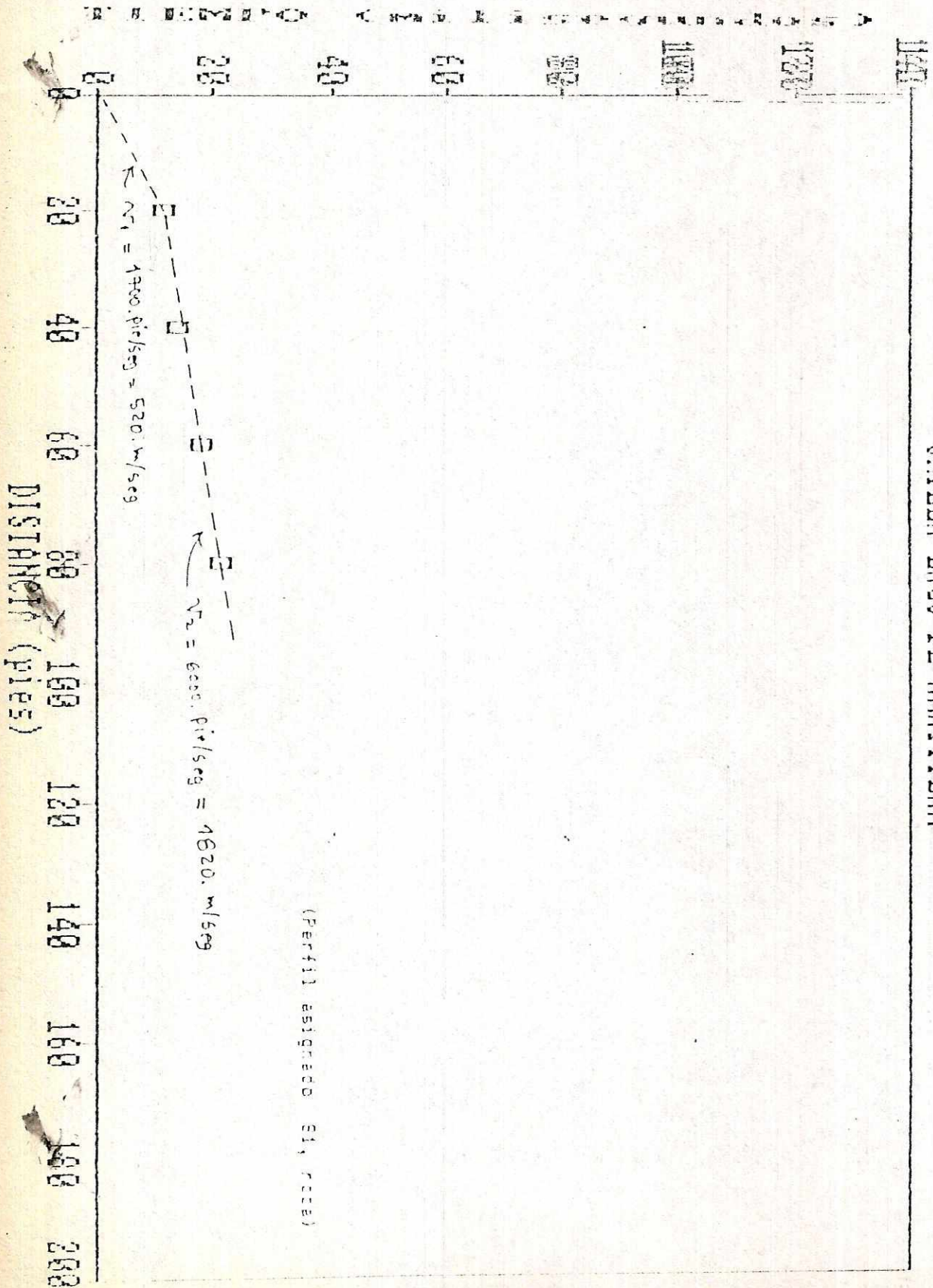
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



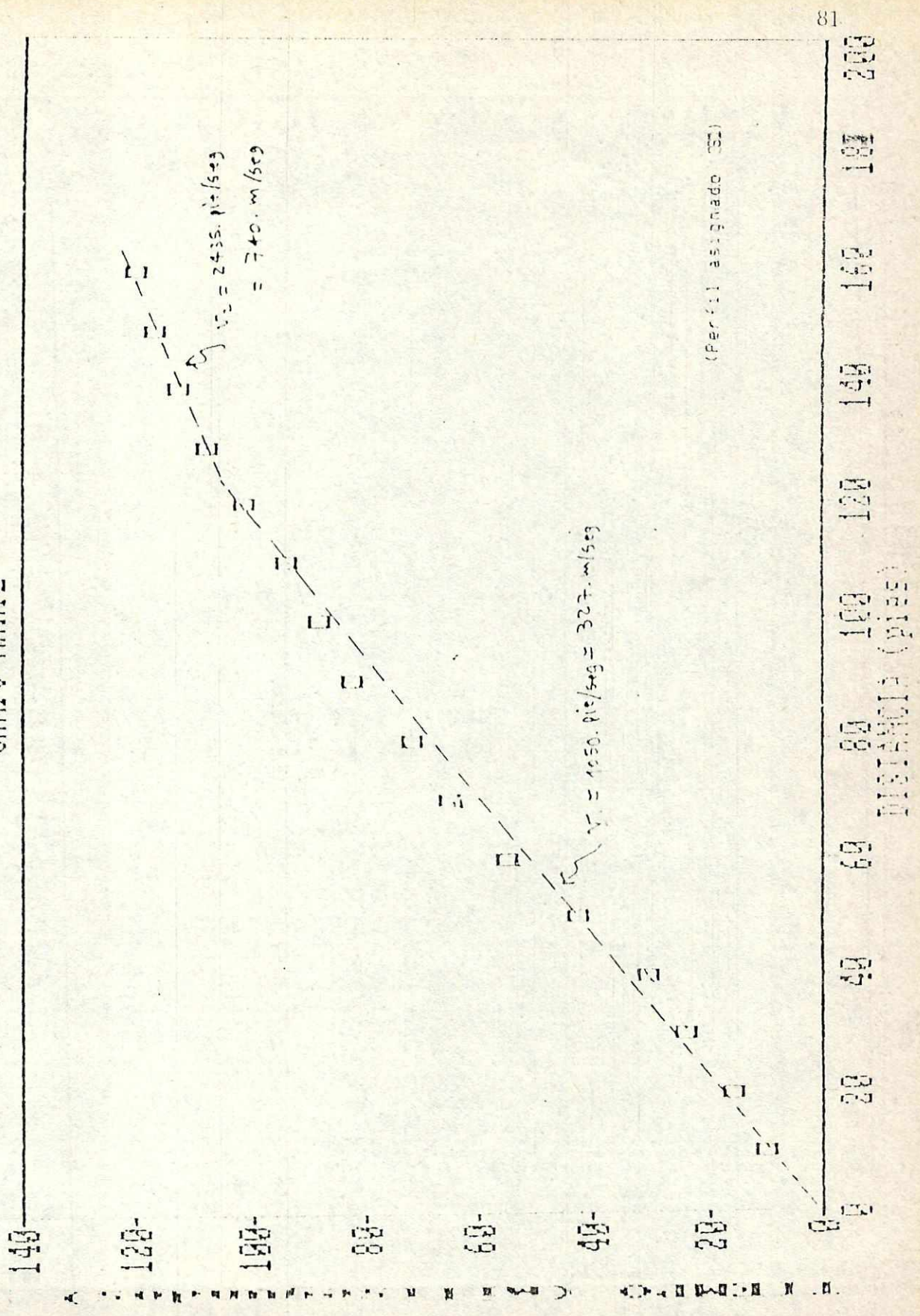
PARQUE NACIONES UNIDAS



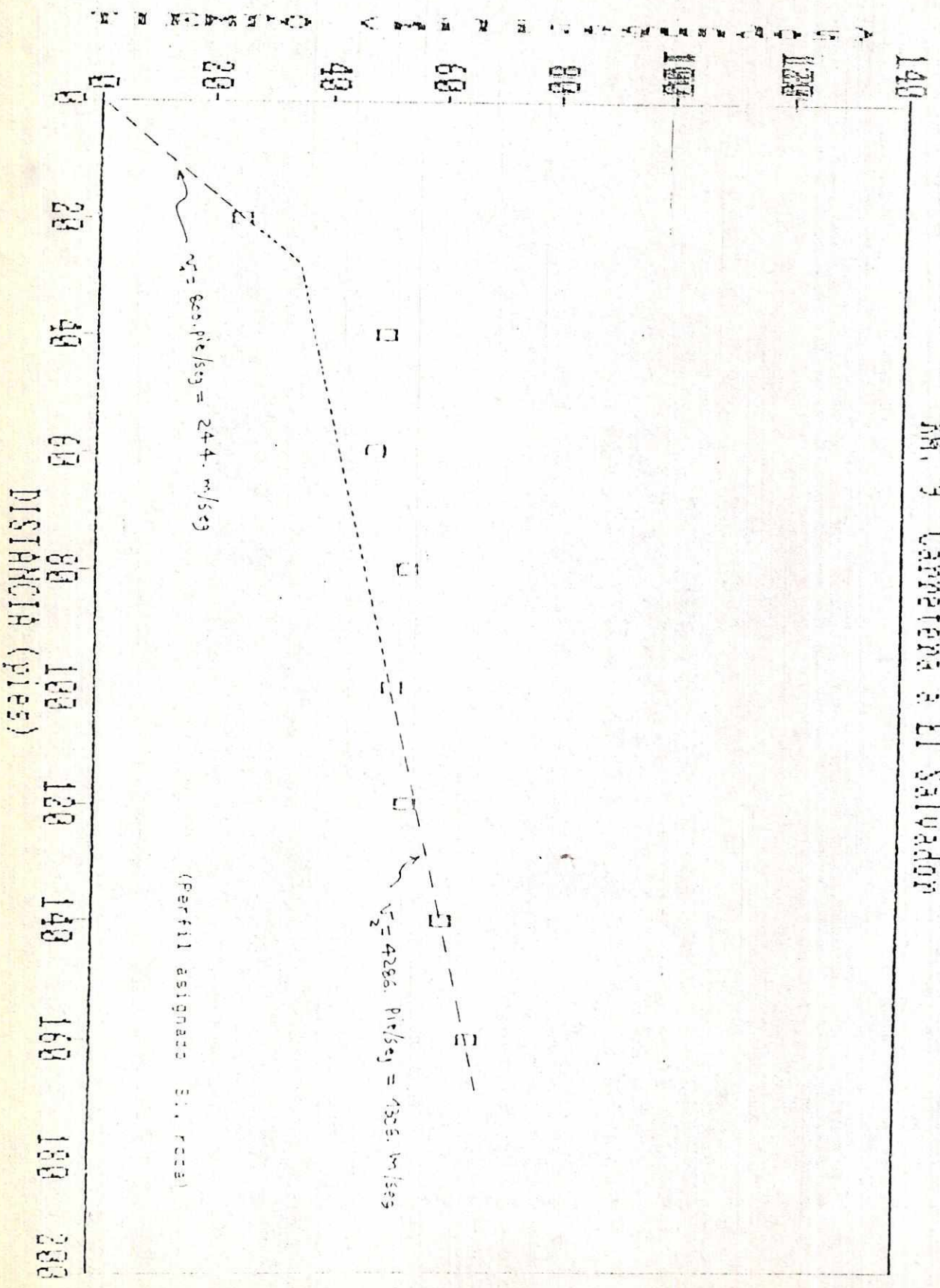
ORILLA LAGO DE AMATITLAN



CAMPO MARTE



Km. 9 Carretera a El Salvador



APENDICE B

Ejemplo de datos de entrada para análisis.

Talud La Isla zona 15, agua a 12.0 m del pie de talud

NO. OF ELEMENTS = 84
 NO. OF NODAL POINTS = 106
 1ST FIXED N.P. = 93
 DEGREES OF FREEDOM = 184
 NO. OF BNDRY CONDS. = 12
 NO. OF ITERATIONS = 3
 TOTAL EQ. POINTS READ (KGMAX) = 500
 LAST EQ. PTS. USED (N1EQ TO KUGEQ) = 1 500
 INT. EQ. PTS USED (N2EQ TO N3EQ) = 1 100
 TIME INTERVAL OF RECORDS = .0200
 TIME INTERVAL OF ANALYSES = .0200
 STRAIN CONVERSION FACTOR = .6500
 EQ. MULT. FACTOR (HORZ. COMP.) = .3270

STRESS HISTORIES REQUIRED FOR 10 ELEMENTS

ELEMENTS ARE
 6 9 14 17 21 25 26 37 38 39
 10 NUDOS QUE SE REQUIERE CON HISTORIA DE DEF. y/o ACE.
 1 3 5 7 9 19 37 39 41 42
 10 INSTANTES QUE SE REQUIERE ESFUERZOS TODA LA ESTRUC.
 50 80 100 150 200 250 300 350 400 450

ELM	NP1	NPJ	NPK	NPL	M.T.	DENS	POISSON	GMX	S MODULUS	DAMP. R.
1	1	10	11	2	2	113.40	.35	1998.15	1800.00	.05
2	2	11	12	3	2	113.40	.35	1998.15	1800.00	.05
3	3	12	13	4	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
4	4	13	14	5	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
5	5	14	15	6	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
6	6	15	16	7	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
7	7	16	17	8	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
8	8	17	18	9	2	113.40	.35	1988.15	1700.00	.05
9	10	19	20	11	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
10	11	20	21	12	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
11	12	21	22	13	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
12	13	22	23	14	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
13	14	23	24	15	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
14	15	24	25	16	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
15	16	25	26	17	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
16	17	26	27	18	2	113.40	.35	3460.91	3000.00	.05
17	19	28	29	20	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05

18	20	29	30	21	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
19	21	30	31	22	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
20	22	31	32	23	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
21	23	32	33	24	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
22	24	33	34	25	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
23	25	34	35	26	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
24	26	35	36	27	2	113.40	.35	4468.01	3500.00	.05
25	28	42	43	29	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
26	29	43	44	30	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
27	30	44	45	31	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
28	31	45	46	32	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
29	32	46	47	33	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
30	33	47	48	34	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
31	34	48	49	35	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
32	35	49	50	36	2	113.40	.35	5286.62	4000.00	.05
33	37	51	52	38	2	113.40	.35	1547.76	1500.00	.05
34	38	52	53	39	2	113.40	.35	1547.76	1500.00	.05
35	39	53	54	40	2	113.40	.35	1547.76	1500.00	.05
36	40	54	55	41	2	113.40	.35	1547.76	1000.00	.05
37	41	55	56	42	2	113.40	.35	1547.76	1000.00	.05
38	42	56	57	43	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
39	43	57	58	44	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
40	44	58	59	45	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
41	45	59	60	46	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
42	46	60	61	47	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
43	47	61	62	48	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
44	48	62	63	49	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
45	49	63	64	50	2	113.40	.35	5859.74	4500.00	.05
46	51	65	66	52	2	113.40	.35	2825.82	4500.00	.05
47	52	66	67	53	2	113.40	.35	2825.82	3500.00	.05
48	53	67	68	54	2	113.40	.35	2825.82	2500.00	.05
49	54	68	69	55	2	113.40	.35	2825.82	2500.00	.05
50	55	69	70	56	2	113.40	.35	2825.82	2500.00	.05
51	56	70	71	57	2	113.40	.35	6318.72	5500.00	.05
52	57	71	72	58	2	113.40	.35	6318.72	5500.00	.05
53	58	72	73	59	2	113.40	.35	6318.72	5500.00	.05
54	59	73	74	60	2	113.40	.35	6318.72	5500.00	.05
55	60	74	75	61	2	113.40	.35	6318.72	5000.00	.05
56	61	75	76	62	2	113.40	.35	6318.72	5000.00	.05
57	62	76	77	63	2	113.40	.35	6318.72	5000.00	.05
58	63	77	78	64	2	113.40	.35	6318.72	5000.00	.05
59	65	79	80	66	2	113.40	.35	3790.12	3000.00	.05
60	66	80	81	67	2	113.40	.35	3790.12	3000.00	.05
61	67	81	82	68	2	113.40	.35	3790.12	3000.00	.05
62	68	82	83	69	2	113.40	.35	3790.12	3000.00	.05
63	69	83	84	70	2	113.40	.35	3790.12	3000.00	.05
64	70	84	85	71	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
65	71	85	86	72	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
66	72	86	87	73	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
67	73	87	88	74	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
68	74	88	89	75	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
69	75	89	90	76	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
70	76	90	91	77	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
71	77	91	92	78	2	113.40	.35	6804.75	5500.00	.05
72	79	93	94	80	2	113.40	.35	4700.72	4000.00	.05

73	80	94	95	81	2	113.40	.35	4700.72	4000.00	.05
74	81	95	96	82	2	113.40	.35	4700.72	4000.00	.05
75	82	96	97	83	2	113.40	.35	4700.72	4000.00	.05
76	83	97	98	84	2	113.40	.35	4700.72	4000.00	.05
77	84	98	99	85	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
78	85	99	100	86	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
79	86	100	101	87	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
80	87	101	102	88	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
81	88	102	103	89	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
82	89	103	104	90	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
83	90	104	105	91	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05
84	91	105	106	92	2	113.40	.35	7351.00	6000.00	.05

N.P.

XORD

YORD

1	85.000	220.000	
2	95.000	220.000	
3	105.000	220.000	
4	115.000	220.000	
5	125.000	220.000	
6	150.000	220.000	
7	175.000	220.000	
8	225.000	220.000	
9	285.000	220.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
10	85.000	195.000	
11	95.000	195.000	
12	105.000	195.000	
13	115.000	195.000	
14	125.000	195.000	
15	150.000	195.000	
16	175.000	195.000	
17	225.000	195.000	
18	285.000	195.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
19	85.000	170.000	
20	95.000	170.000	
21	105.000	170.000	
22	115.000	170.000	
23	125.000	170.000	
24	150.000	170.000	
25	175.000	170.000	
26	225.000	170.000	
27	285.000	170.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
28	85.000	145.000	
29	95.000	145.000	
30	105.000	145.000	
31	115.000	145.000	
32	125.000	145.000	
33	150.000	145.000	
34	175.000	145.000	
35	225.000	145.000	
36	285.000	145.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
37	.000	120.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION

86			
38	25.000	120.000	
39	50.000	120.000	
40	65.000	120.000	
41	75.000	120.000	
42	85.000	120.000	
43	95.000	120.000	
44	105.000	120.000	
45	115.000	120.000	
46	125.000	120.000	
47	150.000	120.000	
48	175.000	120.000	
49	225.000	120.000	
50	285.000	120.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
51	.000	105.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
52	25.000	105.000	
53	50.000	105.000	
54	65.000	105.000	
55	75.000	105.000	
56	85.000	105.000	
57	95.000	105.000	
58	105.000	105.000	
59	115.000	105.000	
60	125.000	105.000	
61	150.000	105.000	
62	175.000	105.000	
63	225.000	105.000	
64	285.000	105.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
65	.000	85.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
66	25.000	85.000	
67	50.000	85.000	
68	65.000	85.000	
69	75.000	85.000	
70	85.000	85.000	
71	95.000	85.000	
72	105.000	85.000	
73	115.000	85.000	
74	125.000	85.000	
75	150.000	85.000	
76	175.000	85.000	
77	225.000	85.000	
78	285.000	85.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
79	.000	50.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
80	25.000	50.000	
81	50.000	50.000	
82	65.000	50.000	
83	75.000	50.000	
84	85.000	50.000	
85	95.000	50.000	
86	105.000	50.000	
87	115.000	50.000	
88	125.000	50.000	
89	150.000	50.000	
90	175.000	50.000	
91	225.000	50.000	
92	285.000	50.000	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION

93	.000	.000	RIGID BASE
94	25.000	.000	RIGID BASE
95	50.000	.000	RIGID BASE
96	65.000	.000	RIGID BASE
97	75.000	.000	RIGID BASE
98	85.000	.000	RIGID BASE
99	95.000	.000	RIGID BASE
100	105.000	.000	RIGID BASE
101	115.000	.000	RIGID BASE
102	125.000	.000	RIGID BASE
103	150.000	.000	RIGID BASE
104	175.000	.000	RIGID BASE
105	225.000	.000	RIGID BASE
106	285.000	.000	RIGID BASE

APENDICE C

Ejemplo de datos de salida del análisis.

Talud La Isla zona 15, agua a 12.0 m del pie de talud
 1 TO ITERATION 3
 SALVADOR-IGN-10/28/85-270

ITERAT.	NAT FREQ	PERIOD
1	8.5	.7414
2	7.0	.8972
3	8.5	.7319

ITERATION NO. 3 MAX. INPUT BASE ACC. = .1000

MAXIMUM NODAL ACCELERATION VALUES

N.P.	XORD	YORD	X-ACC	AT TIME	Y-ACC	AT TIME
1	85.0	220.0	.4709	3.1400	.2311	3.1600
2	95.0	220.0	.4671	3.1400	.2067	3.1800
3	105.0	220.0	.4619	3.1200	.1856	3.1800
4	115.0	220.0	.4550	3.1200	.1670	3.1800
5	125.0	220.0	.4470	3.1200	.1502	3.1800
6	150.0	220.0	.4273	3.1200	.1131	3.1800
7	175.0	220.0	.4083	3.1200	.0972	1.7600
8	225.0	220.0	.3687	3.1400	.0606	1.5600
9	285.0	220.0	.3450	3.1400	.0182	1.9800
10	85.0	195.0	.4004	3.1200	.2188	3.1600
11	95.0	195.0	.3973	3.1200	.1944	3.1800
12	105.0	195.0	.3934	3.1200	.1719	3.1800
13	115.0	195.0	.3887	3.1200	.1520	3.1800
14	125.0	195.0	.3835	3.1200	.1344	3.1800
15	150.0	195.0	.3704	3.1200	.0999	3.1800
16	175.0	195.0	.3565	3.1200	.0971	1.7400
17	225.0	195.0	.3319	3.1200	.0636	1.5800
18	285.0	195.0	.3195	3.1200	.0182	1.9800
19	85.0	170.0	.3284	3.1200	.1999	3.1600
20	95.0	170.0	.3245	3.1200	.1749	3.1800
21	105.0	170.0	.3199	3.1200	.1530	3.1800
22	115.0	170.0	.3155	3.1200	.1340	3.1800
23	125.0	170.0	.3118	3.1200	.1180	3.1800
24	150.0	170.0	.3036	3.1200	.0881	3.1800
25	175.0	170.0	.2963	3.1200	.0877	1.7400
26	225.0	170.0	.2862	3.1200	.0588	1.5600
27	285.0	170.0	.2828	3.1200	.0182	1.9800
28	85.0	145.0	.2538	3.1200	.1722	3.1600
29	95.0	145.0	.2498	2.7800	.1450	3.1800
30	105.0	145.0	.2487	2.7800	.1272	3.1800
31	115.0	145.0	.2477	2.7800	.1128	3.1800

32	125.0	145.0	.2469	2.7600	.1004	3.1800
33	150.0	145.0	.2450	2.7600	.0757	3.1800
34	175.0	145.0	.2432	2.7600	.0709	1.7400
35	225.0	145.0	.2426	3.5000	.0511	1.5600
36	285.0	145.0	.2466	3.5000	.0182	1.9800
37	.0	120.0	.2289	2.1800	.0182	1.9800
38	25.0	120.0	.2163	2.7200	.0676	2.0400
39	50.0	120.0	.2193	2.7200	.0758	2.0600
40	65.0	120.0	.2199	2.7200	.0728	2.1600
41	75.0	120.0	.2244	2.7400	.0701	2.1600
42	85.0	120.0	.2301	2.7400	.1262	3.1600
43	95.0	120.0	.2298	2.7400	.1122	3.1600
44	105.0	120.0	.2293	2.7400	.1005	3.1800
45	115.0	120.0	.2286	2.7400	.0908	3.1800
46	125.0	120.0	.2276	2.7400	.0819	3.1800
47	150.0	120.0	.2245	2.7400	.0624	3.1800
48	175.0	120.0	.2207	2.7400	.0544	2.6800
49	225.0	120.0	.2119	2.7400	.0427	2.0600
50	285.0	120.0	.2059	2.7400	.0182	1.9800
51	.0	105.0	.2105	2.7200	.0182	1.9800
52	25.0	105.0	.2121	2.7200	.0659	2.0600
53	50.0	105.0	.2155	2.7200	.0773	2.1600
54	65.0	105.0	.2162	2.7200	.0793	2.1600
55	75.0	105.0	.2167	2.7400	.0770	2.1600
56	85.0	105.0	.2169	2.7400	.0994	3.1600
57	95.0	105.0	.2161	2.7400	.0944	3.1600
58	105.0	105.0	.2152	2.7400	.0863	3.1600
59	115.0	105.0	.2141	2.7400	.0782	3.1800
60	125.0	105.0	.2129	2.7400	.0708	3.1800
61	150.0	105.0	.2092	2.7400	.0540	3.1800
62	175.0	105.0	.2047	2.7400	.0490	2.6800
63	225.0	105.0	.1945	2.7400	.0460	2.0600
64	285.0	105.0	.1880	2.7400	.0182	1.9800
65	.0	85.0	.2097	2.7400	.0182	1.9800
66	25.0	85.0	.2083	2.7200	.0632	2.0400
67	50.0	85.0	.2058	2.7200	.0694	2.1600
68	65.0	85.0	.2040	2.7200	.0711	2.1600
69	75.0	85.0	.2023	2.7200	.0680	2.1600
70	85.0	85.0	.2004	2.7200	.0750	3.1400
71	95.0	85.0	.1985	2.7200	.0726	3.1600
72	105.0	85.0	.1963	2.7200	.0680	3.1600
73	115.0	85.0	.1942	2.7200	.0621	3.1600
74	125.0	85.0	.1921	2.7200	.0554	3.1600
75	150.0	85.0	.1866	2.7200	.0430	2.6600
76	175.0	85.0	.1804	2.7200	.0421	1.3800
77	225.0	85.0	.1735	2.7400	.0487	2.0400
78	285.0	85.0	.1672	2.7400	.0182	1.9800
79	.0	70.0	.1636	2.7000	.0182	1.9800
80	25.0	70.0	.1611	2.7000	.0685	2.0200
81	50.0	70.0	.1446	2.7000	.0557	2.0200
82	75.0	70.0	.1490	2.7000	.0512	2.0200
83	100.0	70.0	.1568	2.7000	.0487	2.0200
84	85.0	50.0	.1541	2.7200	.0450	2.0200
85	95.0	50.0	.1512	2.7000	.0481	2.0200
86	105.0	50.0	.1487	2.7200	.0505	2.0200

87	115.0	50.0	.1465	2.7200	.0522	2.0200
88	125.0	50.0	.1445	2.7200	.0532	2.0200
89	150.0	50.0	.1326	2.7200	.0541	2.0200
90	175.0	50.0	.1346	2.7200	.0542	2.0200
91	225.0	50.0	.1236	2.7200	.0595	2.0200
92	285.0	50.0	.1289	1.9200	.0182	1.2800

MAX. ELEMENT STRESSES AND STRAINS

ELM.	SIG-X	SIG-Y	SIG-XY	EPS-MAX	AT TIME
1	247.6	500.3	51.1	.021	2.400
2	582.5	406.0	183.2	.031	3.140
3	857.7	334.5	278.1	.040	3.140
4	1017.2	299.6	386.8	.048	3.140
5	1107.3	223.9	490.9	.053	3.140
6	1074.4	127.4	567.9	.053	3.140
7	849.3	111.2	595.8	.047	3.140
8	278.8	48.7	1886.3	.148	20.260
9	700.5	1535.1	140.0	.050	3.140
10	580.3	1380.5	420.7	.037	3.140
11	784.3	1192.4	727.9	.044	3.140
12	888.9	1000.1	966.1	.042	3.140
13	920.6	708.2	1211.5	.055	3.140
14	886.2	415.7	1388.4	.058	3.140
15	711.6	262.9	1409.6	.058	3.140
16	245.2	191.1	3145.2	.148	20.260
17	349.3	3117.8	210.0	.042	3.140
18	191.3	3034.4	949.4	.053	3.140
19	144.4	2465.8	1386.0	.055	3.140
20	132.8	1908.8	1636.2	.057	3.140
21	167.5	1289.9	1852.3	.062	3.140
22	229.2	732.1	2011.1	.067	3.140
23	257.1	575.5	2502.7	.071	3.140
24	107.1	145.4	3804.8	.148	20.220
25	1247.4	6215.4	1459.9	.072	3.140
26	1218.6	4360.7	1902.8	.064	3.140
27	1132.3	3253.5	2020.6	.061	3.140
28	1013.6	2515.9	2083.0	.061	3.140
29	773.5	1722.3	2174.9	.064	3.140
30	509.5	1011.8	2305.6	.069	3.140
31	306.9	522.7	2442.0	.075	3.140
32	108.4	198.7	4252.3	.148	20.200
33	276.5	515.0	2797.5	.328	20.260
34	483.5	73.7	259.3	.026	2.760
35	915.6	107.6	394.5	.056	3.140
36	1689.8	373.0	724.5	.116	3.140
37	2339.8	1572.4	1391.4	.212	3.160
38	2889.9	7080.5	1981.3	.068	3.140
39	2415.5	4804.2	1874.2	.053	3.140
40	2036.1	3598.6	1896.8	.051	3.140
41	1733.7	2843.0	1965.3	.052	3.140
42	1319.7	1991.9	2103.8	.057	3.140

43	886.1	1207.8	2287.9	.064	3.140
44	556.3	607.2	2504.5	.072	3.140
45	177.3	247.2	4522.3	.147	20.200
46	246.1	409.0	5413.1	.341	20.260
47	635.6	239.1	655.0	.036	2.780
48	1160.3	617.6	1082.0	.066	3.140
49	1470.6	1178.2	1488.0	.098	3.140
50	1489.0	1940.3	1682.5	.117	3.160
51	1913.8	560.1	1709.0	.056	3.140
52	1852.4	4641.6	1570.8	.046	2.780
53	1676.5	3704.9	1687.3	.043	2.780
54	1537.3	3018.2	1819.7	.044	2.780
55	1338.6	2245.2	2088.8	.053	2.780
56	1020.6	1416.4	2302.2	.061	2.780
57	681.1	749.4	2508.0	.069	2.800
58	351.7	687.4	4808.1	.148	20.220
59	169.7	213.5	7647.7	.350	20.260
60	511.0	709.3	1521.6	.071	2.760
61	755.7	1340.1	1721.1	.085	2.780
62	763.0	1845.1	1820.7	.096	3.140
63	660.2	2134.5	1828.9	.102	2.780
64	753.9	4614.2	2119.5	.066	2.780
65	937.3	4455.6	2105.1	.061	2.760
66	1071.2	3994.5	2129.2	.056	2.760
67	1119.9	3415.3	2169.4	.055	2.760
68	1118.6	2604.1	2303.6	.058	2.780
69	1009.4	1735.3	2449.7	.063	2.780
70	744.3	931.3	2595.2	.068	2.780
71	251.5	219.3	5072.5	.150	20.260
72	5545.3	10278.5	4722.5	.197	20.260
73	477.1	936.7	2064.2	.087	2.760
74	654.1	1532.1	2094.7	.089	2.760
75	732.8	1970.5	2093.3	.091	2.760
76	822.0	2346.5	2098.2	.094	2.760
77	1268.5	4161.1	2736.3	.073	2.760
78	1248.1	3839.9	2718.2	.071	2.760
79	1260.7	3576.5	2680.3	.069	2.760
80	1273.6	3302.5	2651.0	.067	2.760
81	1197.6	2733.2	2621.3	.066	2.760
82	1008.3	1937.8	2620.6	.066	2.760
83	673.1	1073.2	2679.7	.068	2.780
84	7743.4	14378.7	2963.3	.118	2.780

ELN	G-USED	G-NEW	DIF-G	DAMP-USED	DAMP-NEW	DIF-DAMP
1	.1755E+07	.1355E+07	39.69	.03	.07	-56.85
2	.1693E+07	.1214E+07	59.41	.04	.08	-56.04
3	.1617E+07	.1104E+07	46.47	.04	.09	-53.61
4	.1575E+07	.1042E+07	51.15	.05	.10	-53.02
5	.1545E+07	.1004E+07	53.93	.05	.10	-52.49
6	.1531E+07	.9988E+06	53.29	.05	.10	-51.50
7	.1559E+07	.1048E+07	48.74	.05	.10	-51.05

8	.1274E+07	.6111E+06	108.53	.07	.15	-51.68
9	.2900E+07	.2115E+07	37.13	.04	.08	-53.50
10	.2867E+07	.1983E+07	44.59	.04	.09	-55.18
11	.2769E+07	.1870E+07	48.08	.04	.09	-52.26
12	.2700E+07	.1793E+07	50.61	.05	.10	-51.47
13	.2630E+07	.1722E+07	52.72	.05	.10	-50.21
14	.2590E+07	.1678E+07	54.35	.05	.11	-49.69
15	.2505E+07	.1678E+07	49.26	.06	.11	-45.40
16	.2122E+07	.1063E+07	99.64	.08	.15	-48.33
17	.3592E+07	.2326E+07	54.44	.04	.10	-55.76
18	.3514E+07	.2256E+07	55.71	.05	.10	-54.21
19	.3426E+07	.2226E+07	53.92	.05	.10	-51.39
20	.3332E+07	.2192E+07	52.00	.05	.11	-48.51
21	.3177E+07	.2122E+07	49.76	.06	.11	-44.55
22	.3036E+07	.2045E+07	48.46	.07	.12	-41.58
23	.2942E+07	.1999E+07	47.18	.07	.12	-39.57
24	.2563E+07	.1371E+07	86.95	.09	.15	-43.58
25	.4004E+07	.2354E+07	70.06	.05	.12	-55.49
26	.3822E+07	.2469E+07	54.80	.06	.11	-47.50
27	.3679E+07	.2513E+07	46.40	.06	.11	-41.92
28	.3578E+07	.2515E+07	42.29	.07	.11	-38.66
29	.3450E+07	.2470E+07	39.65	.07	.11	-35.83
30	.3333E+07	.2391E+07	39.40	.08	.12	-34.43
31	.3254E+07	.2311E+07	40.82	.08	.12	-34.27
32	.2874E+07	.1625E+07	76.82	.09	.15	-39.90
33	.8538E+06	.2964E+06	188.03	.09	.19	-52.91
34	.1174E+07	.9384E+06	18.74	.05	.07	-29.90
35	.1005E+07	.7618E+06	31.95	.07	.11	-31.38
36	.8421E+06	.5478E+06	53.70	.09	.14	-34.86
37	.6798E+06	.3930E+06	72.97	.12	.17	-30.24
38	.4236E+07	.2665E+07	58.94	.06	.12	-48.93
39	.4150E+07	.2945E+07	40.90	.06	.10	-40.17
40	.3995E+07	.2998E+07	33.26	.07	.10	-33.92
41	.3868E+07	.2965E+07	30.46	.07	.10	-30.92
42	.3701E+07	.2865E+07	29.21	.08	.11	-28.83
43	.3540E+07	.2735E+07	28.10	.08	.11	-26.11
44	.3472E+07	.2606E+07	33.23	.08	.12	-29.55
45	.3079E+07	.1810E+07	70.14	.10	.15	-36.51
46	.1586E+07	.5250E+06	202.12	.09	.20	-54.31
47	.1886E+07	.1638E+07	15.18	.07	.09	-19.09
48	.1686E+07	.1303E+07	29.42	.08	.11	-27.63
49	.1527E+07	.1092E+07	39.91	.09	.13	-30.27
50	.1455E+07	.9966E+06	45.97	.10	.14	-29.51
51	.4511E+07	.3119E+07	44.63	.06	.11	-42.50
52	.4516E+07	.3356E+07	34.58	.06	.09	-36.05
53	.4342E+07	.3442E+07	26.15	.07	.09	-28.73
54	.4172E+07	.3401E+07	22.65	.07	.09	-24.28
55	.3947E+07	.3182E+07	24.02	.08	.10	-24.93
56	.3767E+07	.3010E+07	25.14	.08	.11	-24.93
57	.3680E+07	.2889E+07	27.60	.09	.12	-25.97
58	.3291E+07	.1943E+07	67.34	.10	.15	-34.81
59	.2188E+07	.6912E+06	216.51	.09	.20	-56.09
60	.2132E+07	.1693E+07	25.98	.09	.12	-24.54
61	.2051E+07	.1569E+07	30.67	.09	.13	-26.39
62	.1977E+07	.1477E+07	33.85	.10	.13	-25.75

63	.1929E+07	.1435E+07	34.50	.10	.14	-24.94
64	.4302E+07	.3149E+07	36.64	.08	.11	-33.17
65	.4267E+07	.3252E+07	31.20	.08	.11	-29.89
66	.4219E+07	.3362E+07	25.47	.08	.11	-25.86
67	.4152E+07	.3377E+07	21.94	.08	.11	-23.72
68	.4023E+07	.3309E+07	21.57	.08	.11	-22.27
69	.3890E+07	.3202E+07	21.48	.09	.11	-21.85
70	.3793E+07	.3095E+07	22.56	.09	.12	-22.31
71	.3379E+07	.2073E+07	62.98	.11	.15	-32.12
72	.2685E+07	.1244E+07	115.86	.09	.17	-48.02
73	.2372E+07	.1920E+07	23.57	.10	.13	-19.50
74	.2370E+07	.1899E+07	24.82	.10	.13	-20.12
75	.2355E+07	.1884E+07	25.04	.10	.13	-20.01
76	.2324E+07	.1857E+07	25.15	.11	.13	-19.59
77	.4023E+07	.3253E+07	23.69	.09	.12	-22.82
78	.4039E+07	.3291E+07	22.73	.09	.12	-22.27
79	.4058E+07	.3336E+07	21.64	.09	.12	-21.62
80	.4064E+07	.3370E+07	20.61	.09	.11	-20.96
81	.4047E+07	.3399E+07	19.08	.09	.11	-19.86
82	.4004E+07	.3399E+07	17.81	.09	.11	-18.90
83	.3945E+07	.3354E+07	17.63	.09	.12	-18.72
84	.3691E+07	.2582E+07	42.93	.10	.14	-27.38

ITERATION CYCLE NO. 3
 AVE OVERALL DAMP = .126

ITERATION 3

DAMPING RATIO REDUCTION FACTOR 1.000
 THETA 1.400
 TIME STEPS OF EQ. RECORDS .020
 TIME STEPS OF ANALYSIS .020

Tiempo empleado en FRMSTF + 1013 iteraciones

2. horas 19. min. 17. seg.

HORA DE FINALIZACION:

hora min. seg.

18 51 53

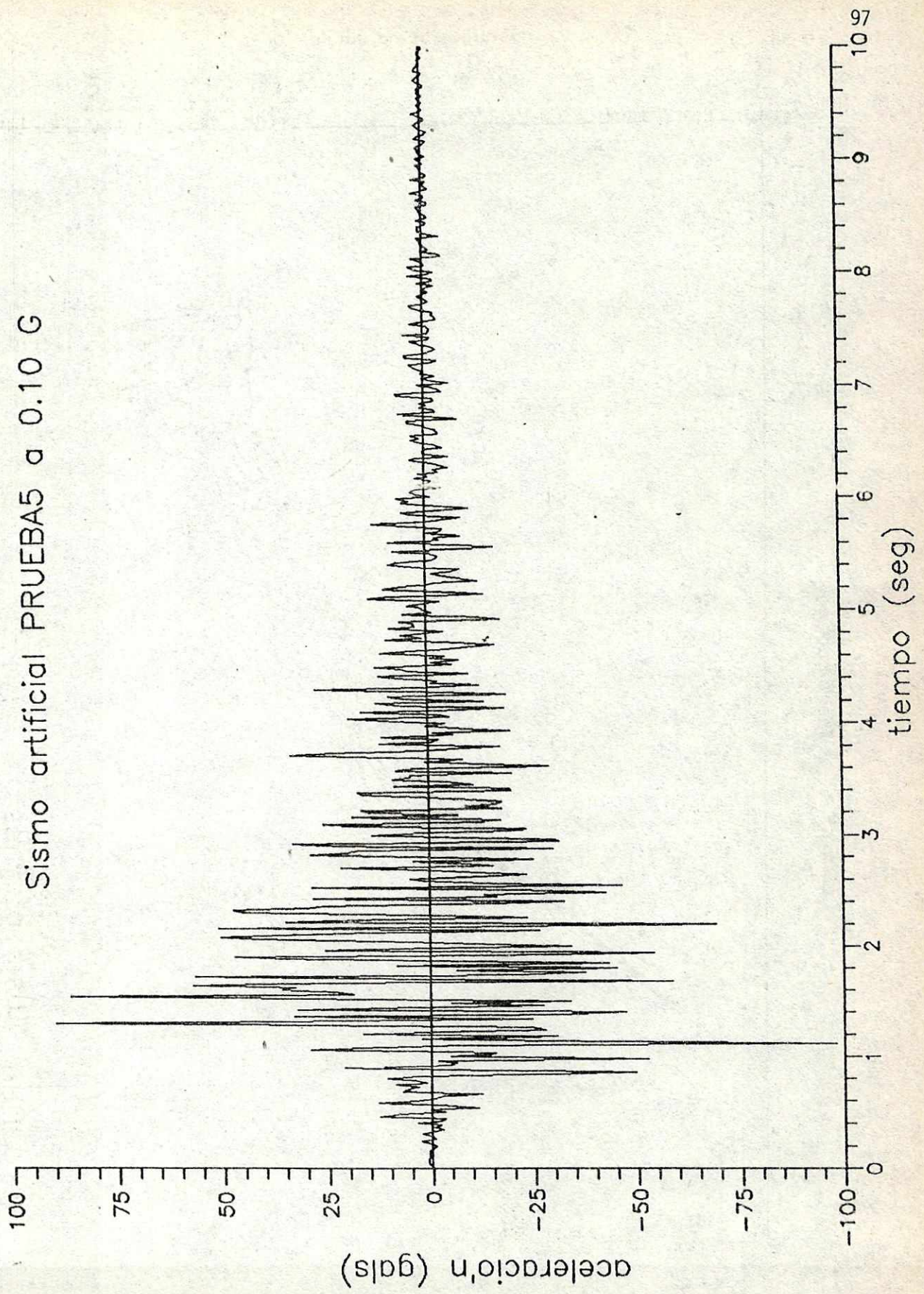
TIEMPO TOTAL EMPLEADO:

3. horas 3. min. 33. seg.

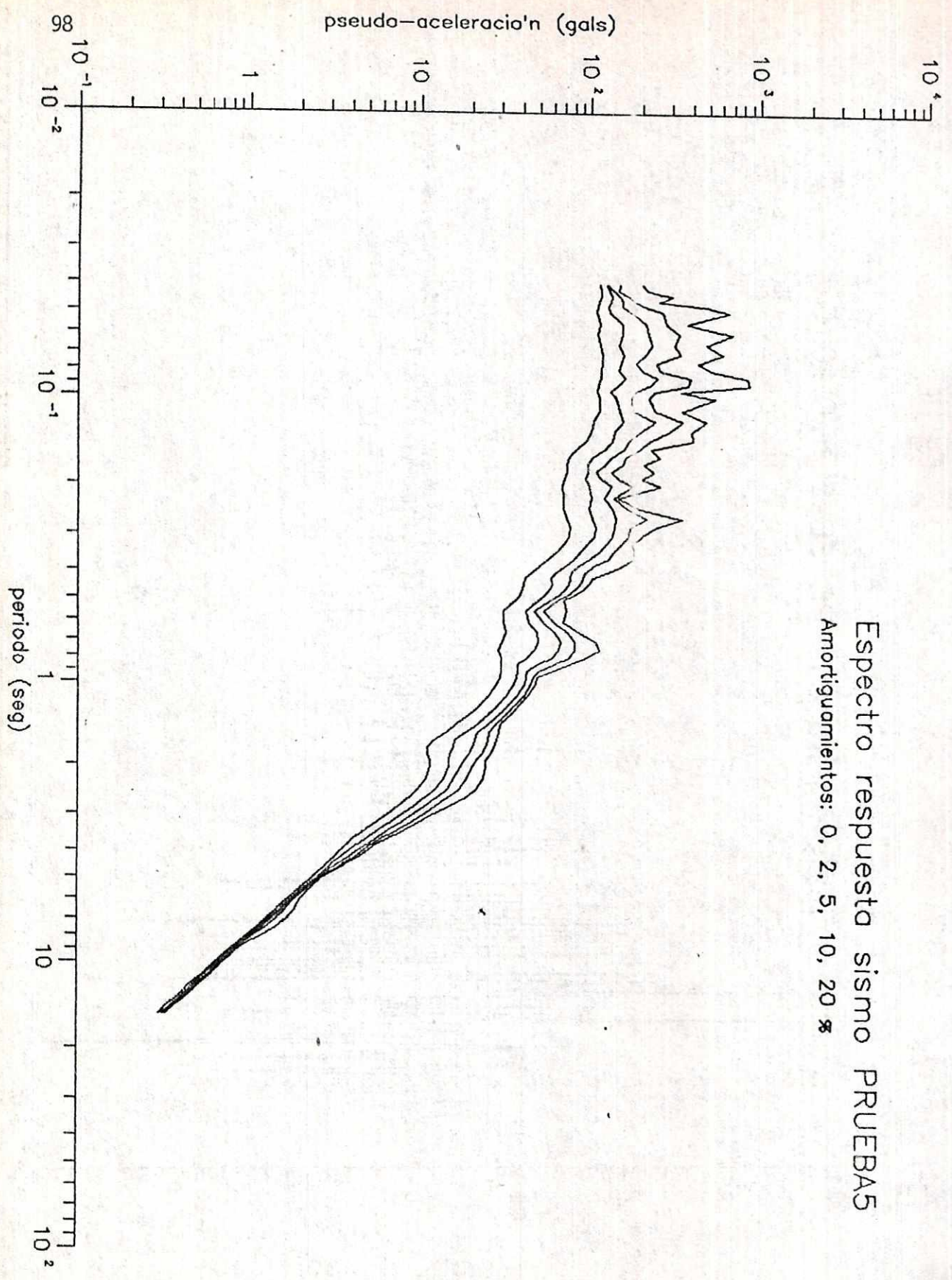
APENDICE D

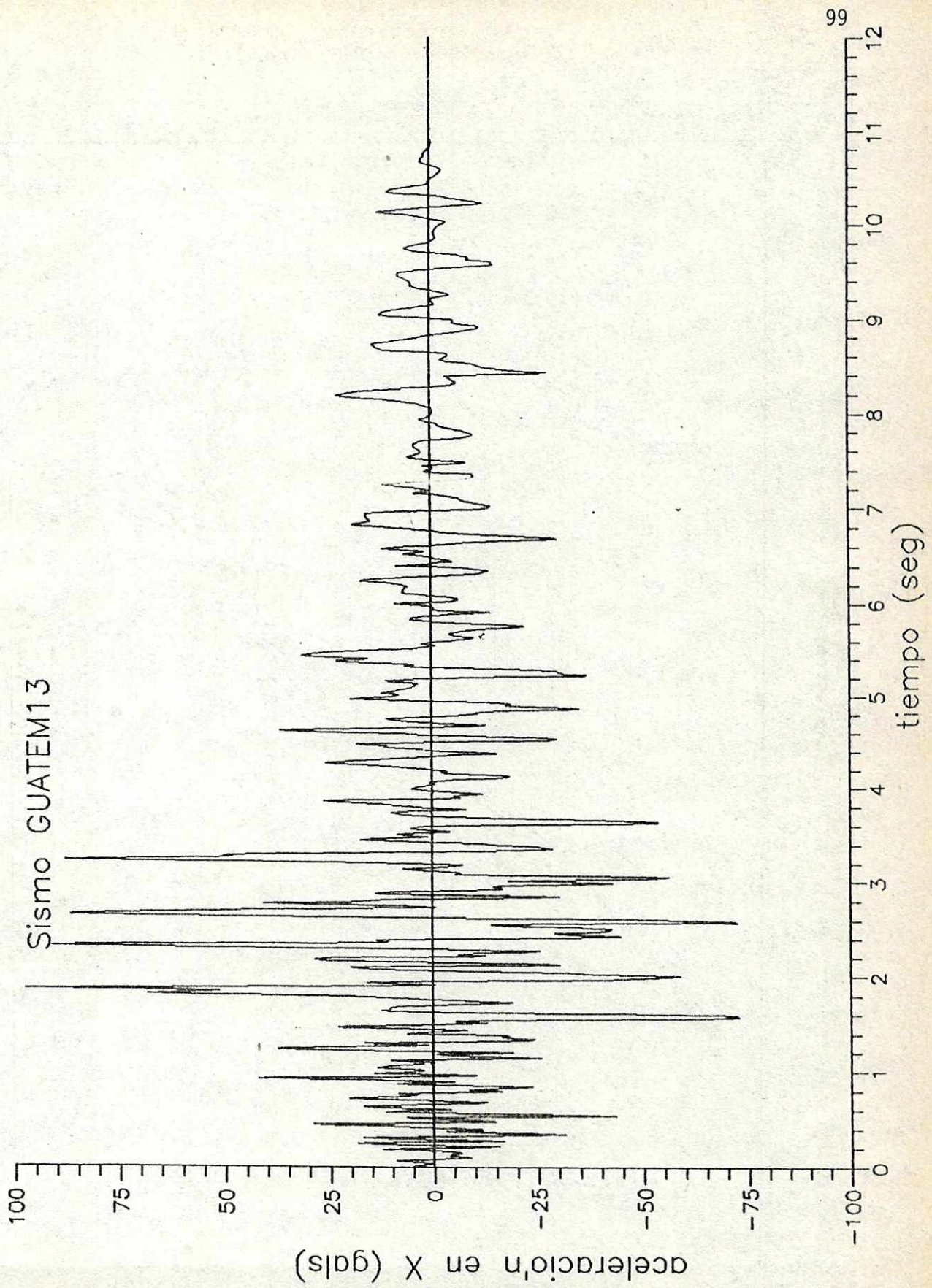
Gráficas de acelerogramas de sismos y sus espectros.

Sismo artificial PRUEBA5 a 0.10 G

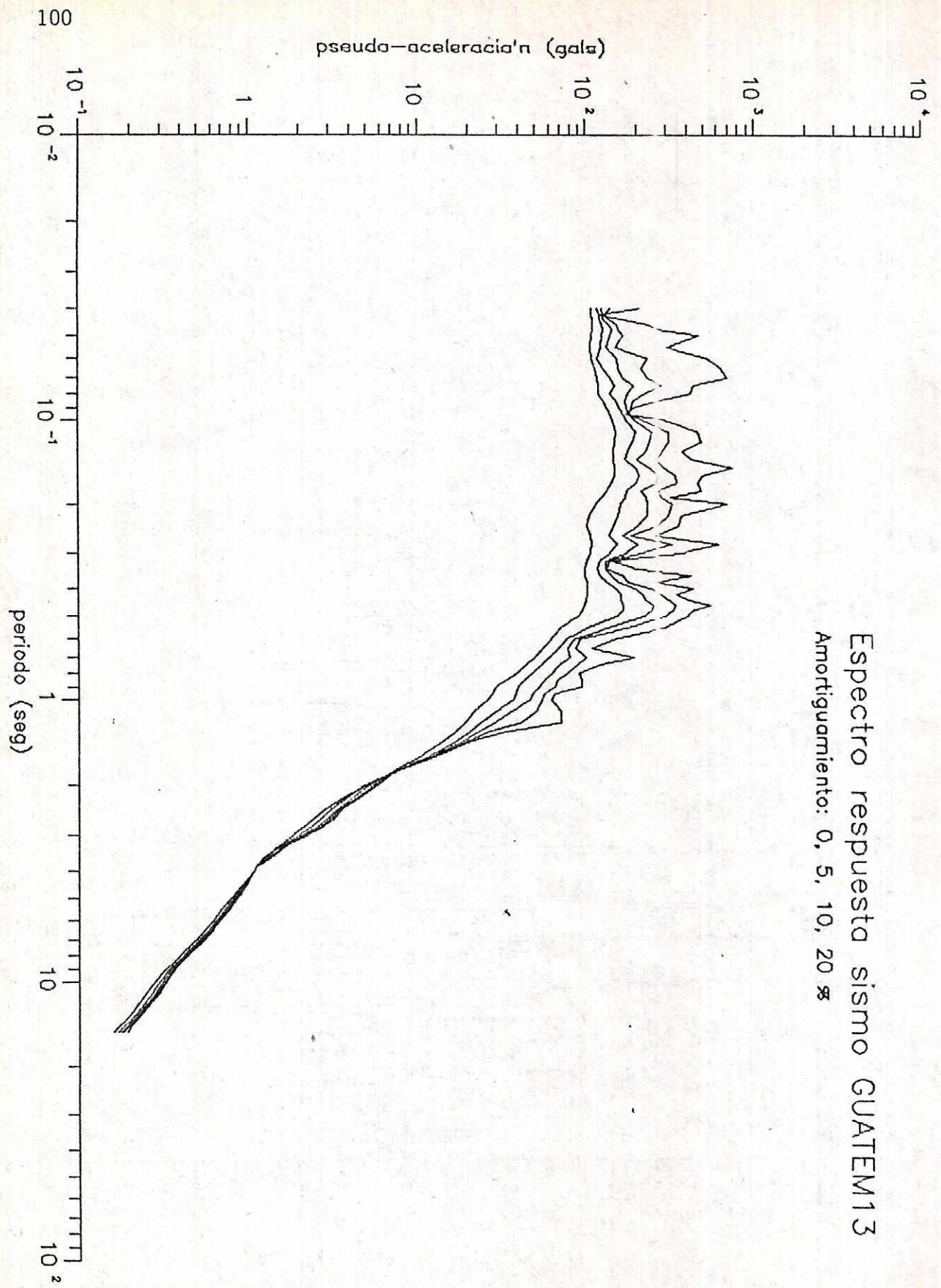


Espectro respuesta sismo PRUEBAS
Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

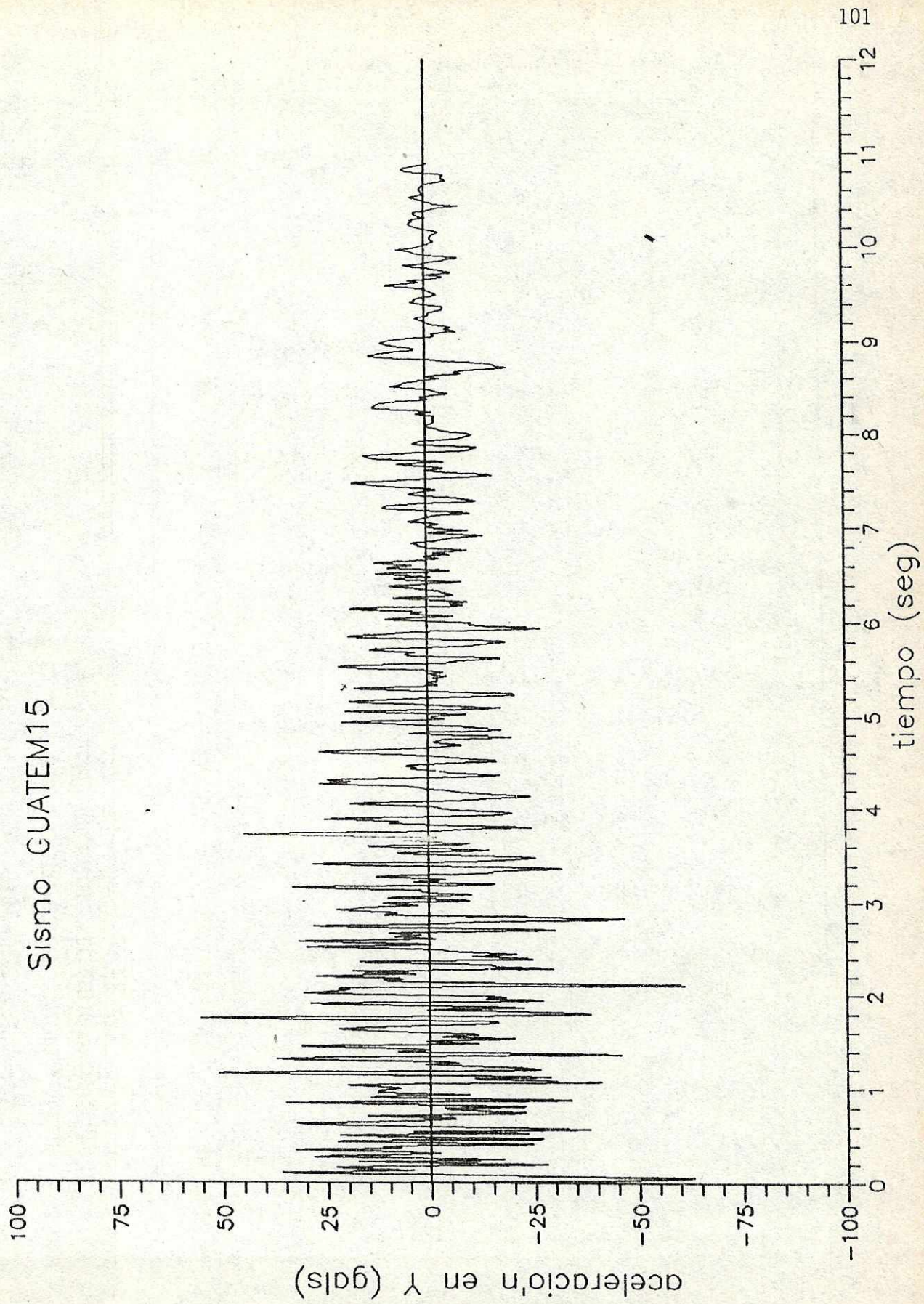




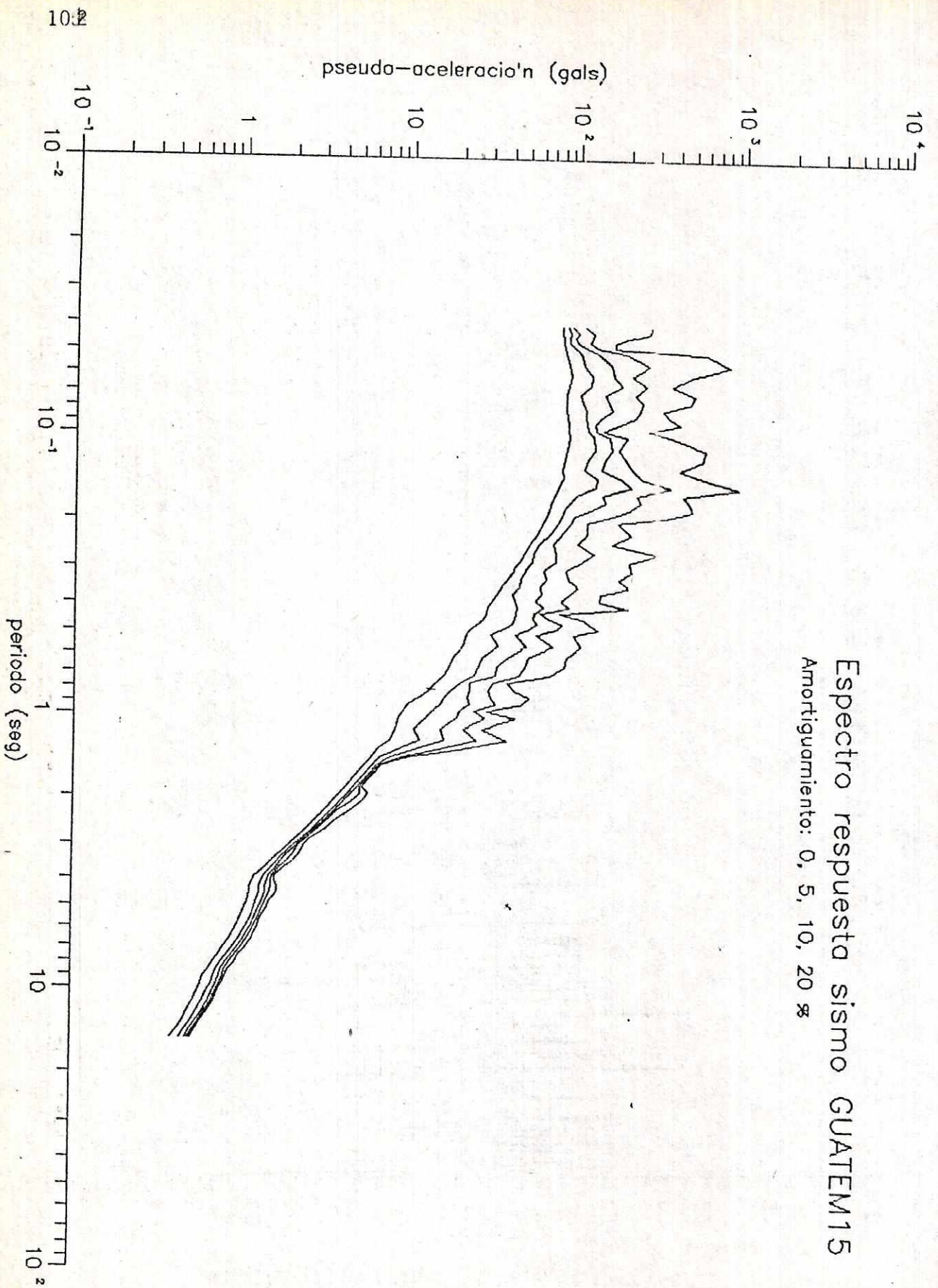
Espectro respuesta sismo GUATEM13
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

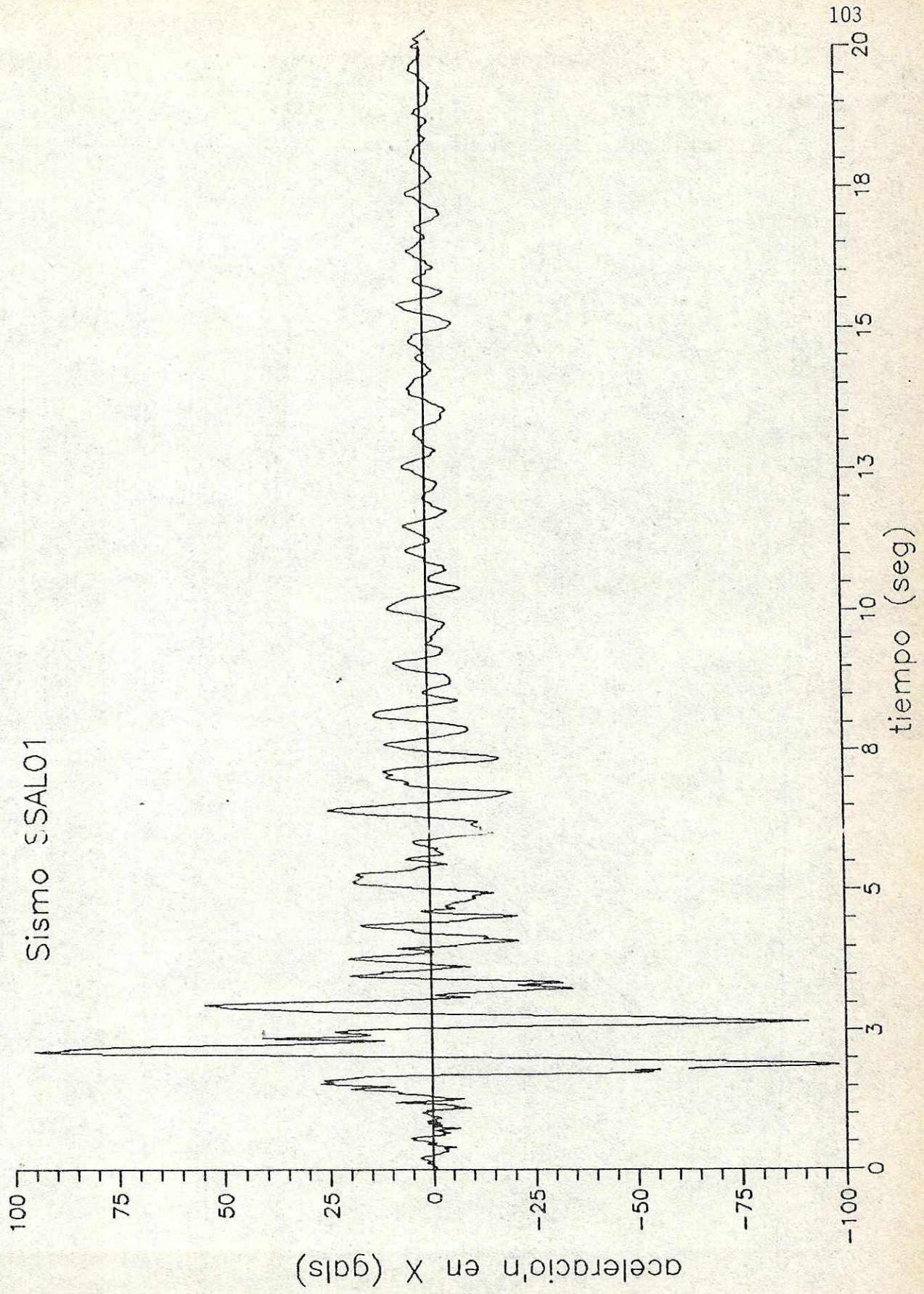


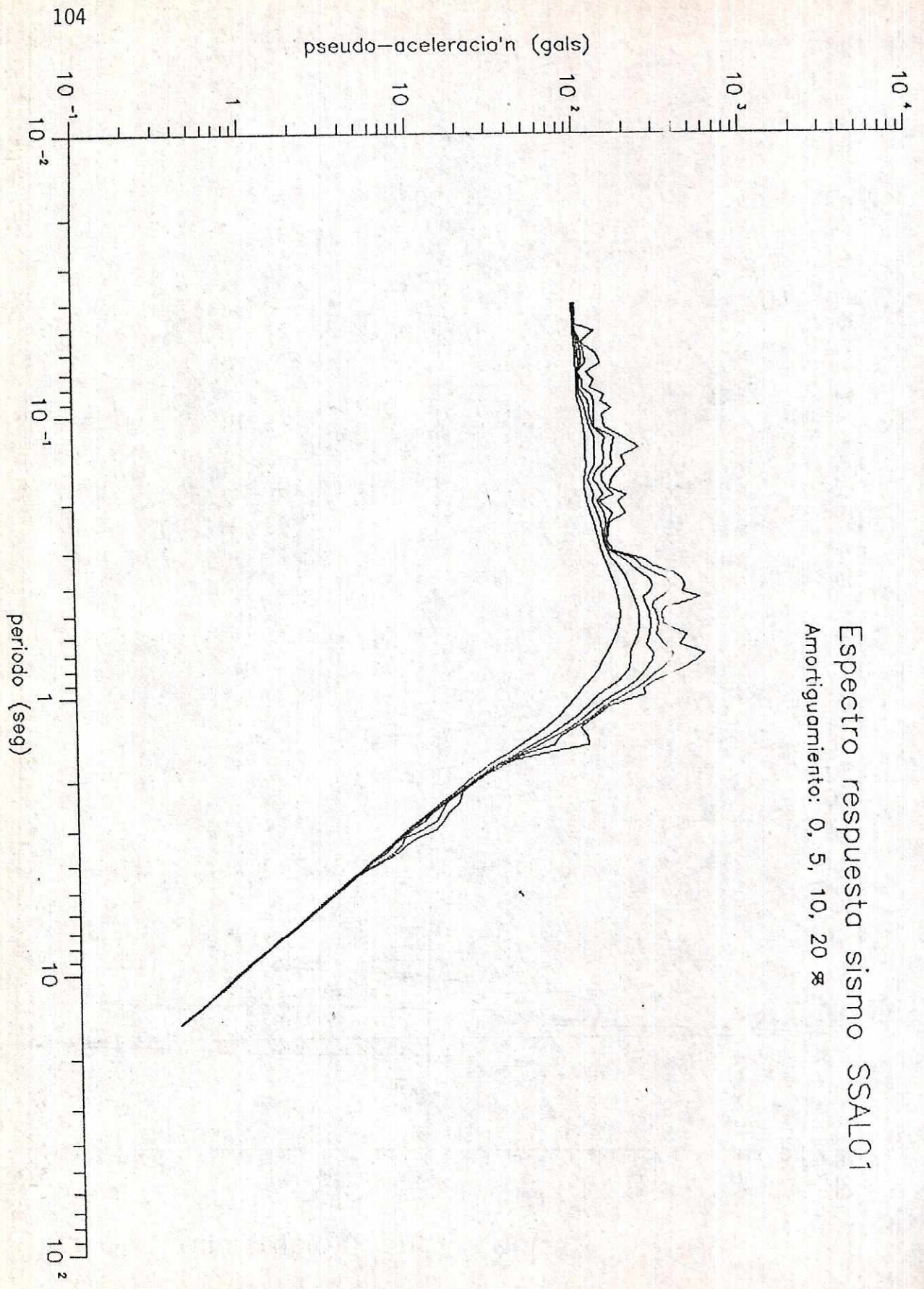
Sismo GUATEM15



Espectro respuesta sismo GUATEM15
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

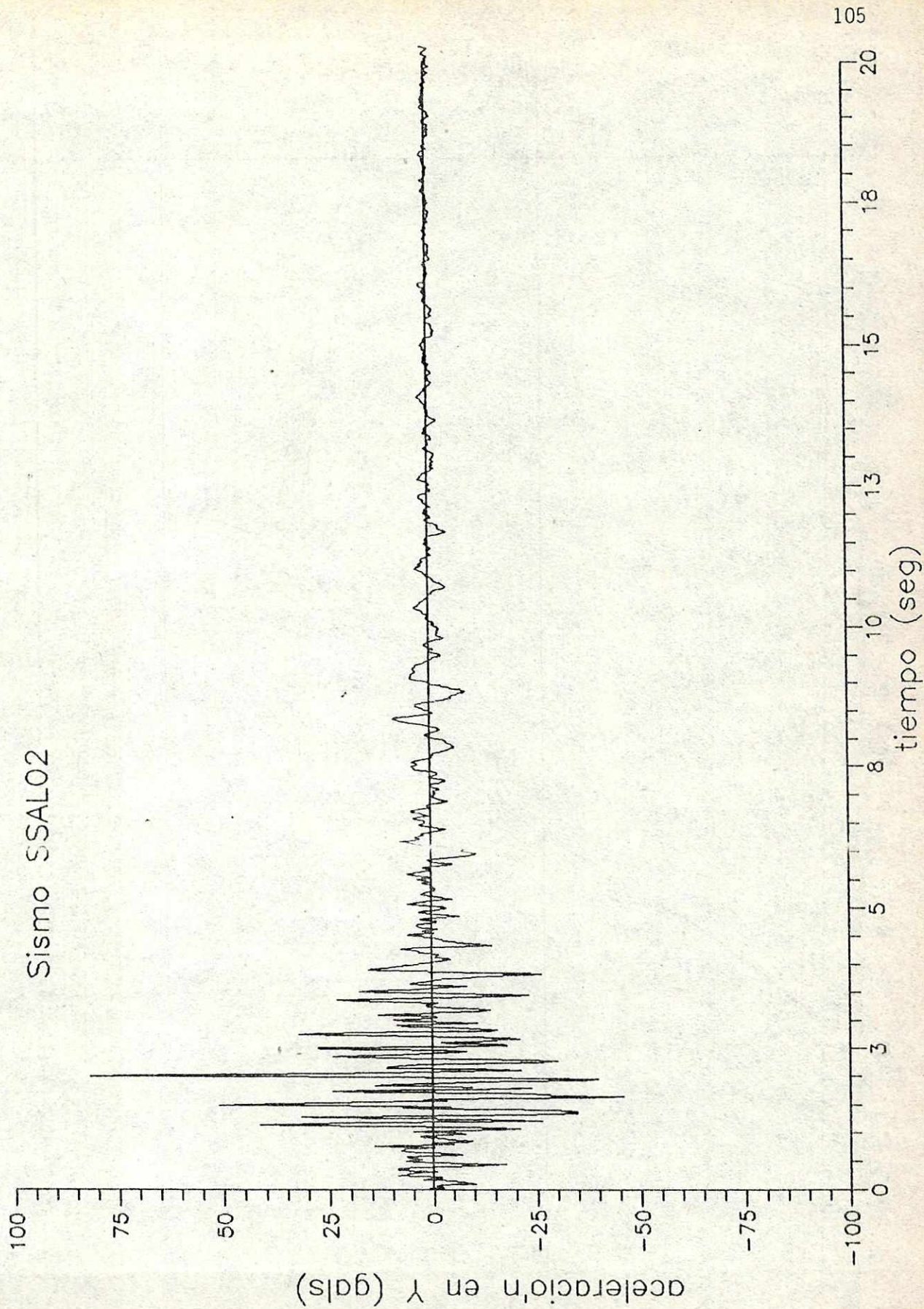




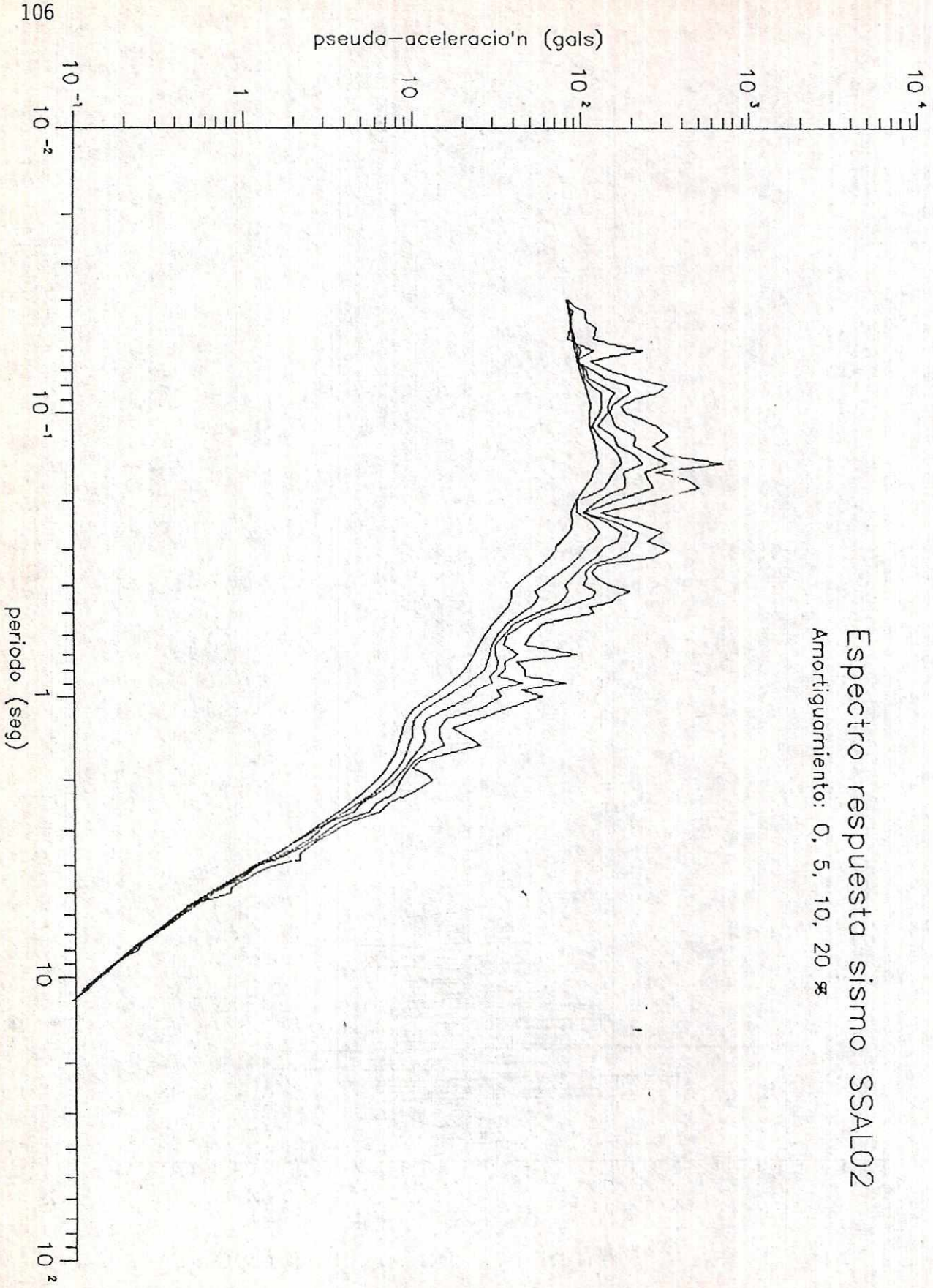


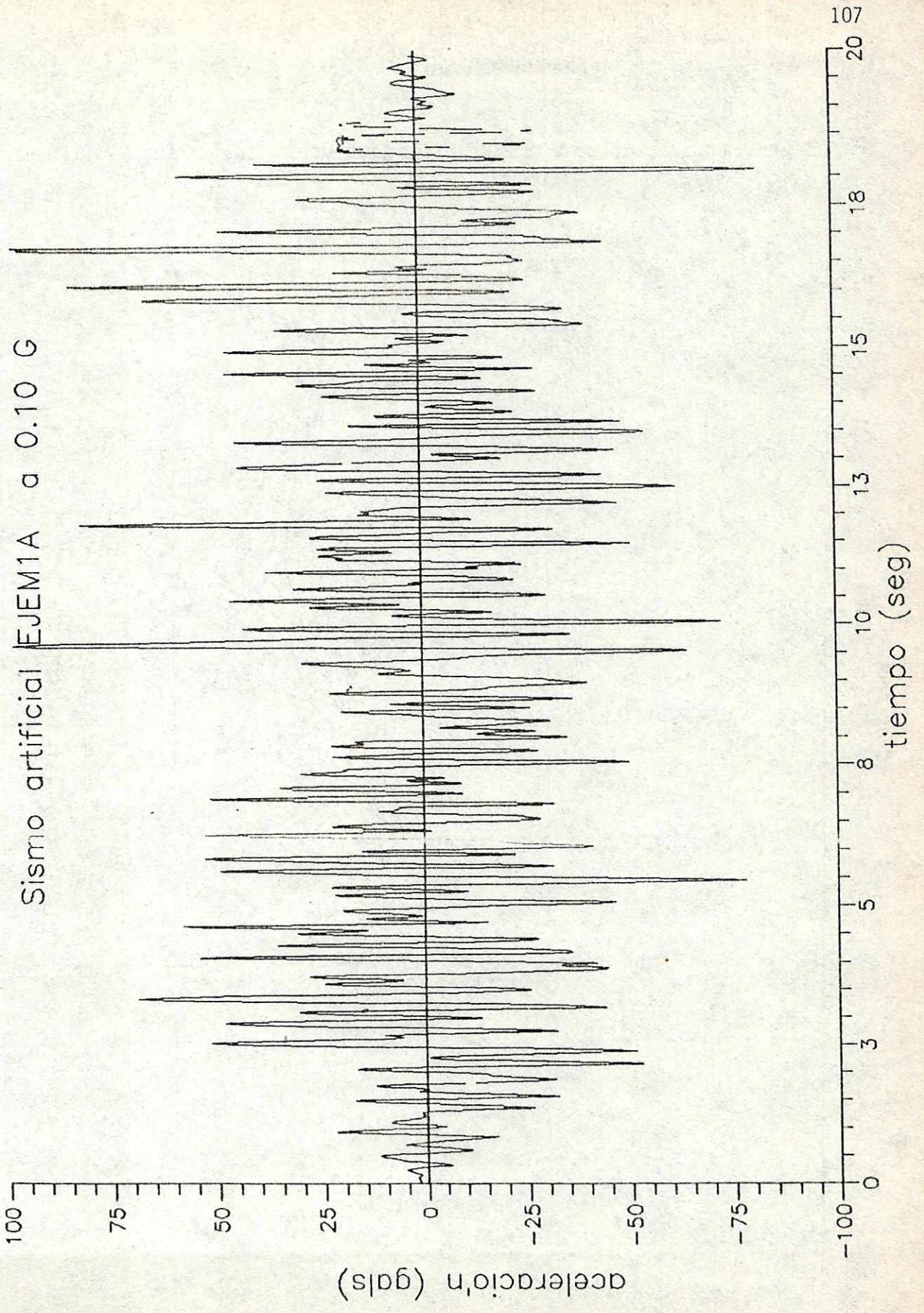
Espectro respuesta sismo SSAL01
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

Sismo SSAL02

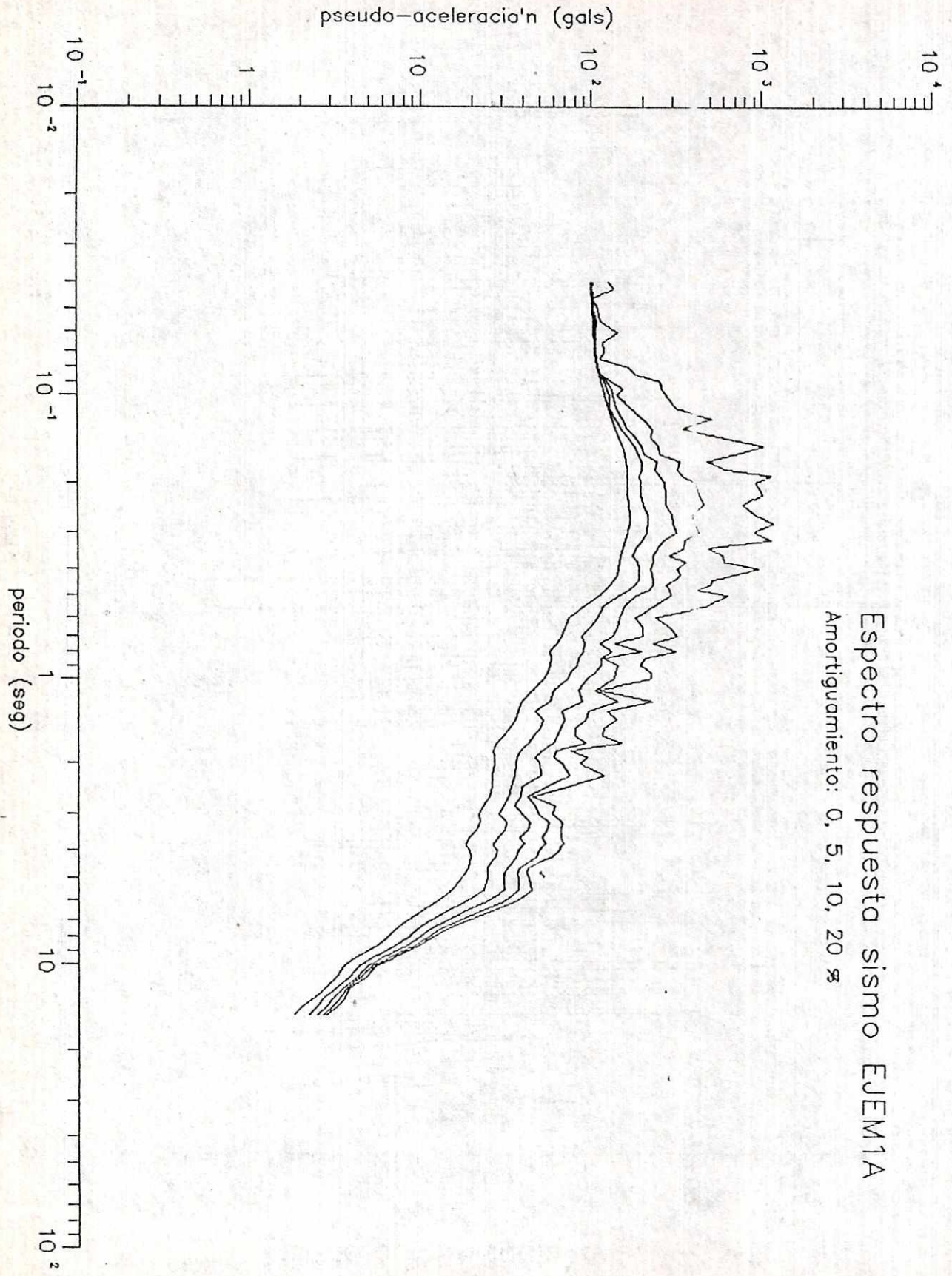


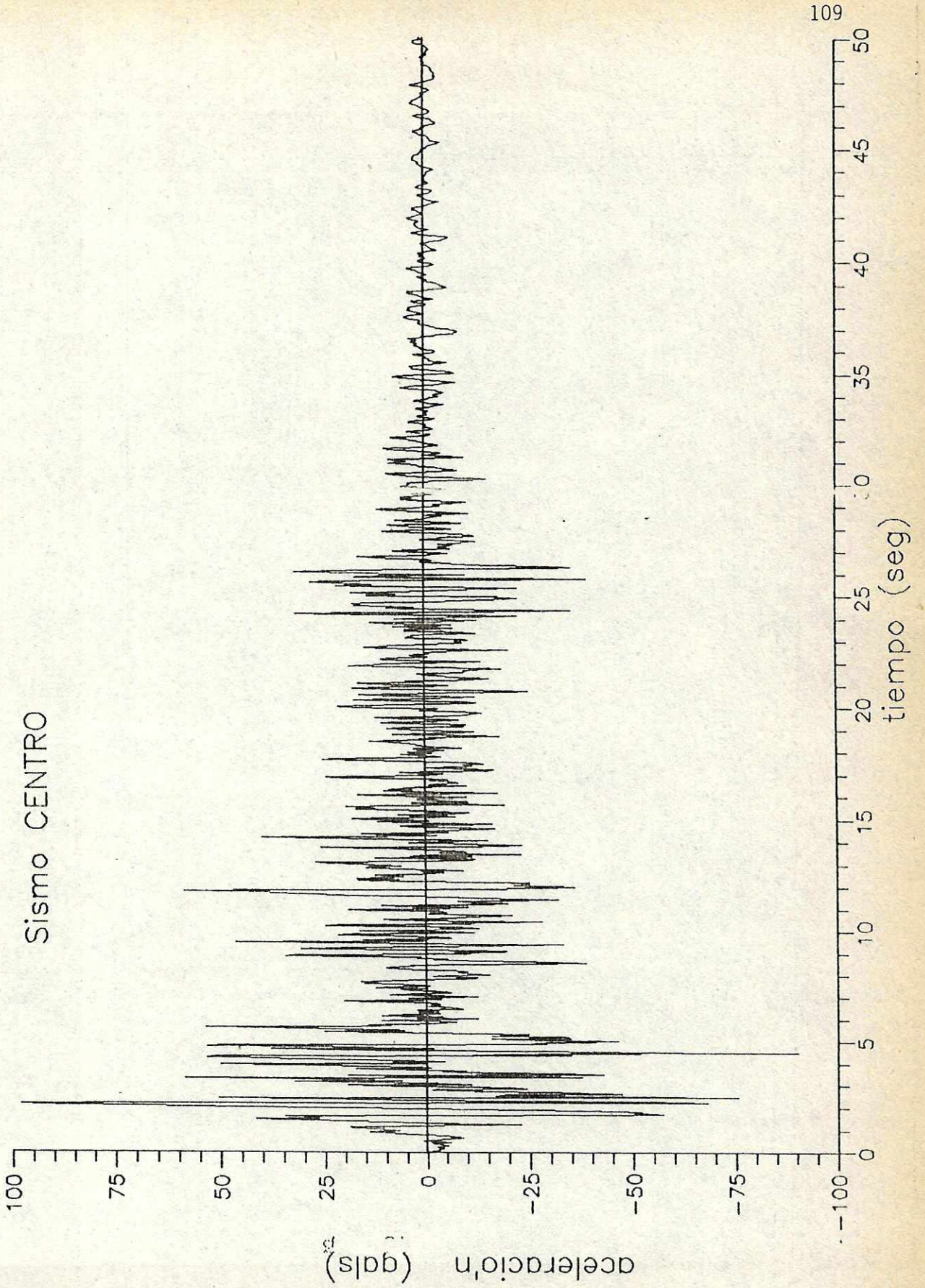
Espectro respuesta sismo SSAL02
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %





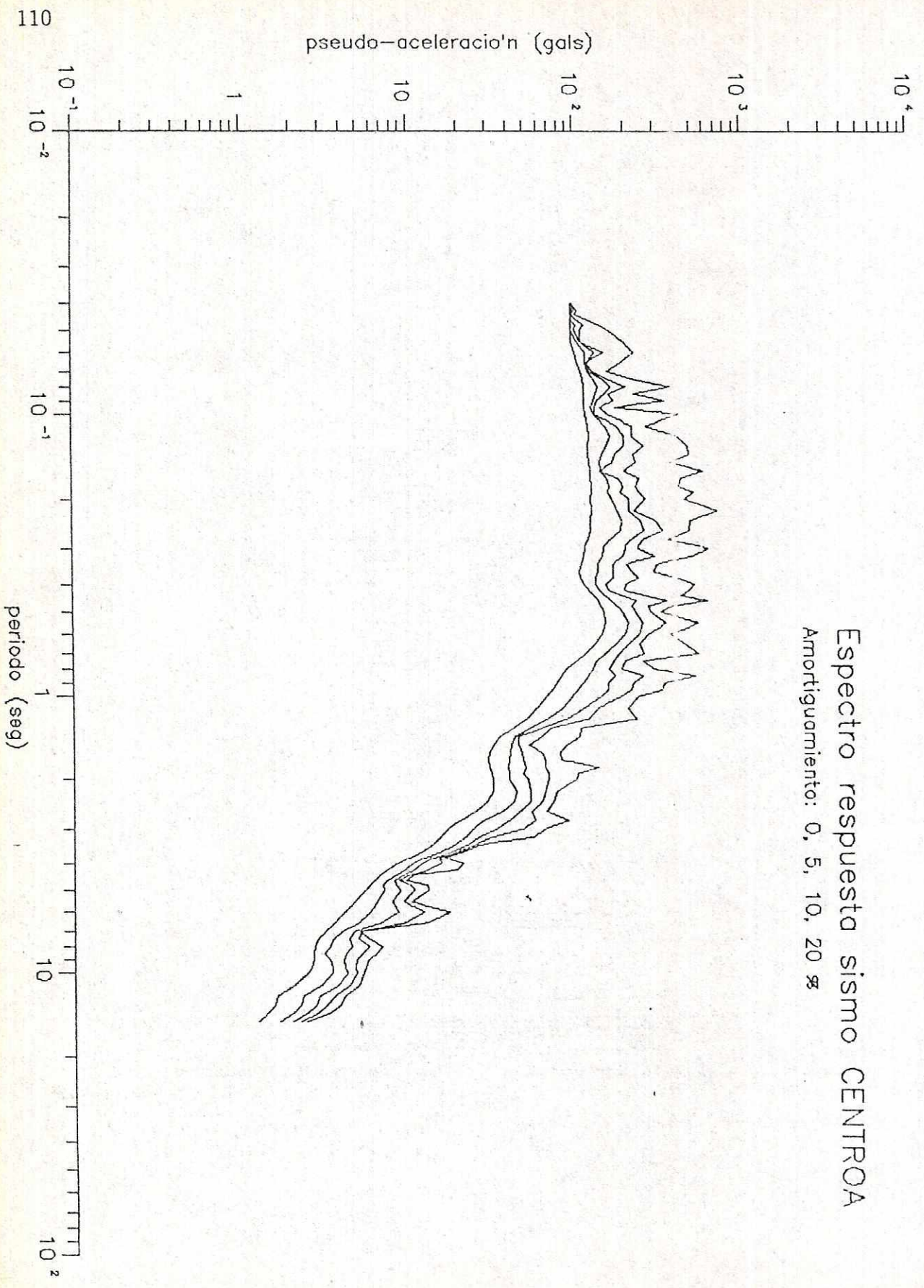
Espectro respuesta sismo EJEM1A
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %



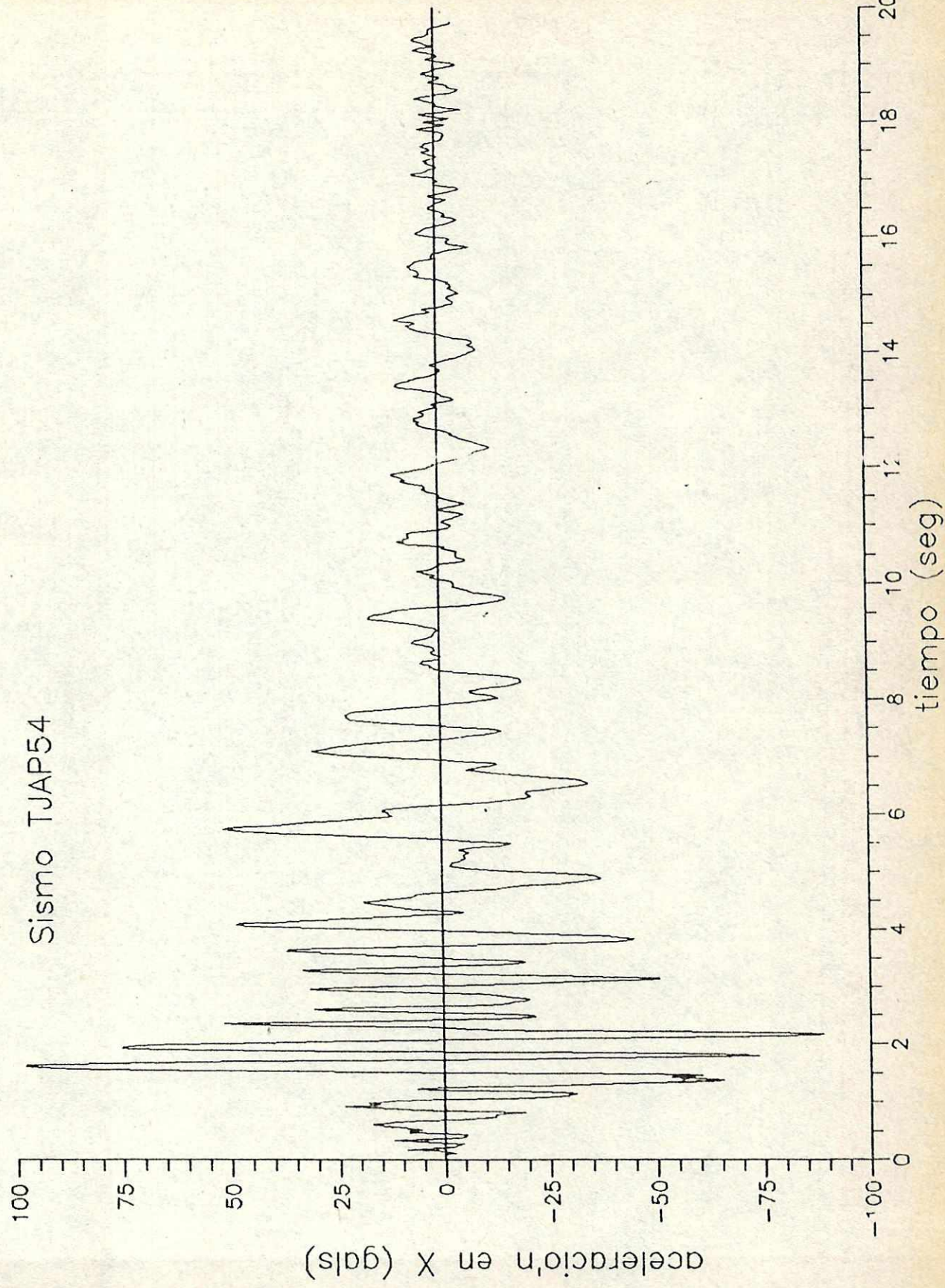


Espectro respuesta sismo CENTROA

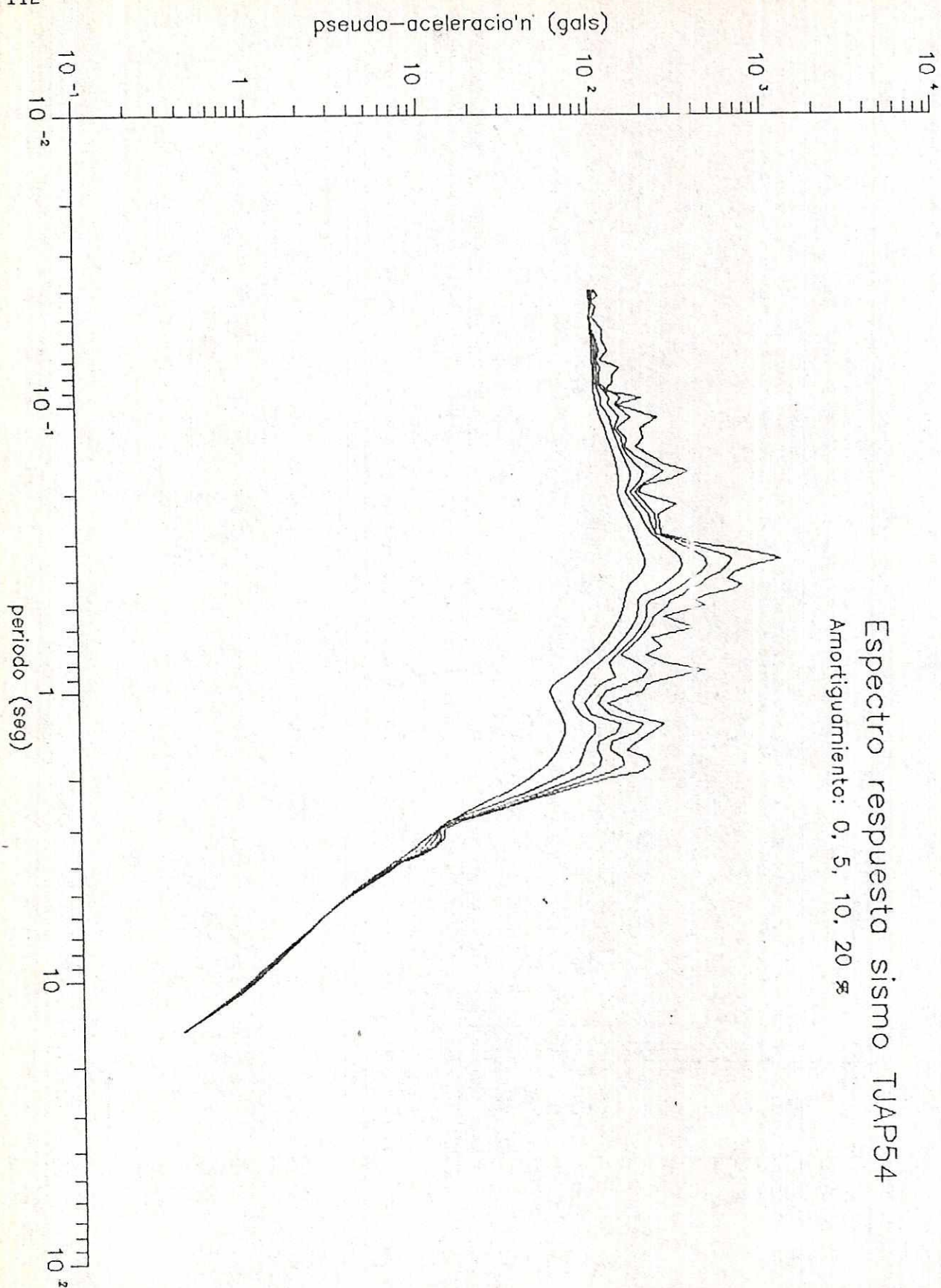
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %



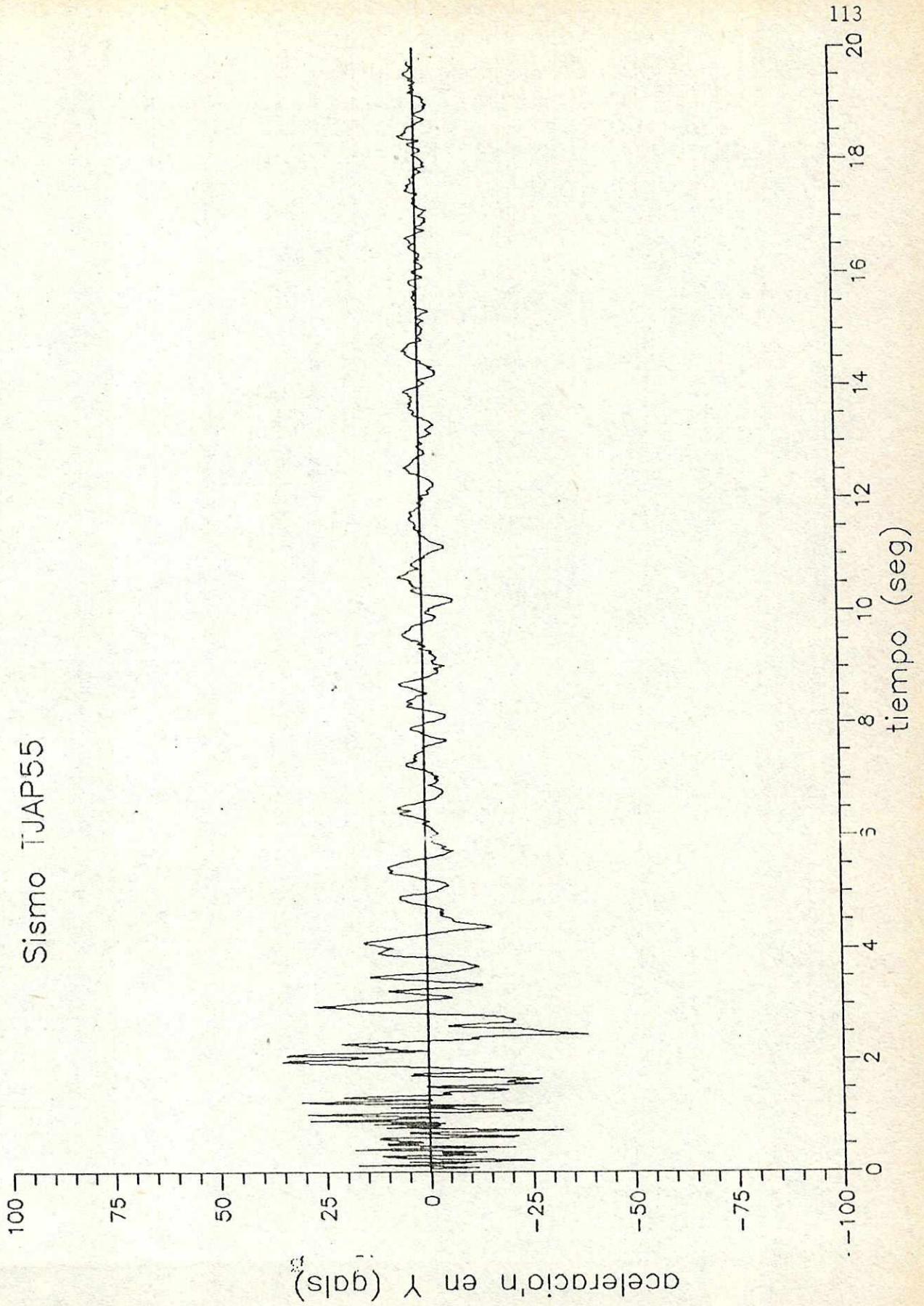
Sismo TJAP54



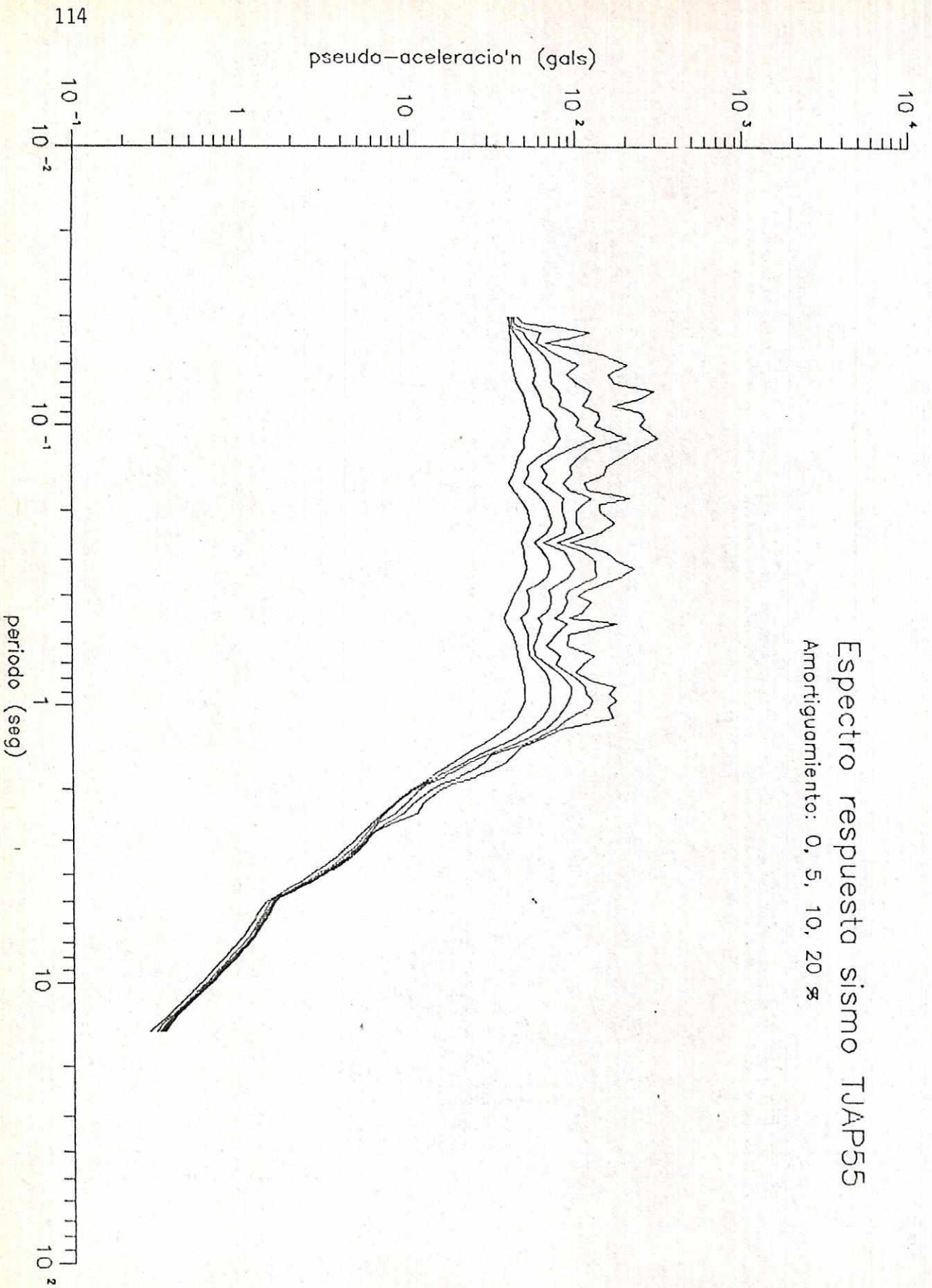
Espectro respuesta sismo TJAP54
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

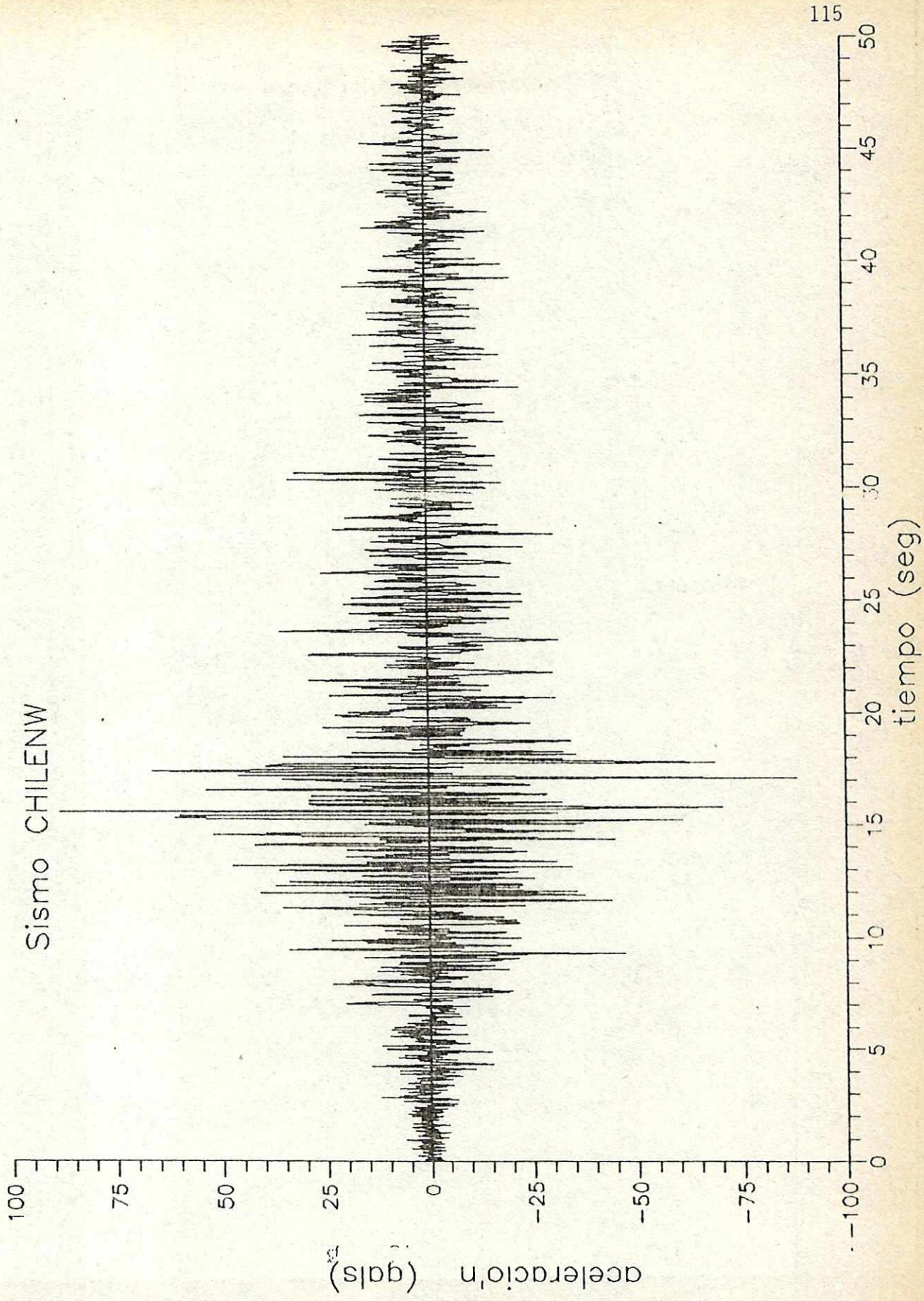


Sismo TJAP55

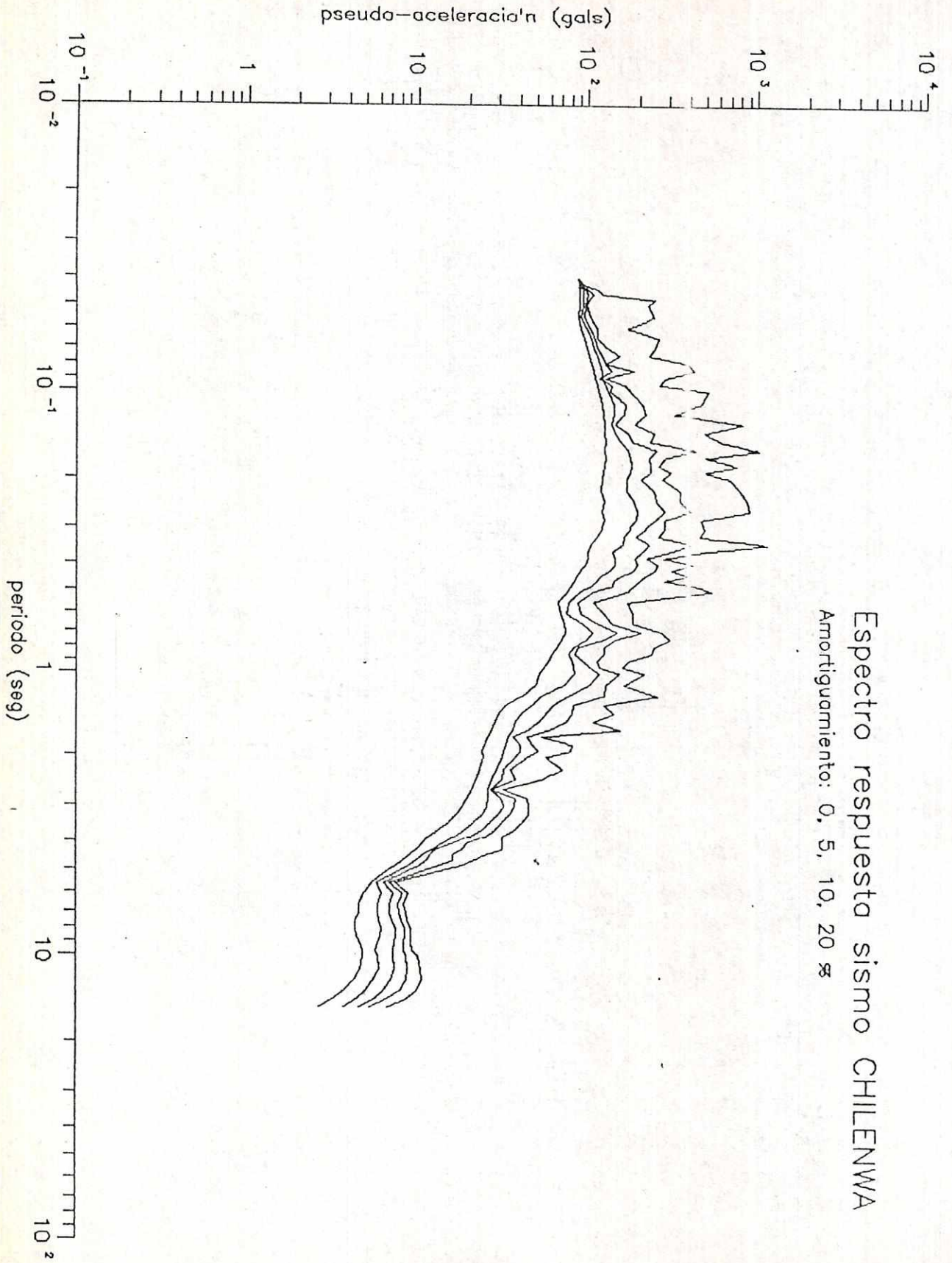


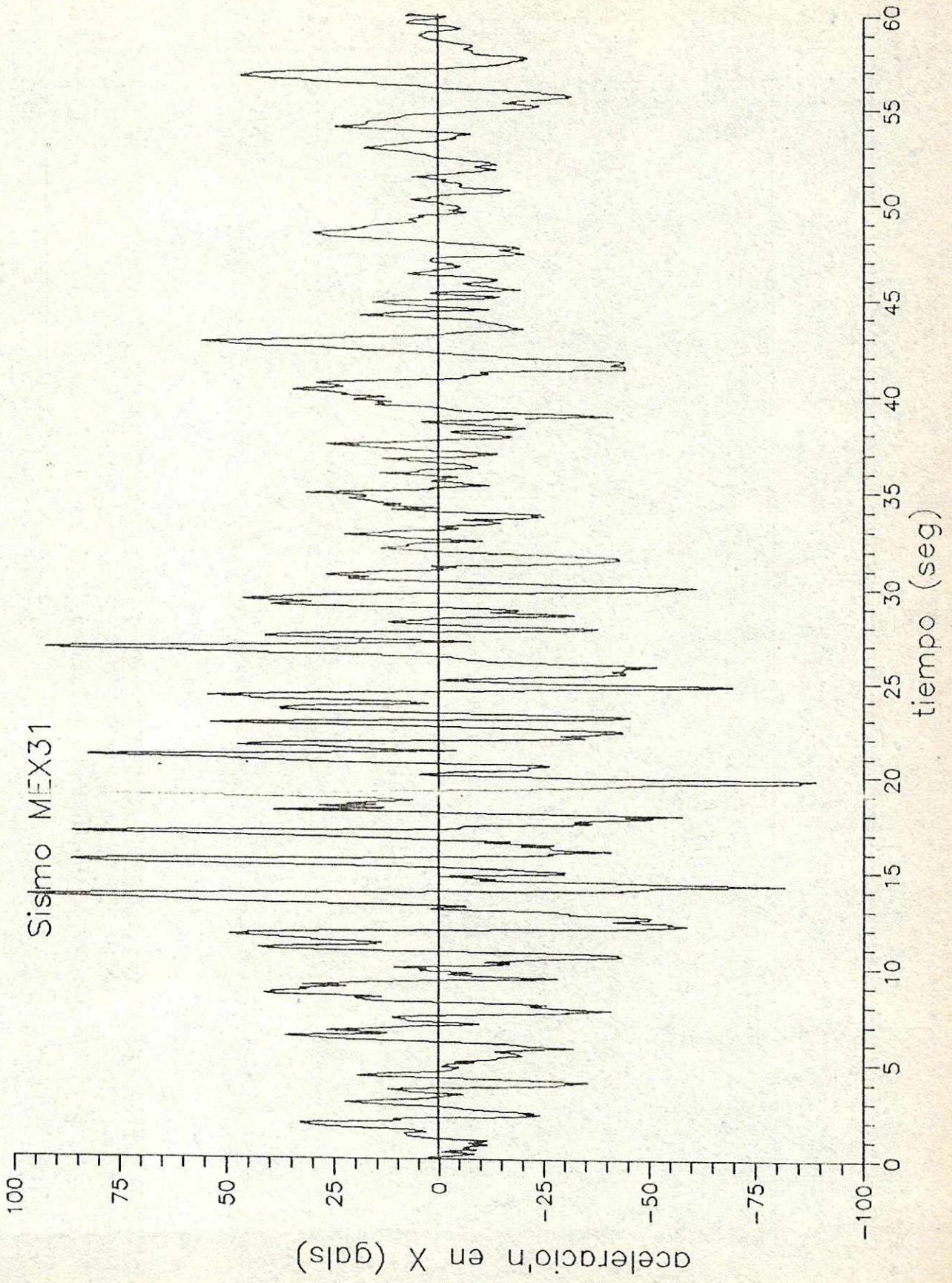
Espectro respuesta sismo TJAP55
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

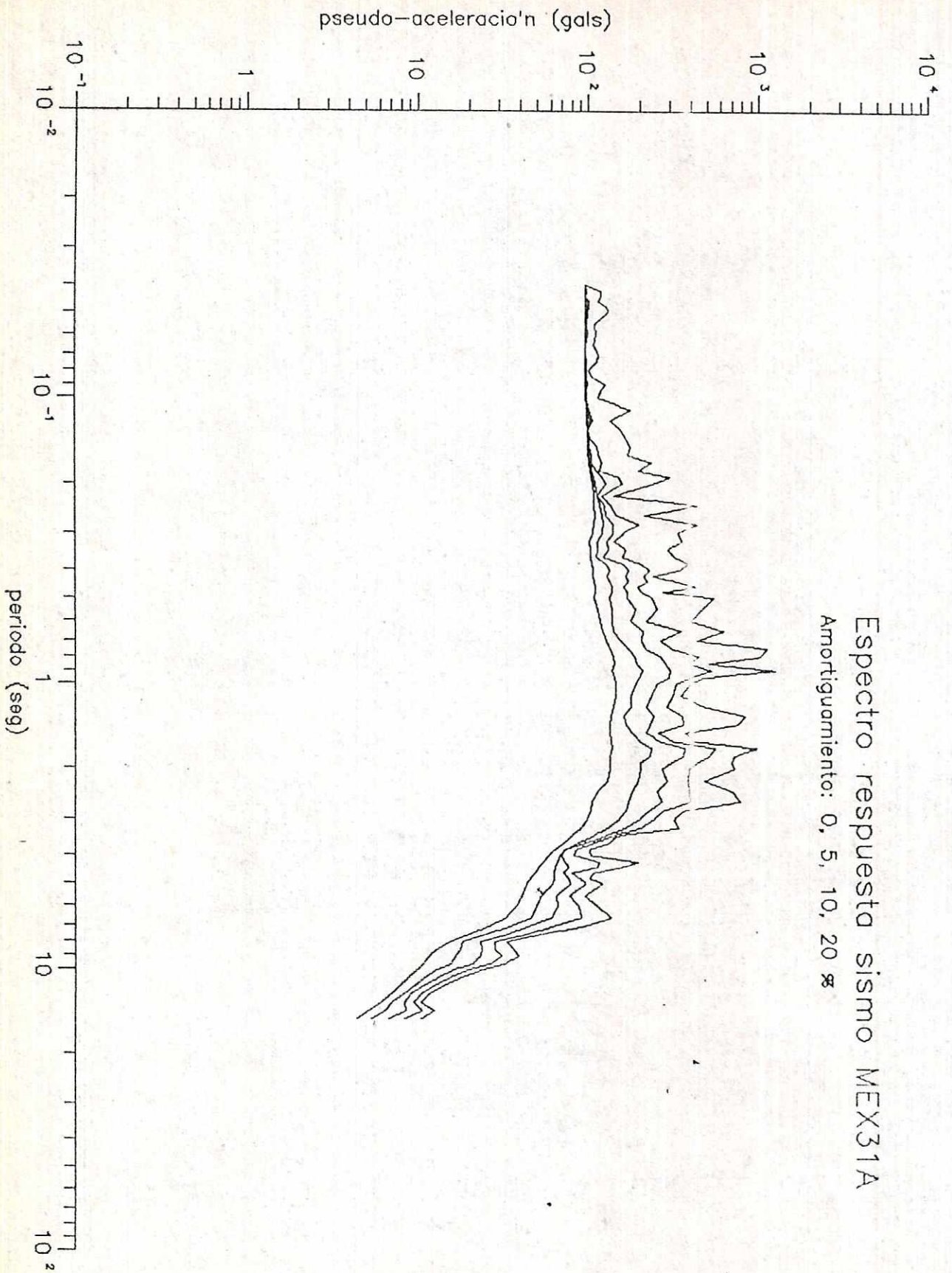




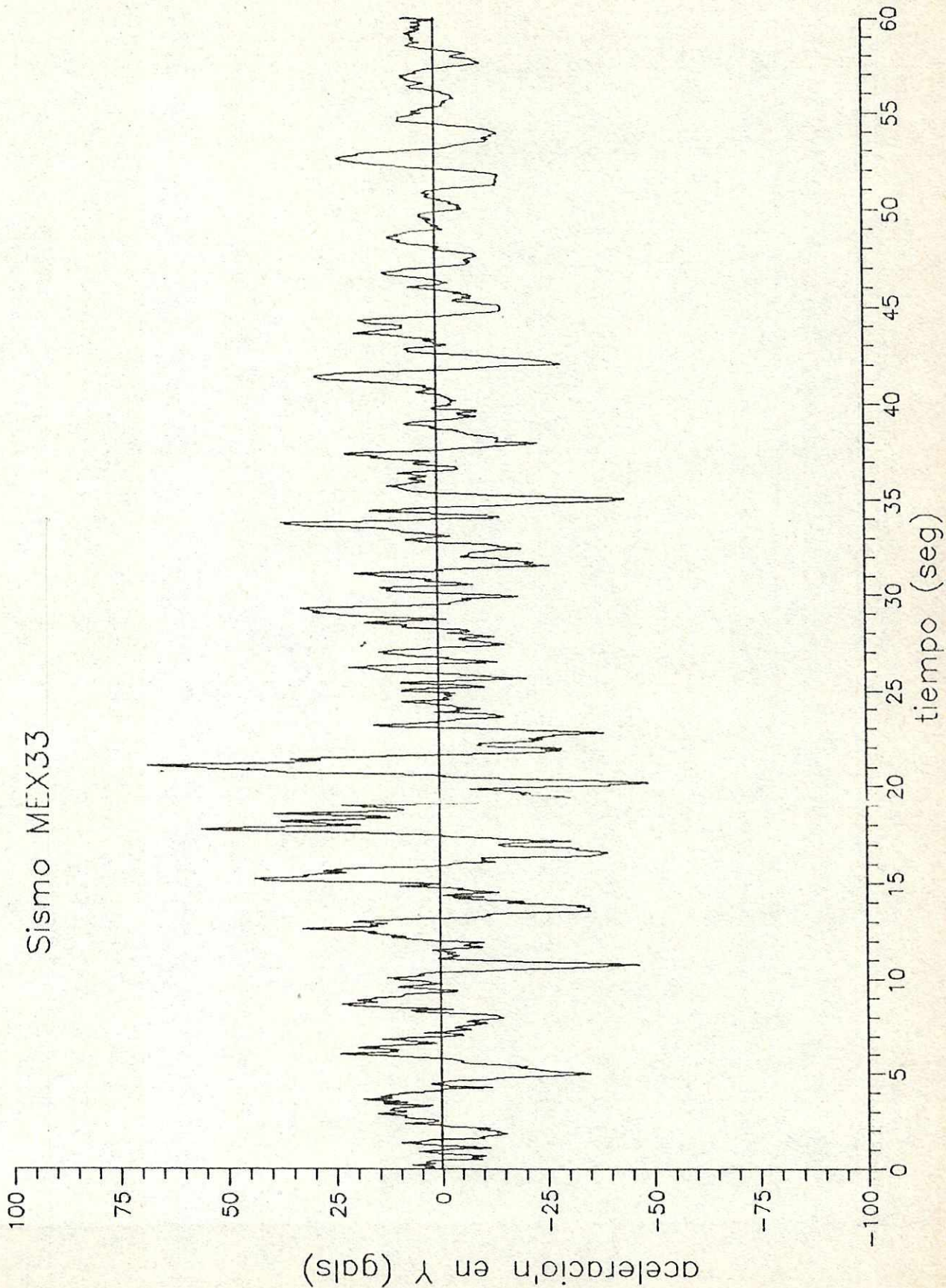
Espectro respuesta sismo CHILENWA
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %



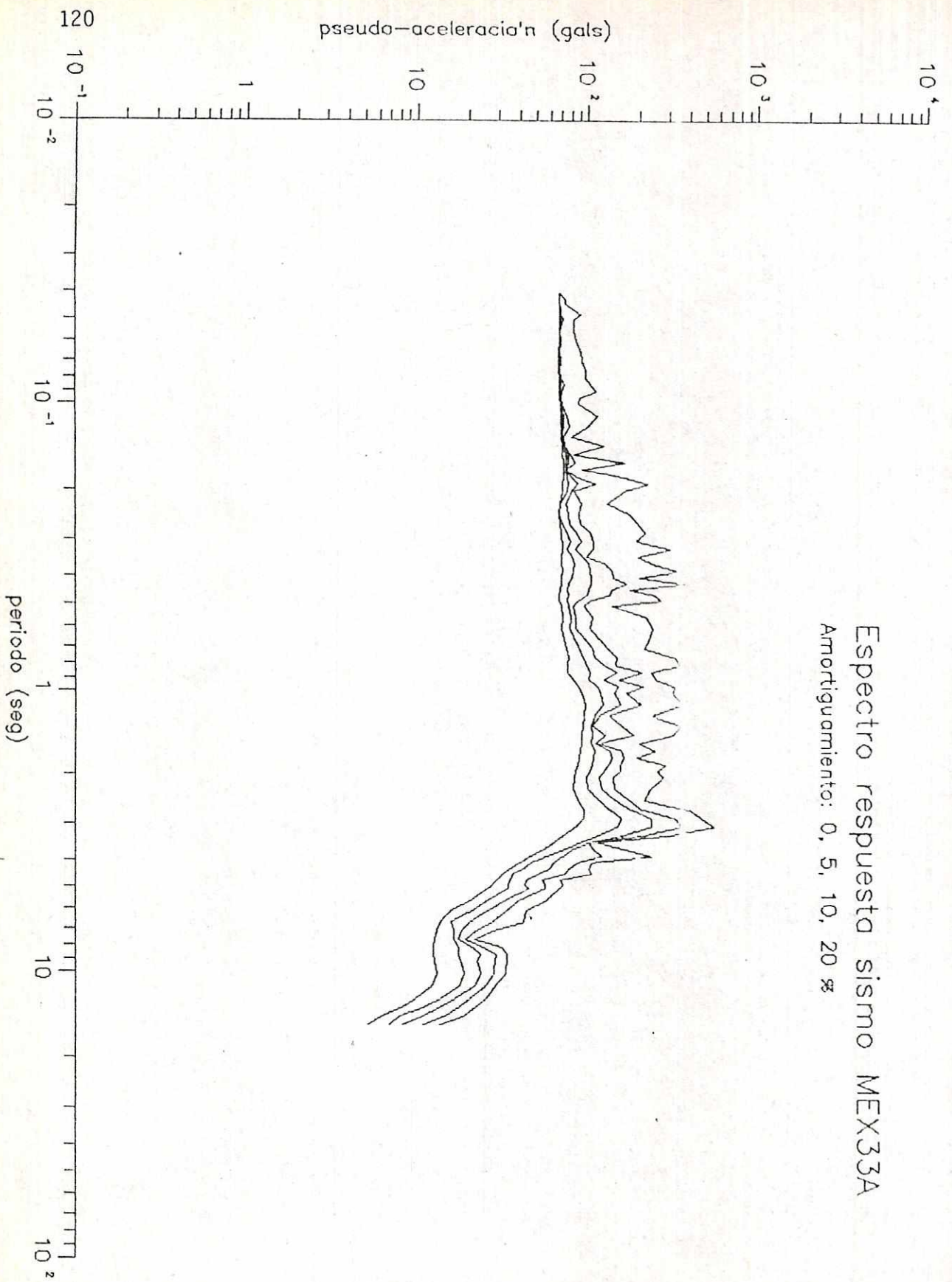


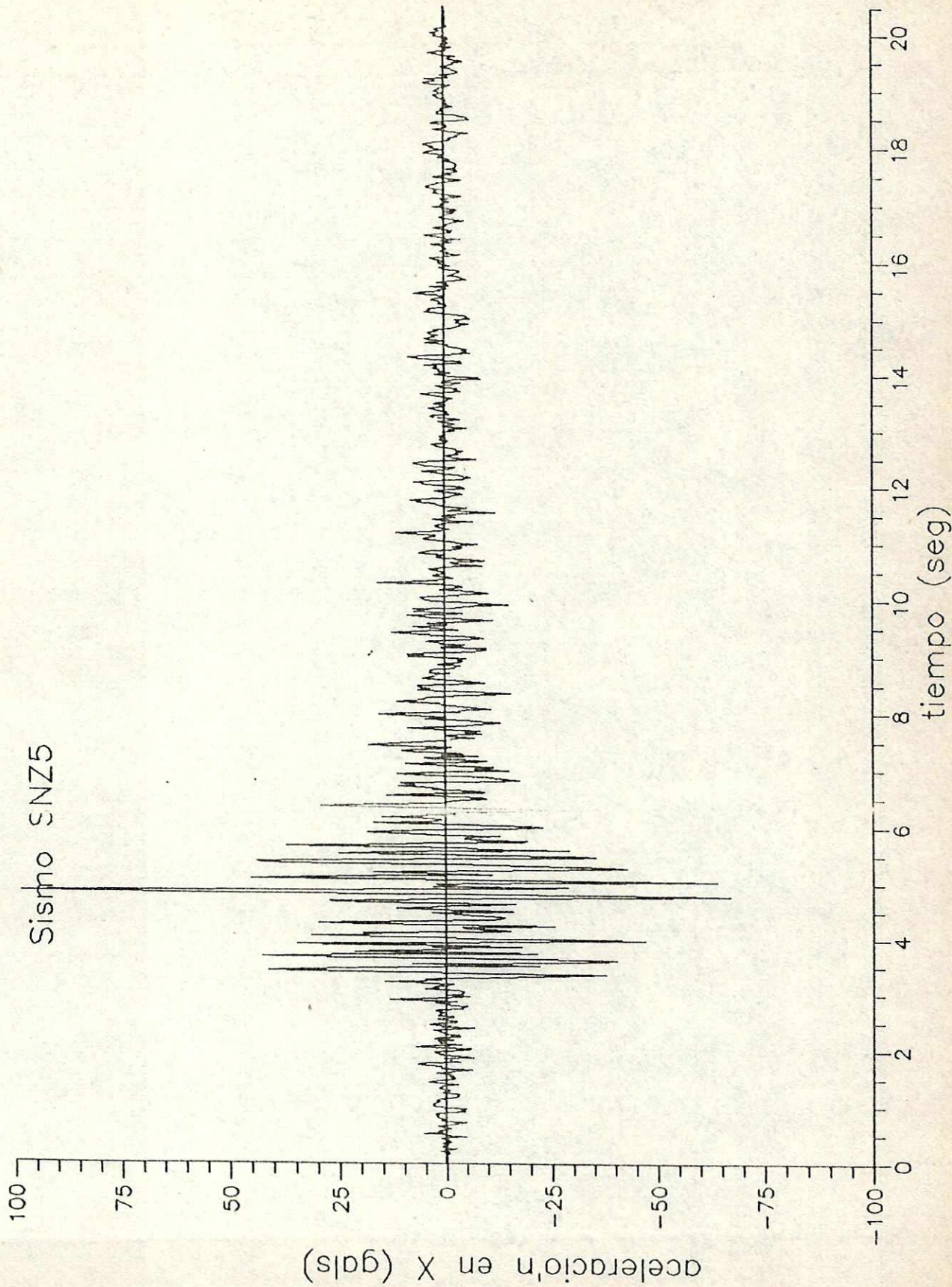


Sismo MEX33

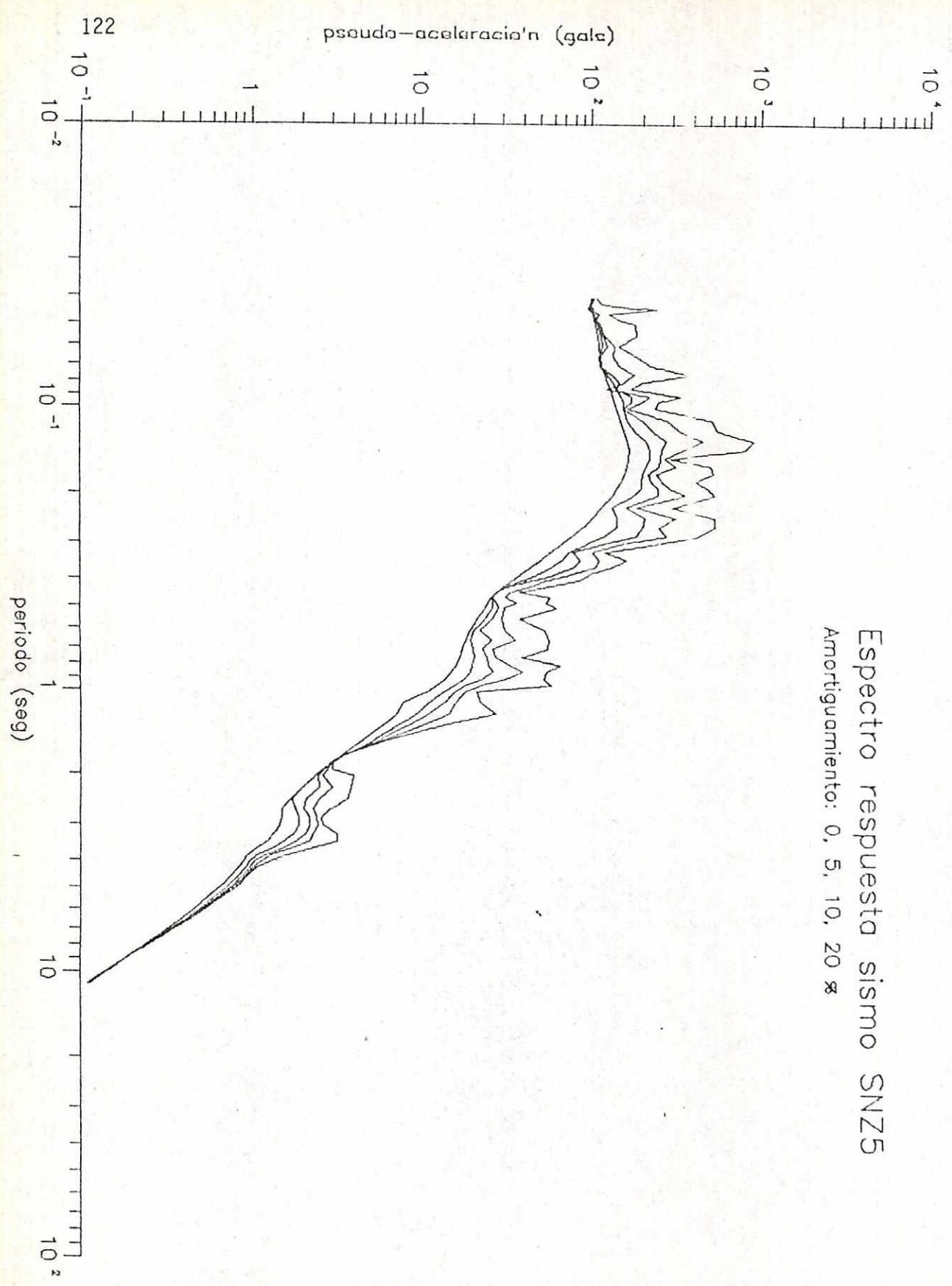


Espectro respuesta sismo MEX33A
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

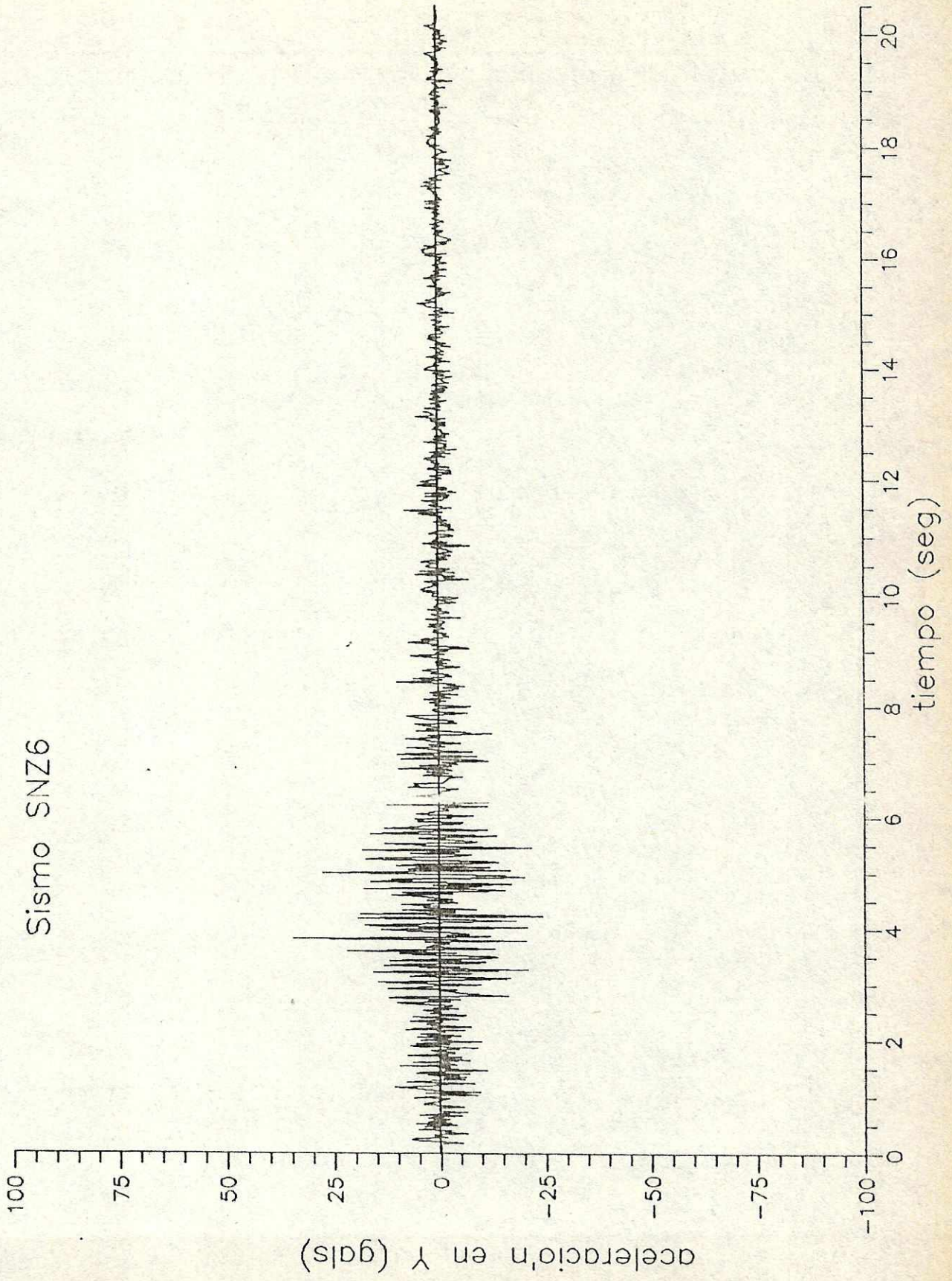




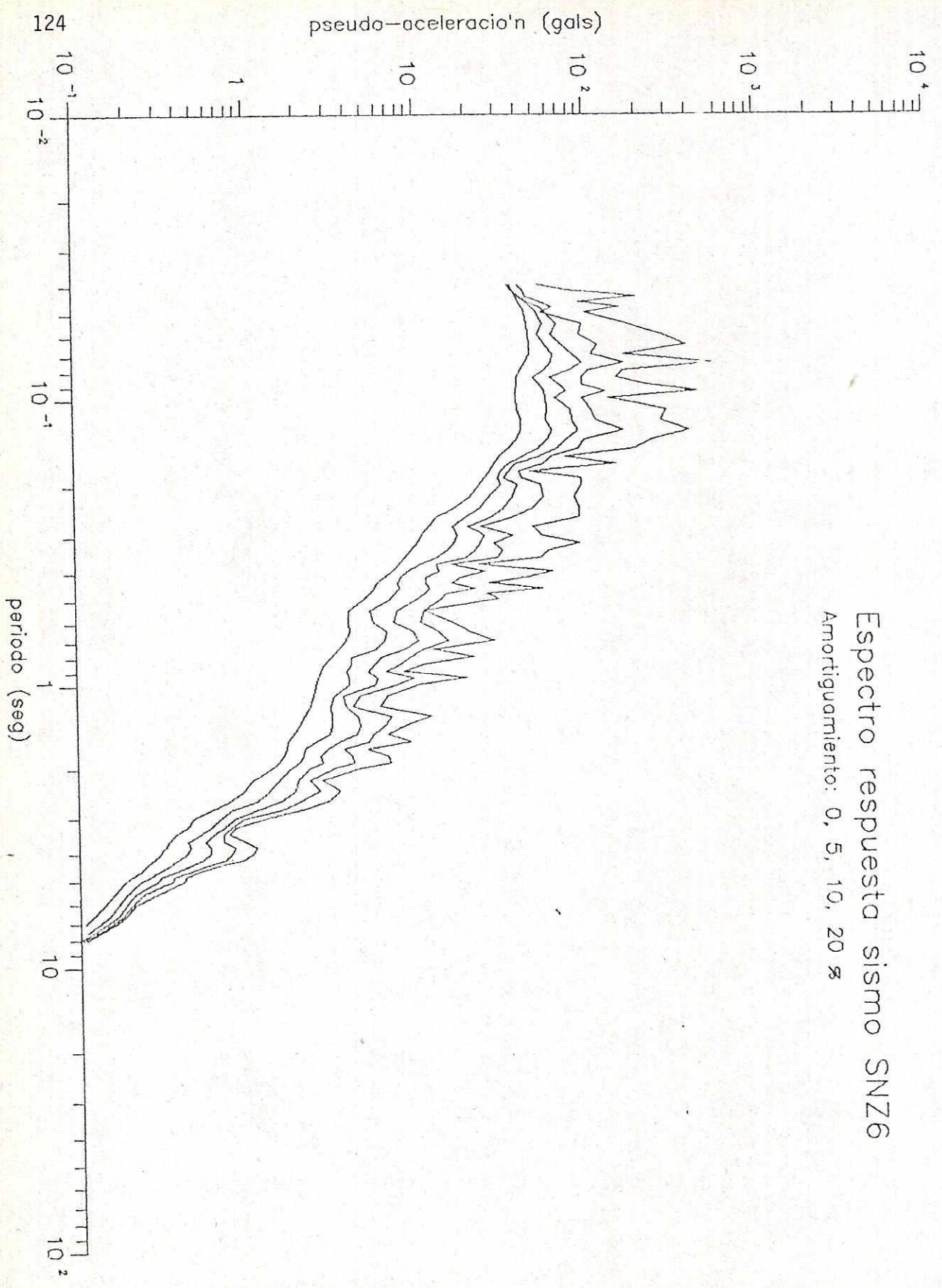
Espectro respuesta sismo SNZ5
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %



Sismo SNZ6

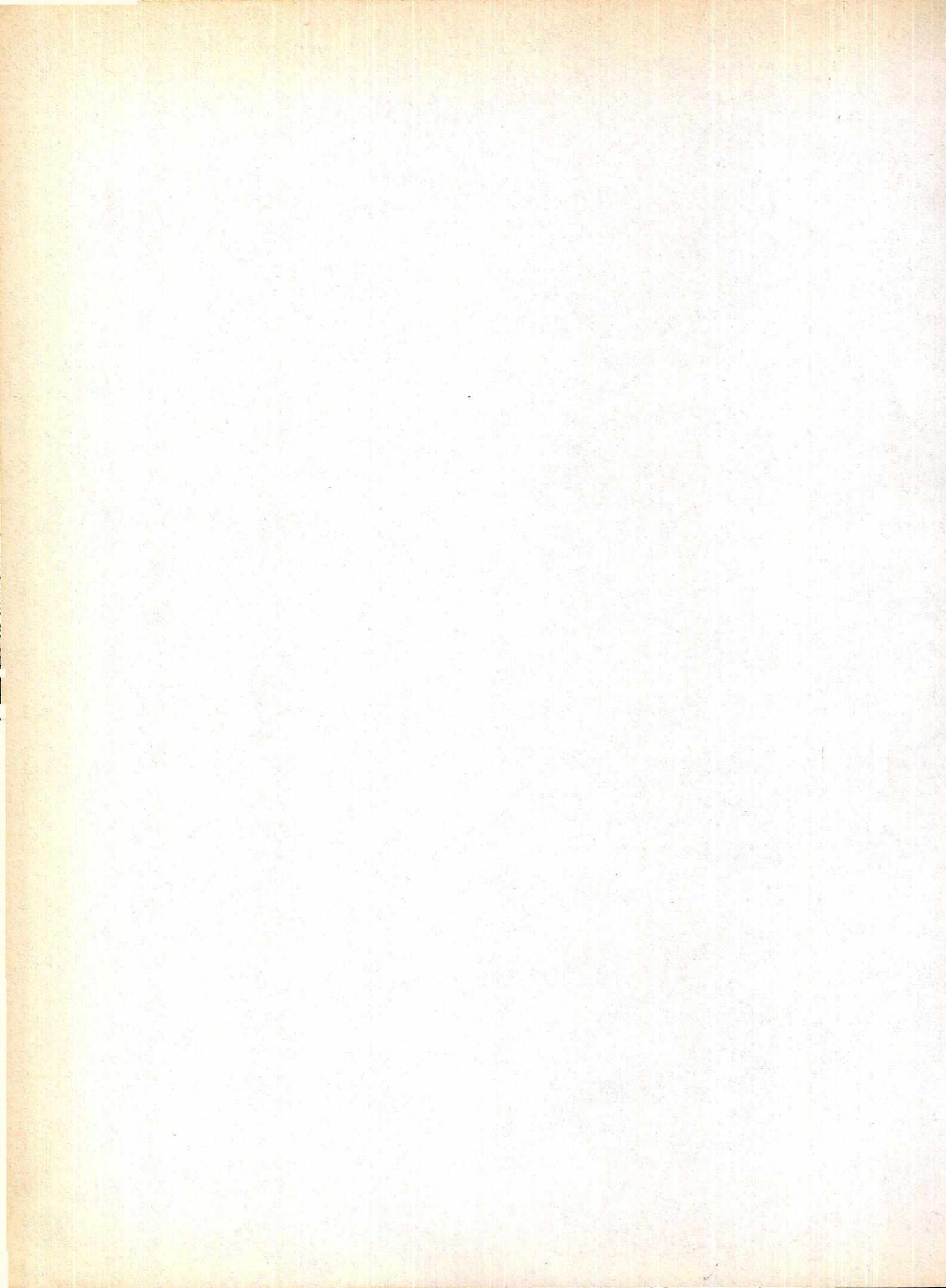


Espectro respuesta sismo SNZ6
Amortiguamiento: 0, 5, 10, 20 %

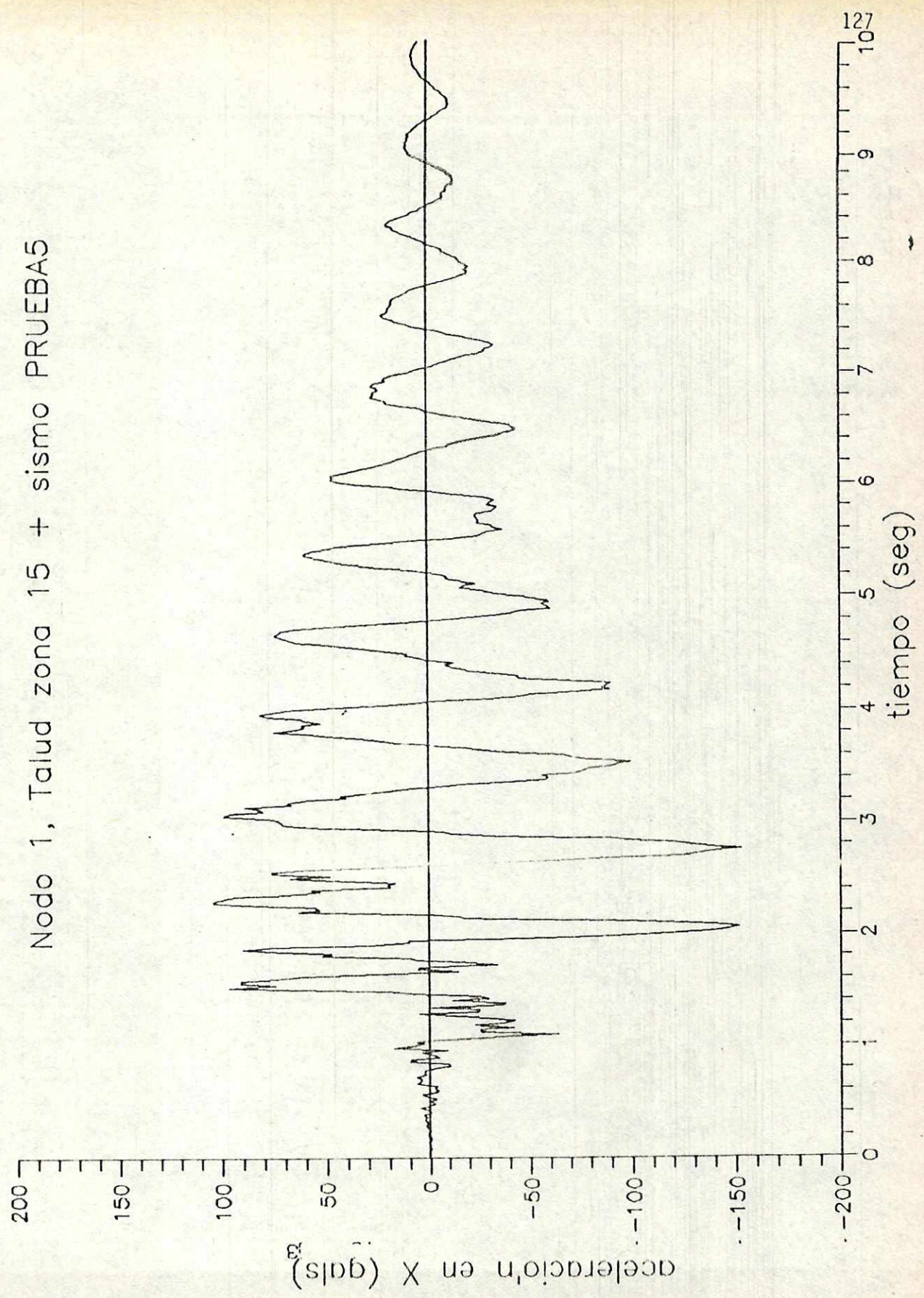


APENDICE E

Gráficas de la aceleración en X y Y y sus espectros para los nodos 1 y 42.



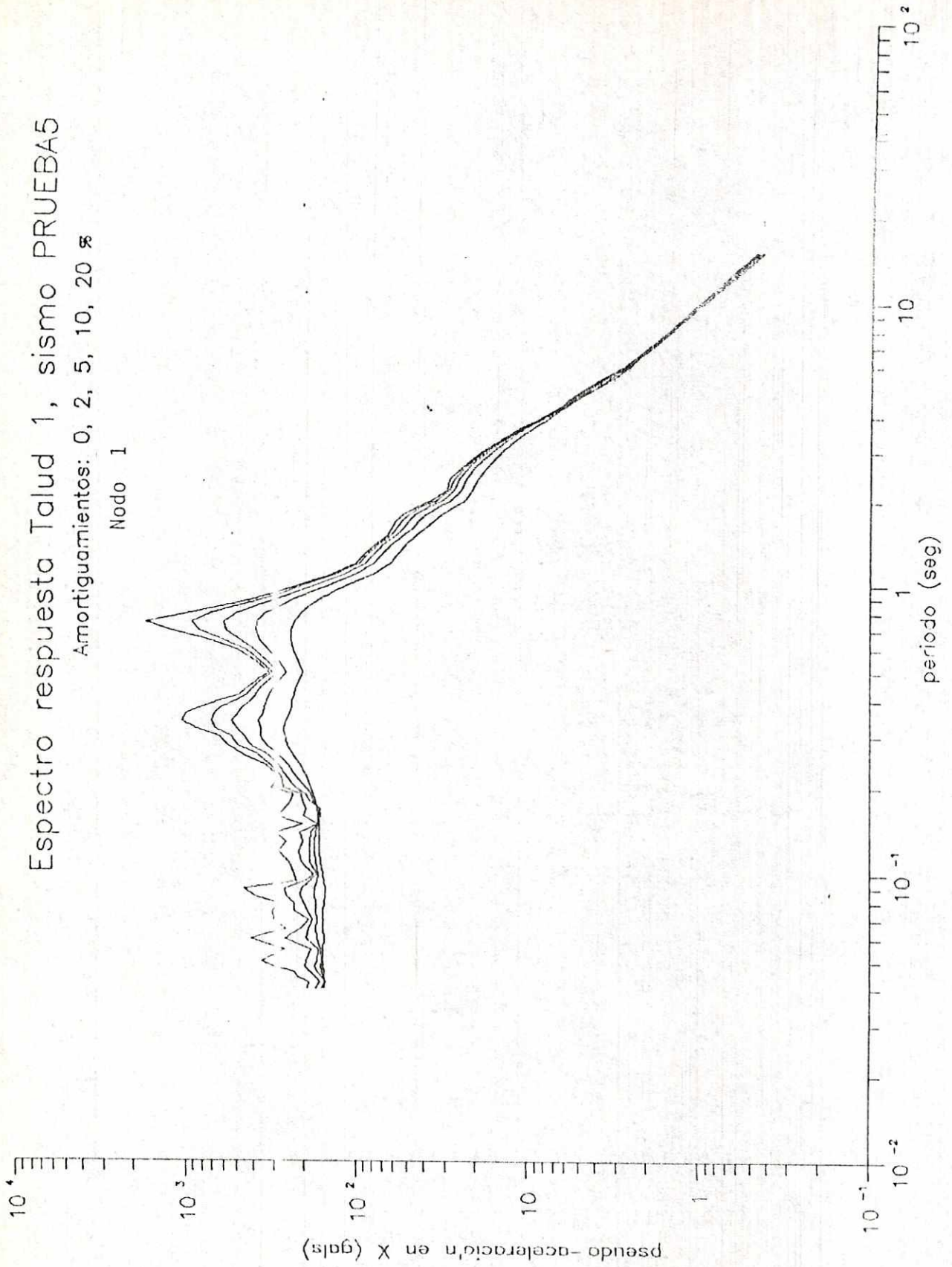
Nodo 1, Talud zona 15 + sismo PRUEBA5



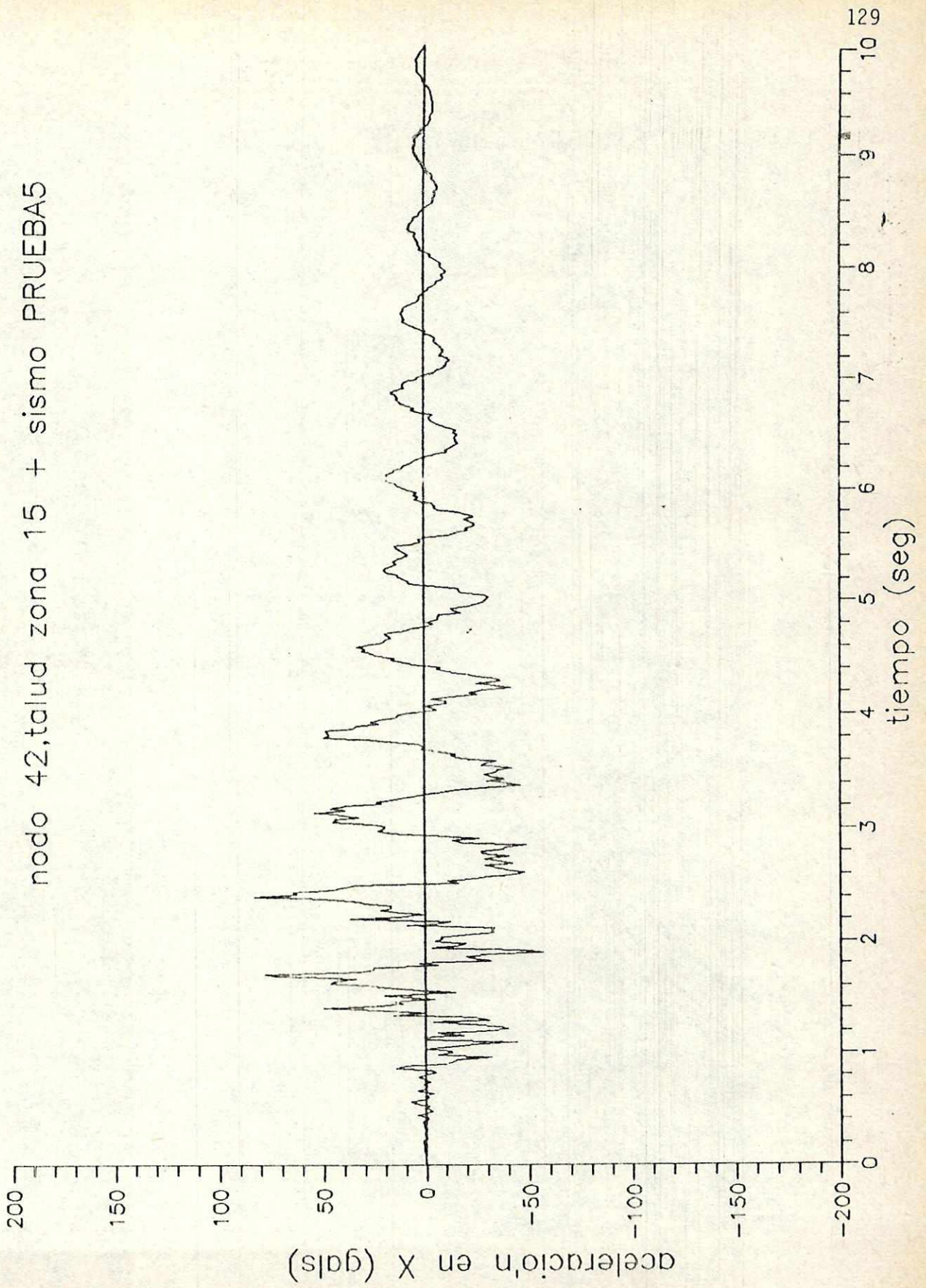
Espectro respuesta Talud 1, sismo PRUEBA5

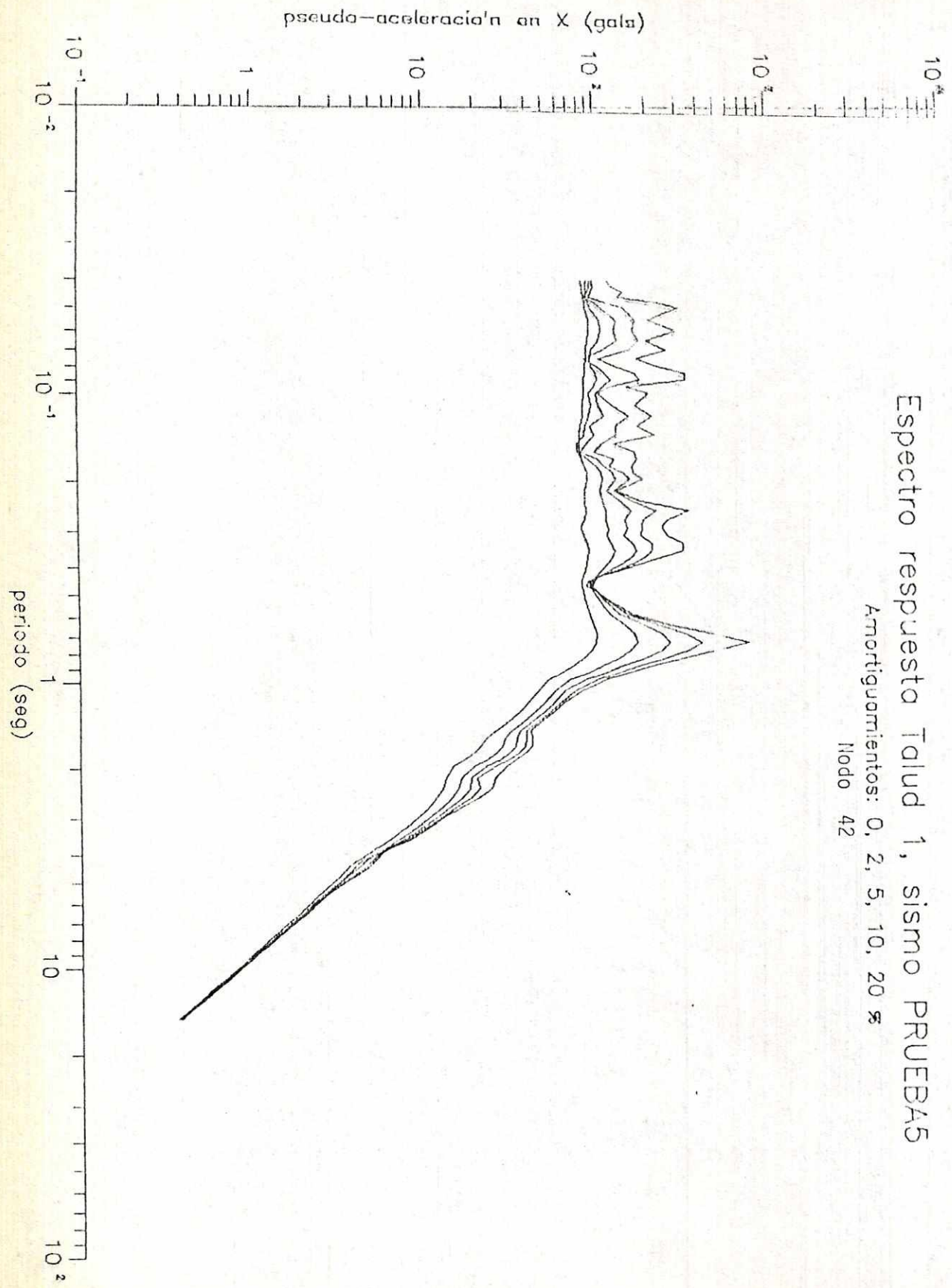
Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

Nodo 1



nodo 42,talud zona 15 + sismo PRUEBA5

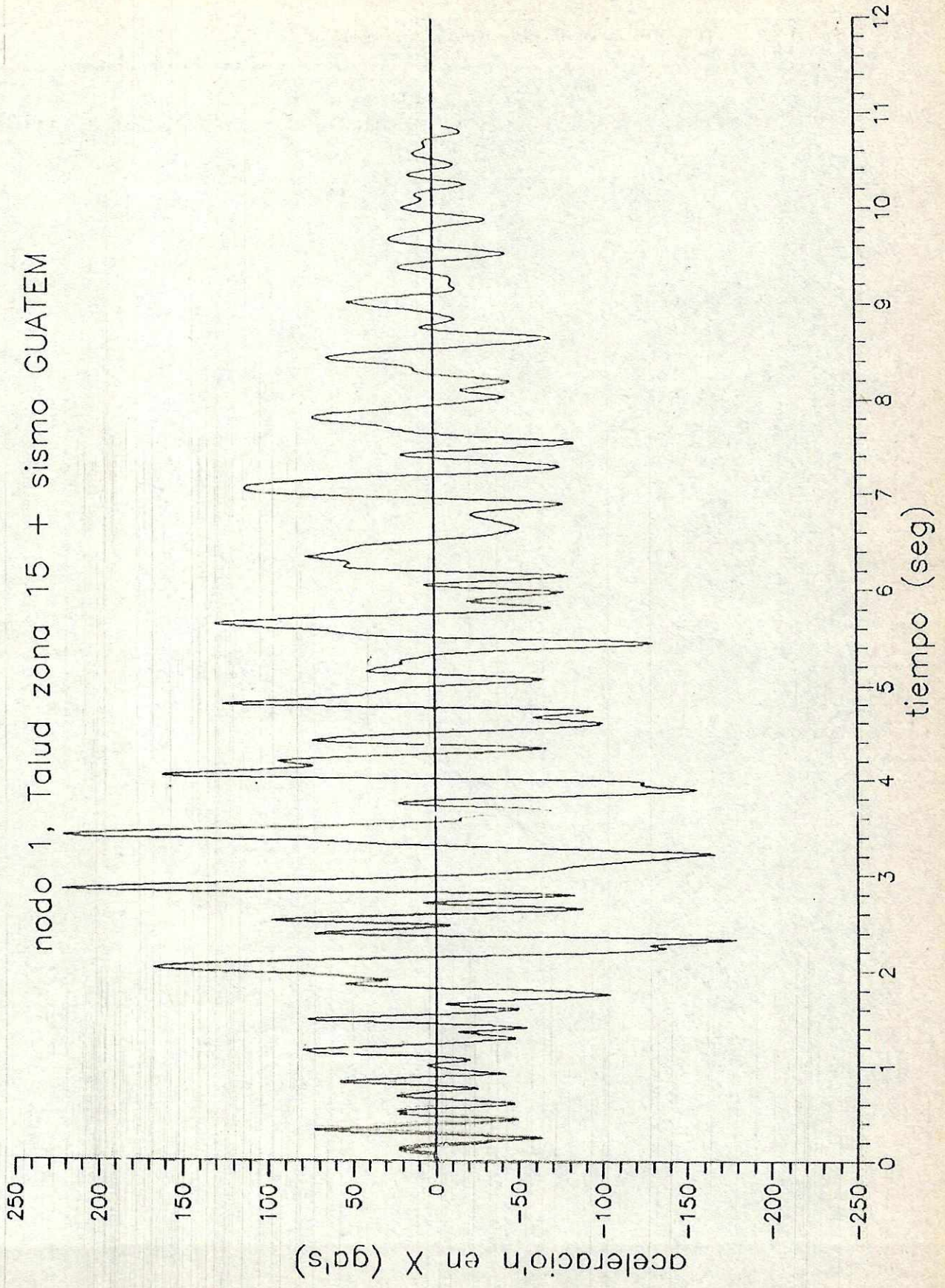


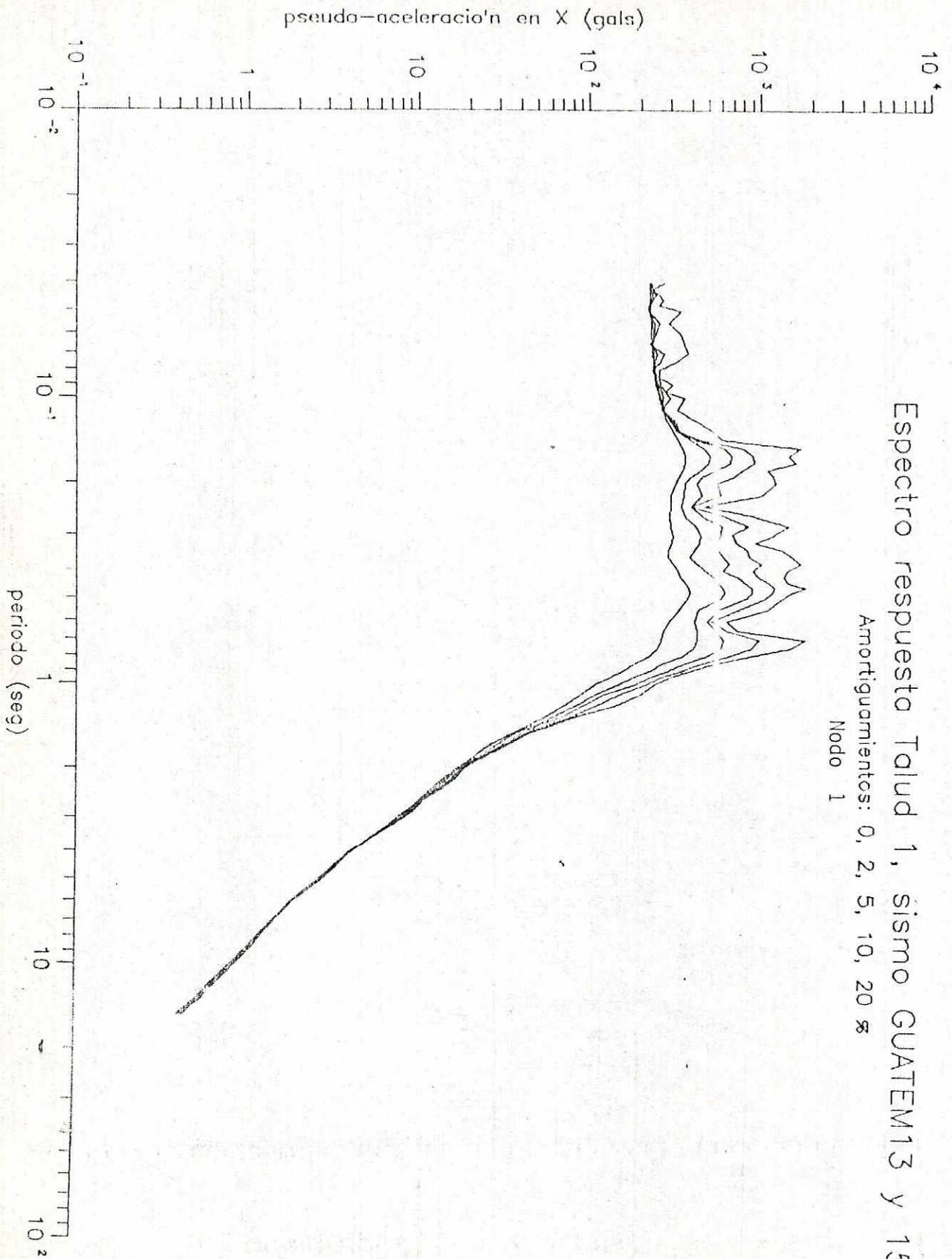


Espectro respuesta Talud 1, sismo PRUEBA5

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %
Modo 42

nodo 1, Talud zona 15 + sismo GUATEM



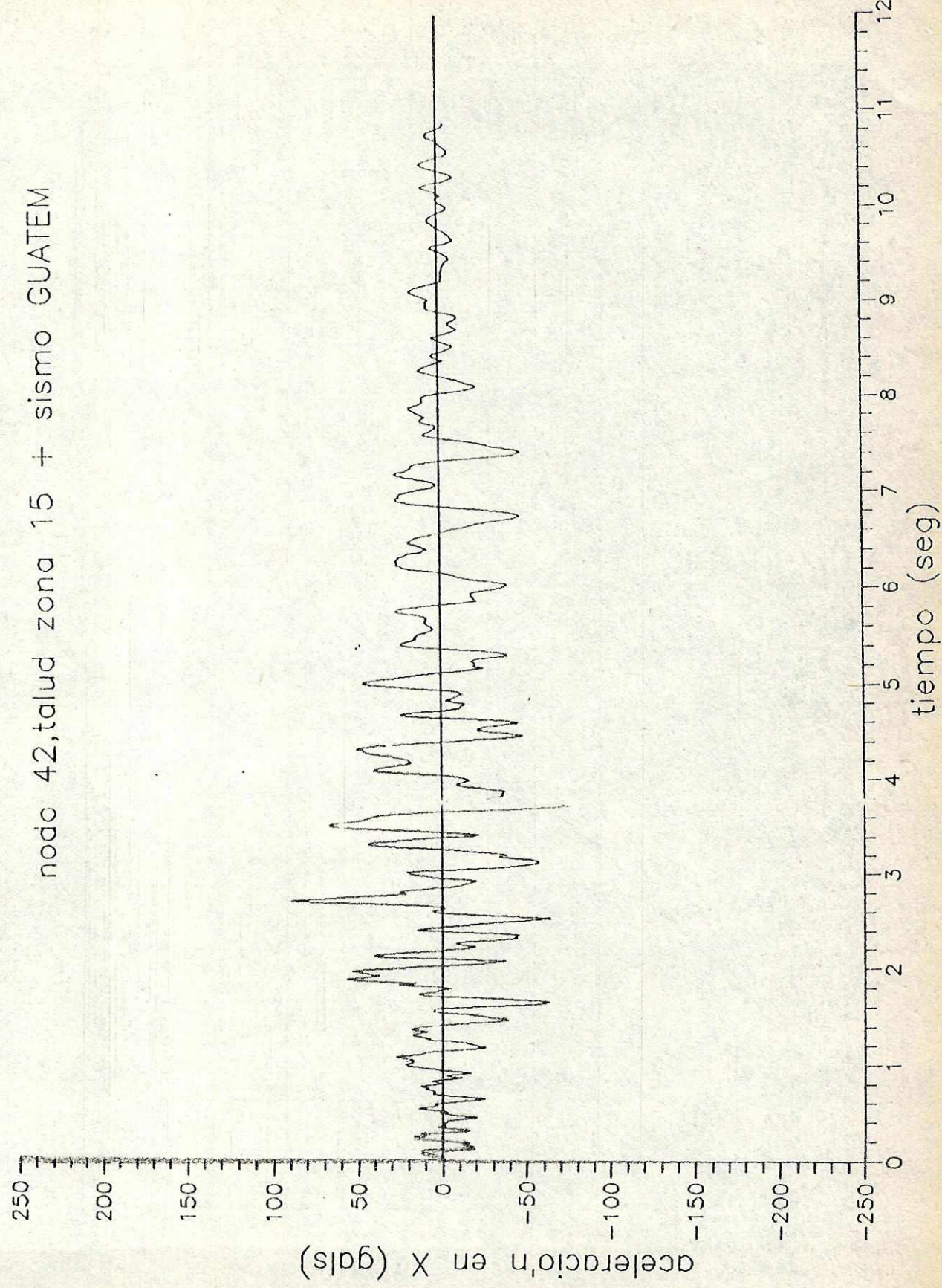


Espectro respuesta Talud 1, sismo GUATEM13 y 15

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

Nodo 1

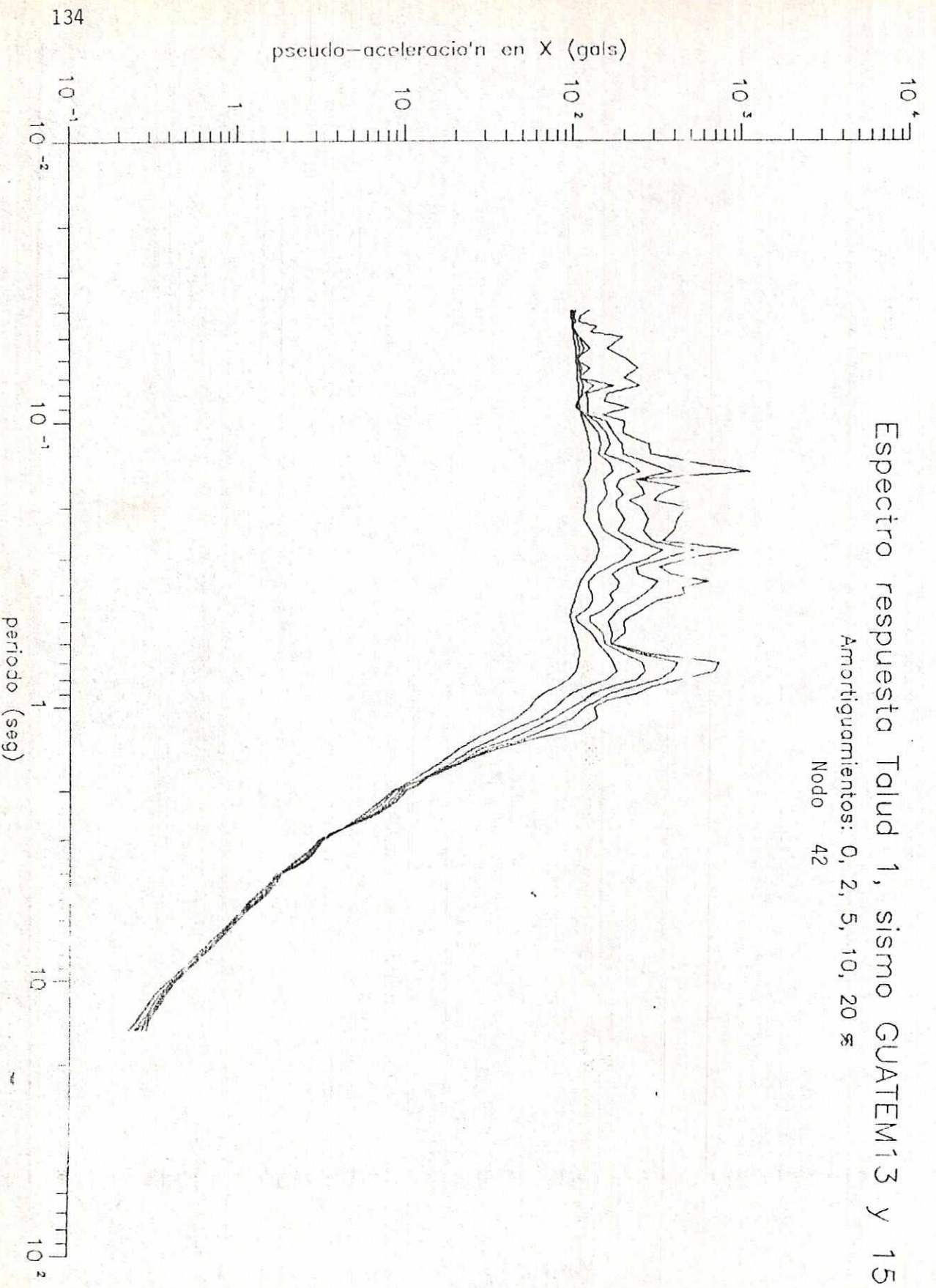
nodo 42, talud zona 15 + sismo GUATEM

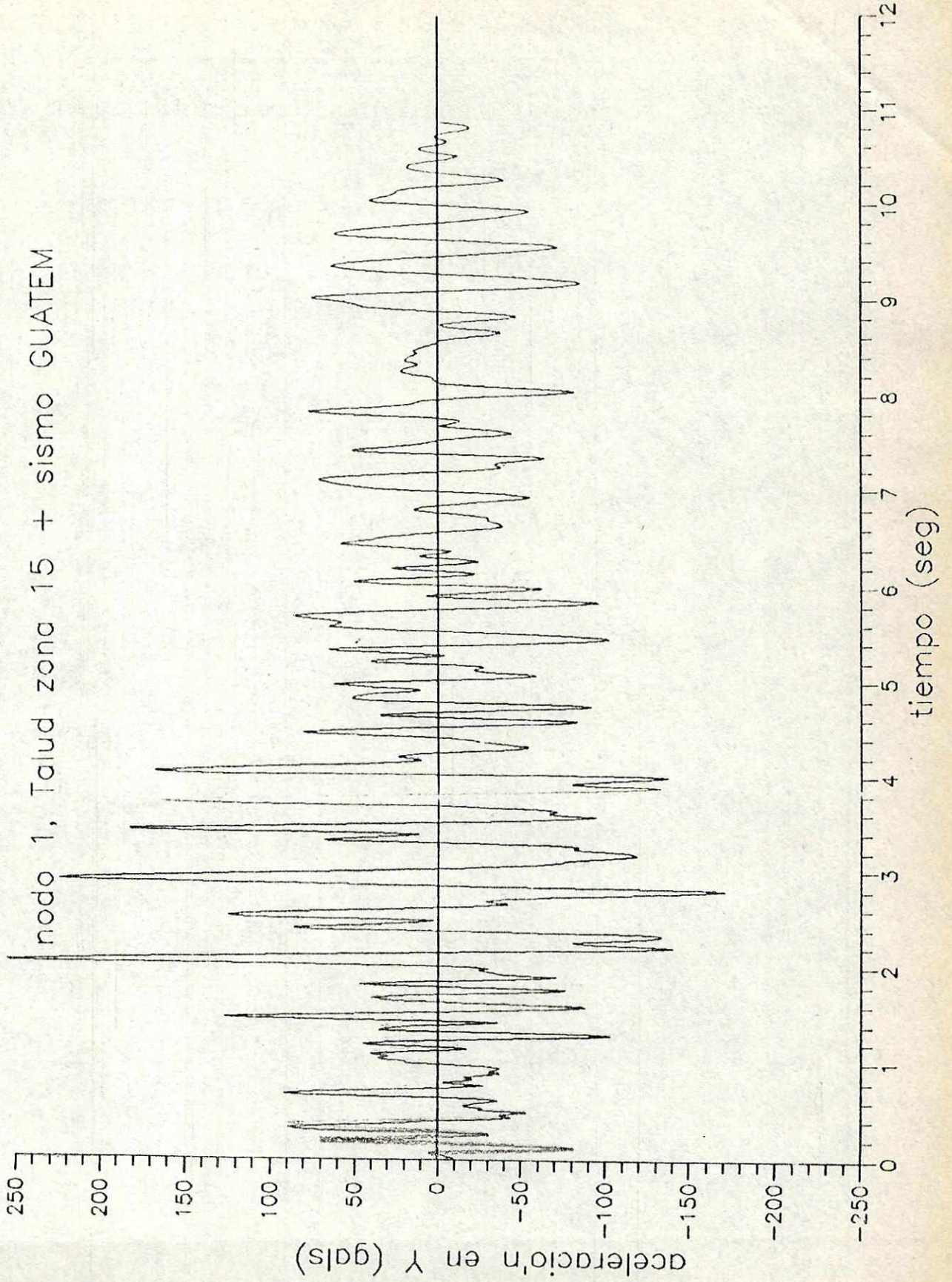


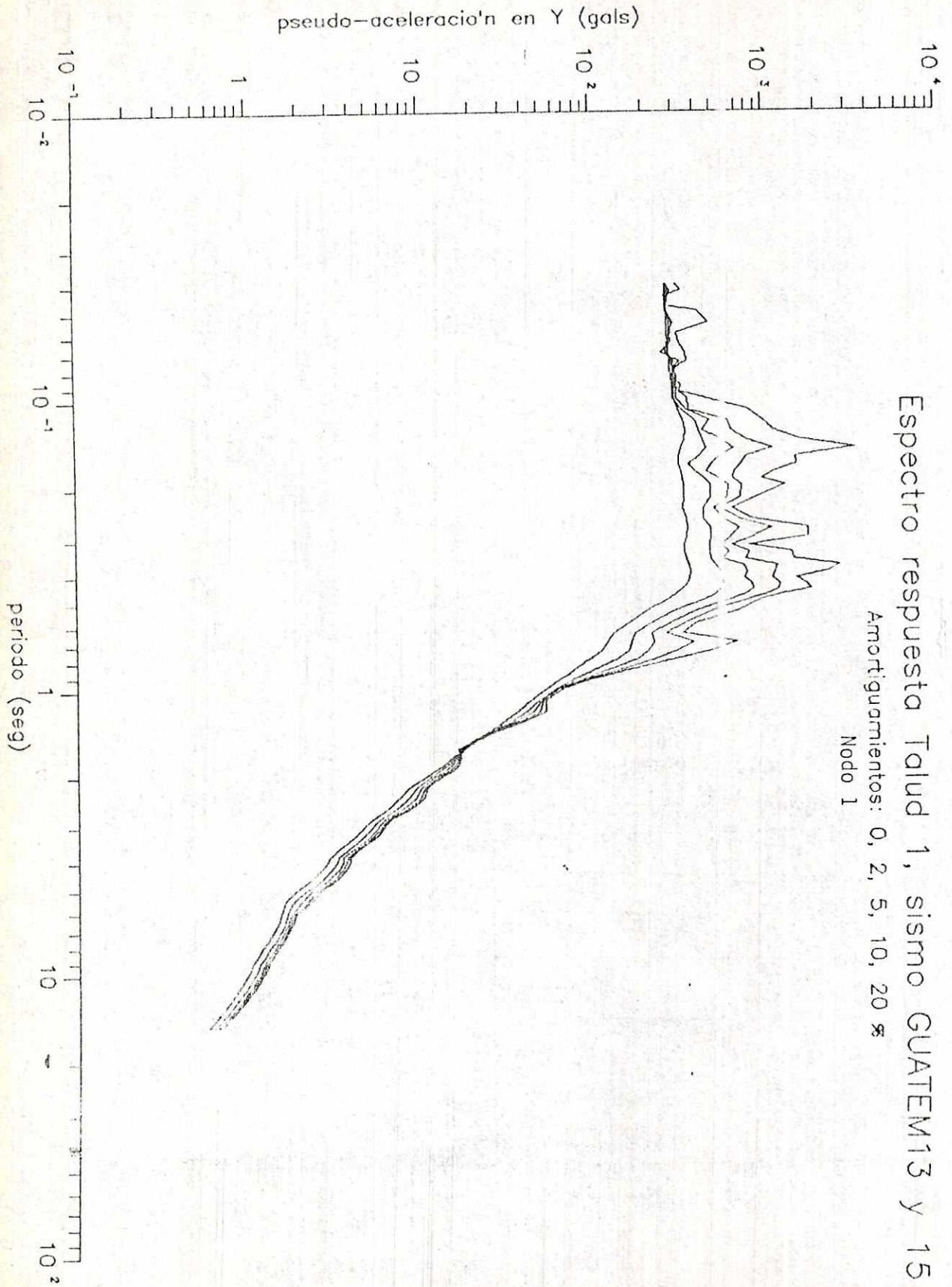
Espectro respuesta Talud 1, sismo GUATEM13 y 15

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

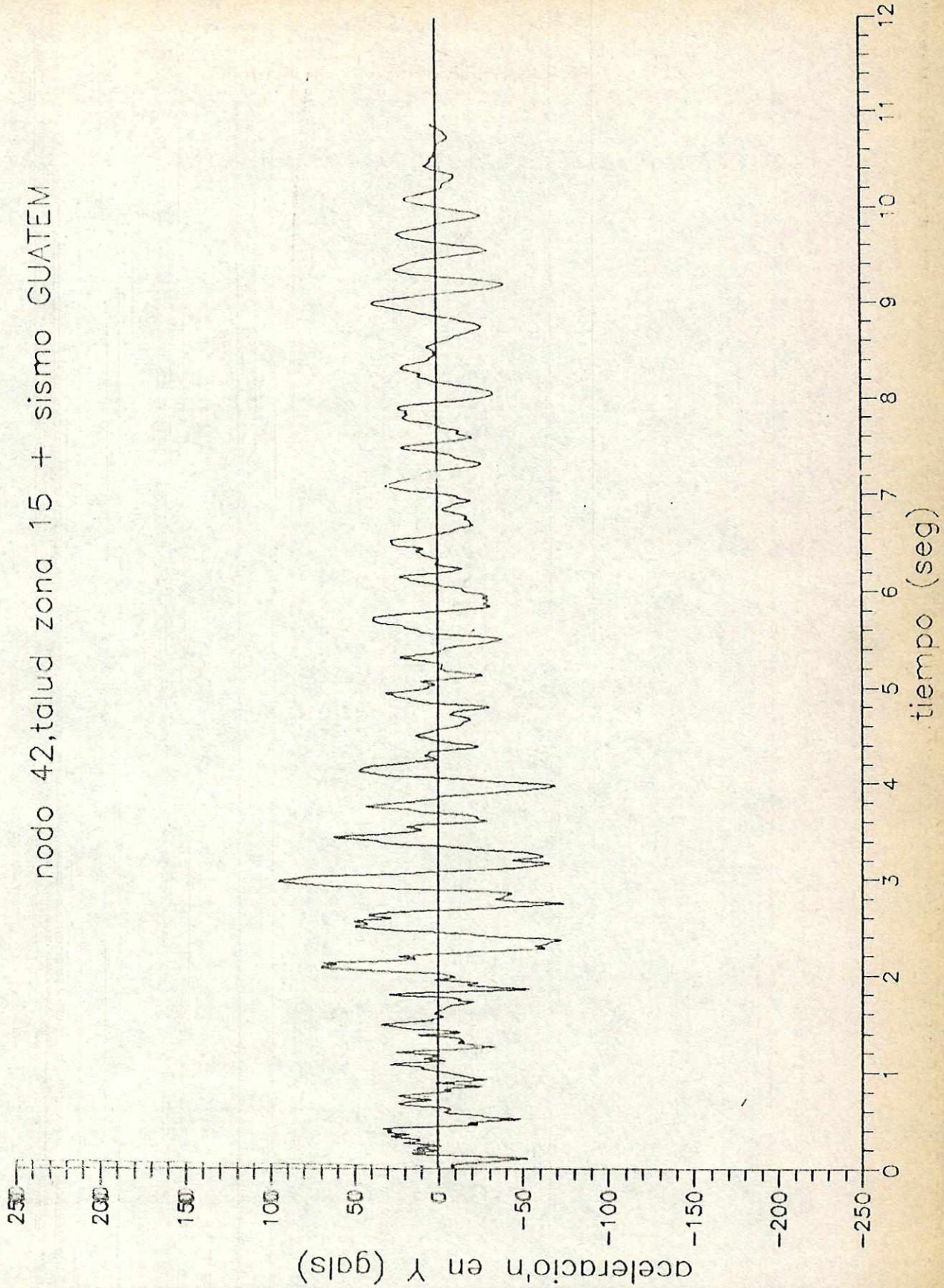
Nodo 42

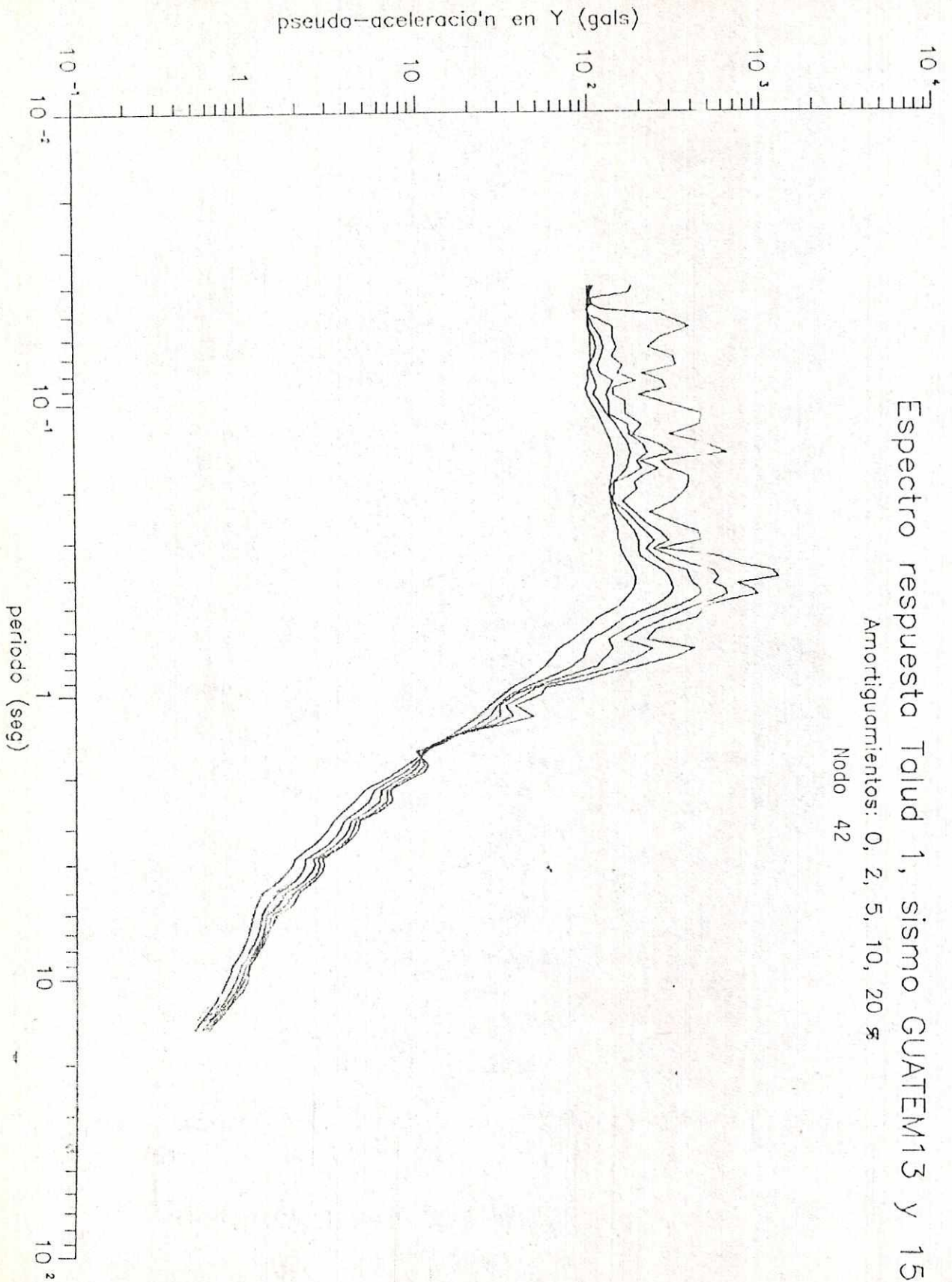




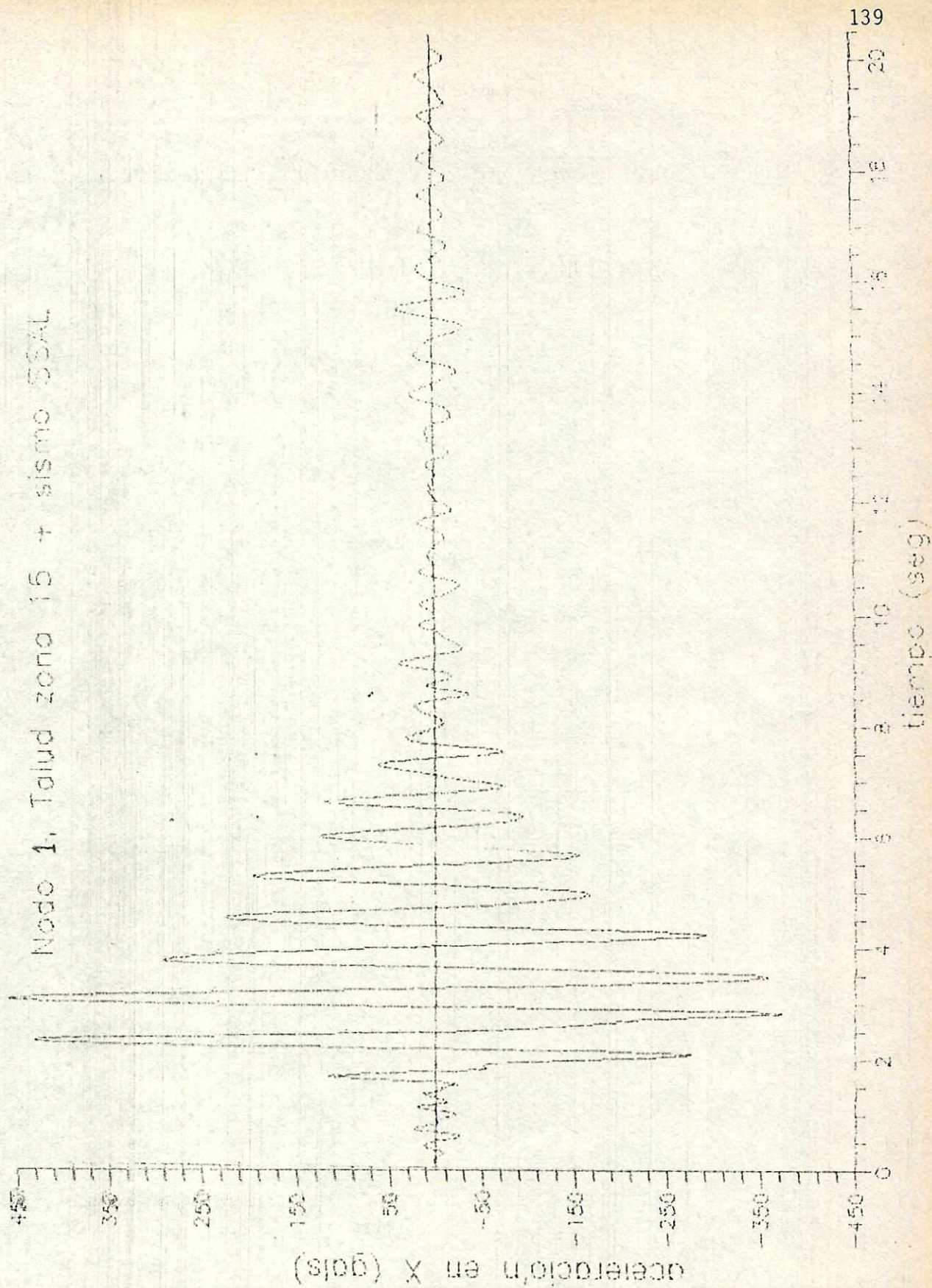


nodo 42, talud zona 15 + sismo GUATEM



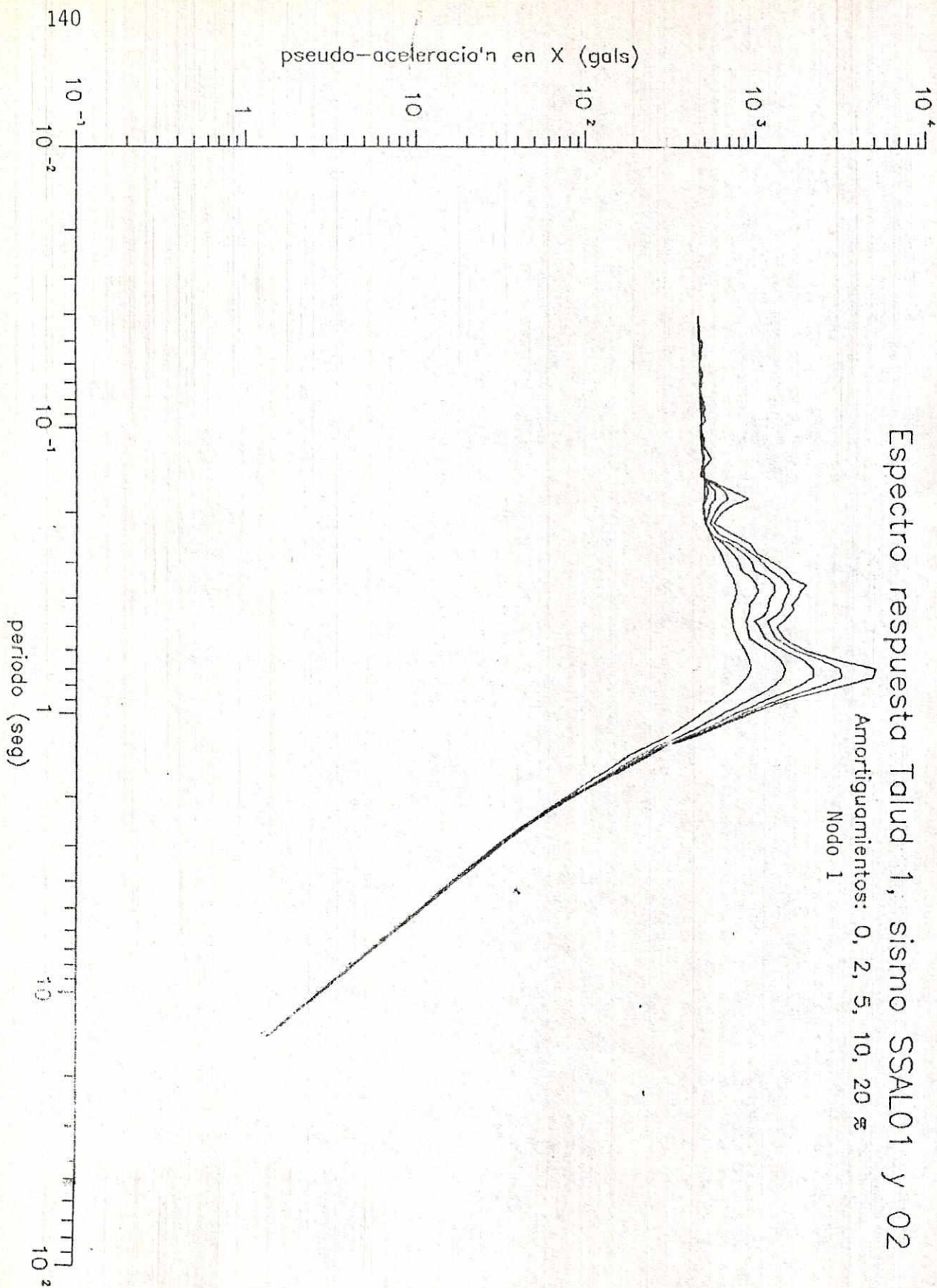


Node 1, Talud zona 15 + sismo SSAL

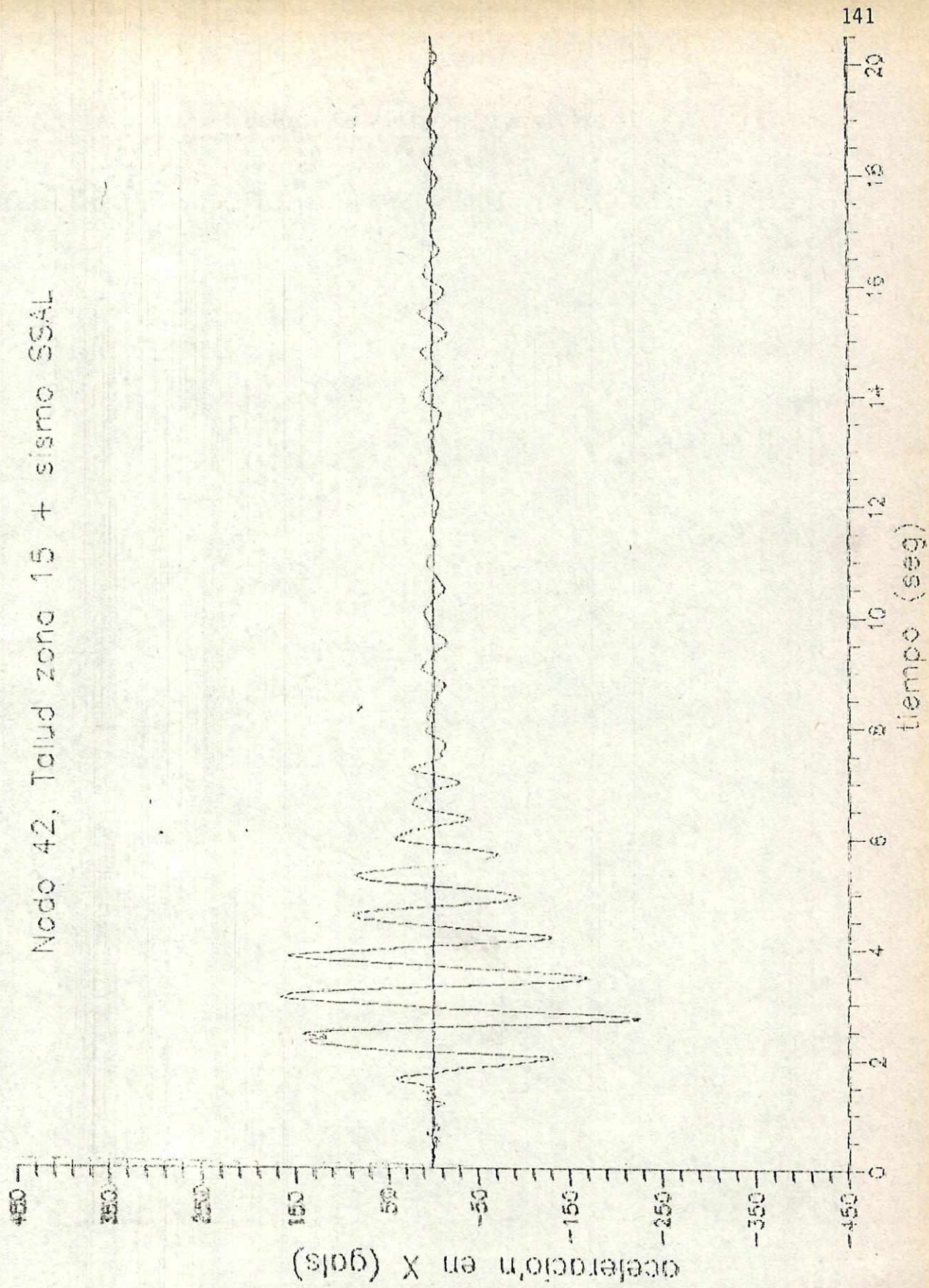


Espectro respuesta Talud 1, sismo SSAL01 y 02

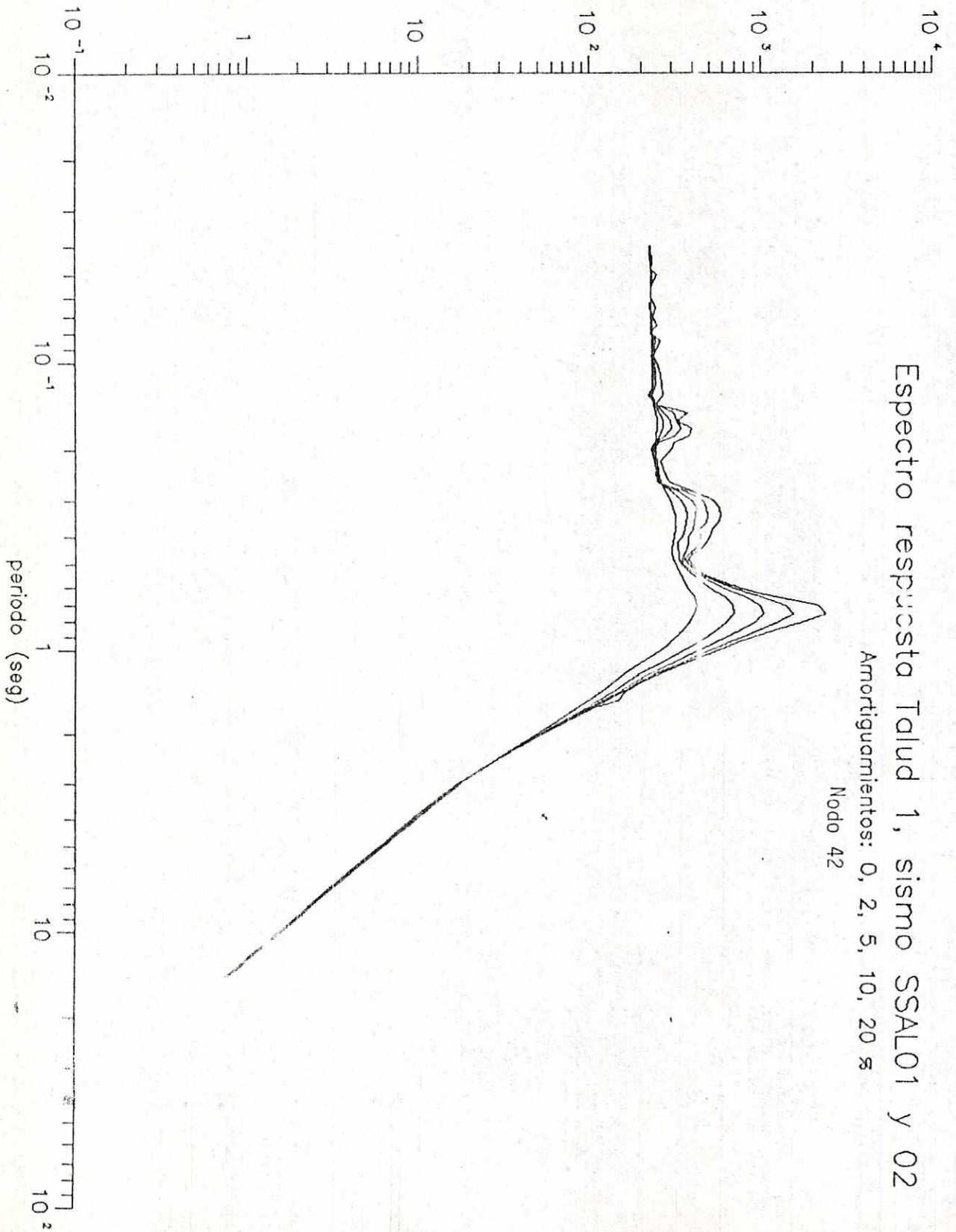
Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %
Nodo 1



Nodo 42, Talud zona 15 + sismo SSAL



pseudo-aceleracio'n en X (gals)

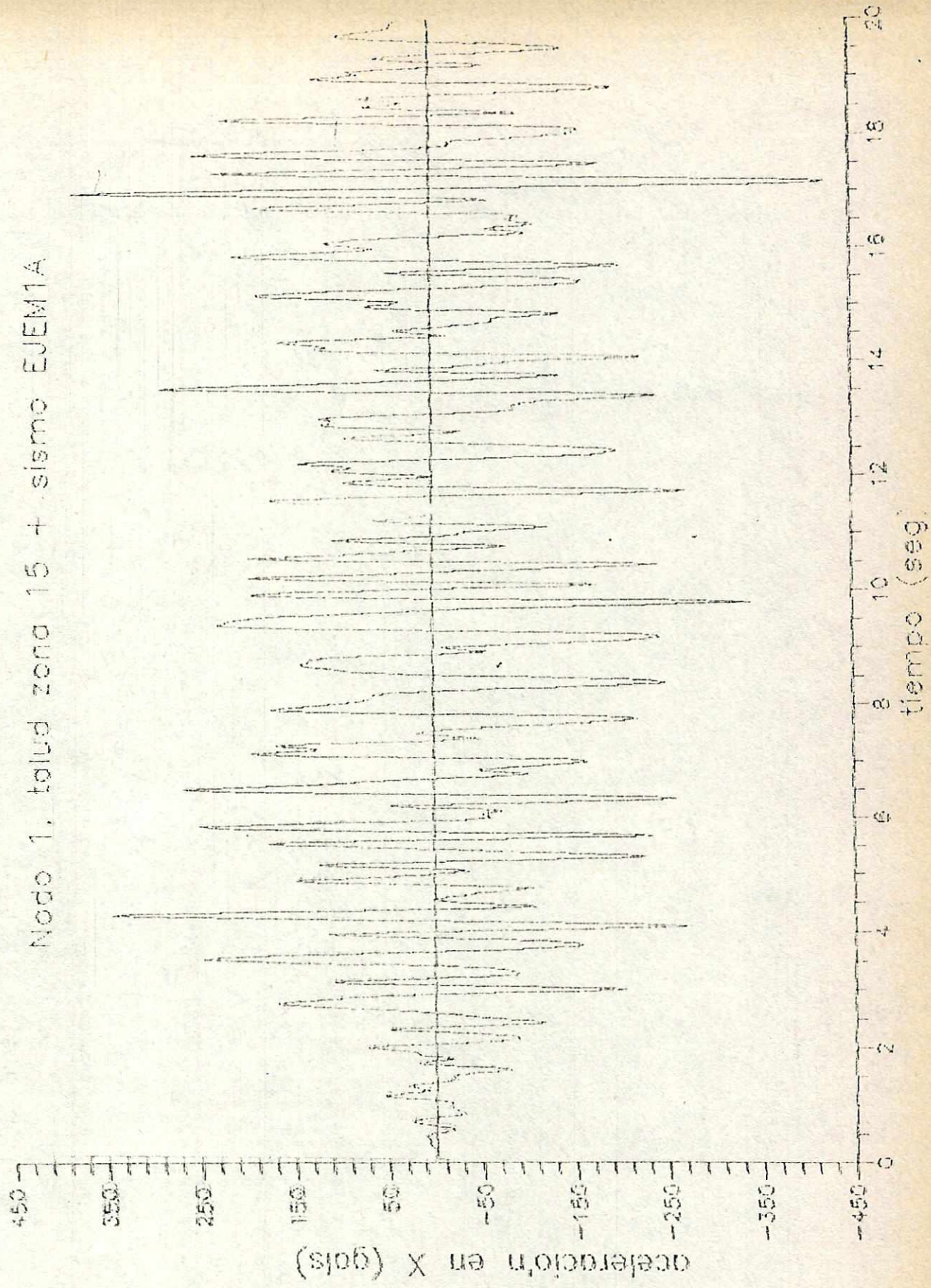


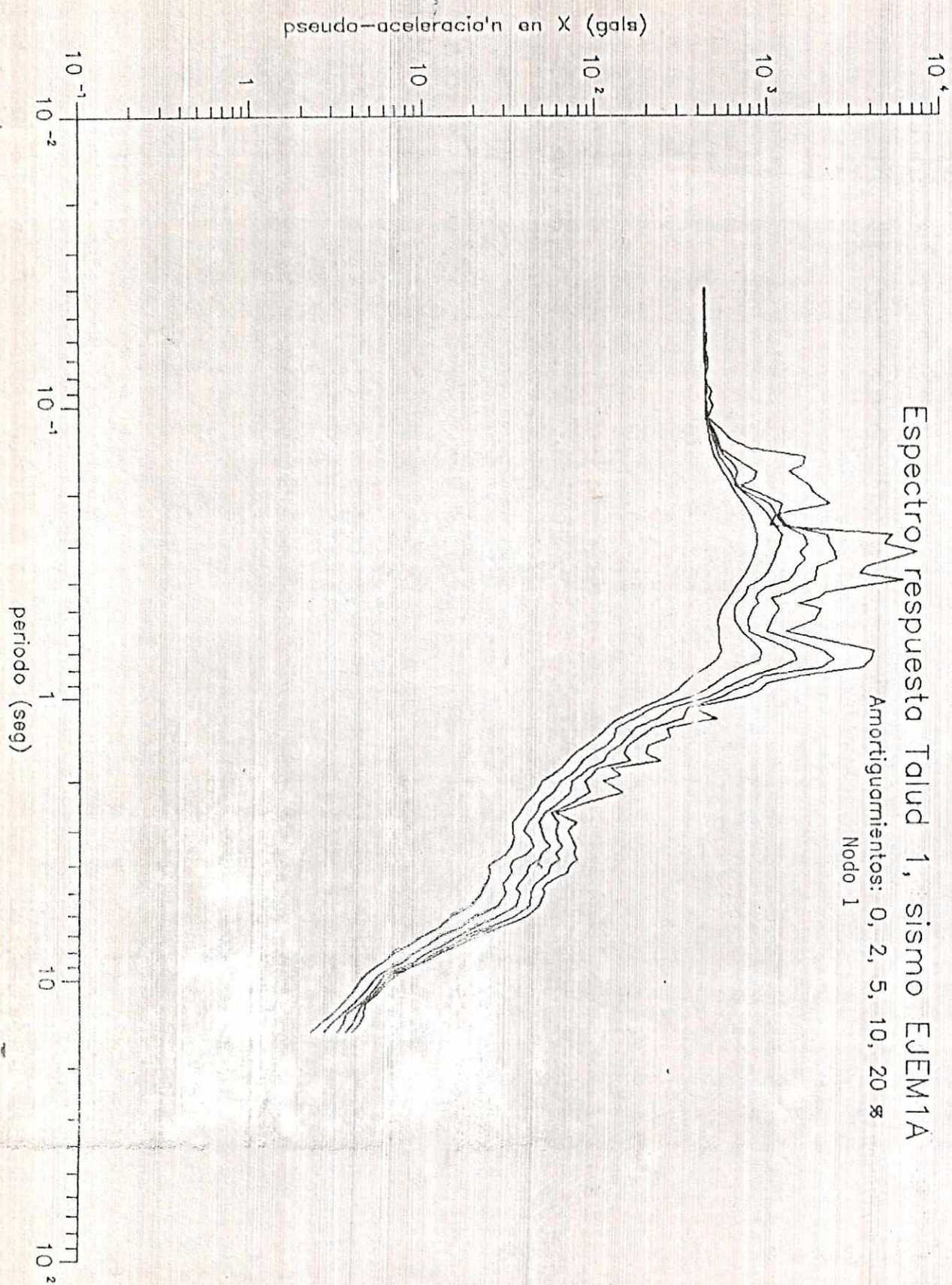
Espectro respuesta Talud 1, sismo SSAL01 y 02

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

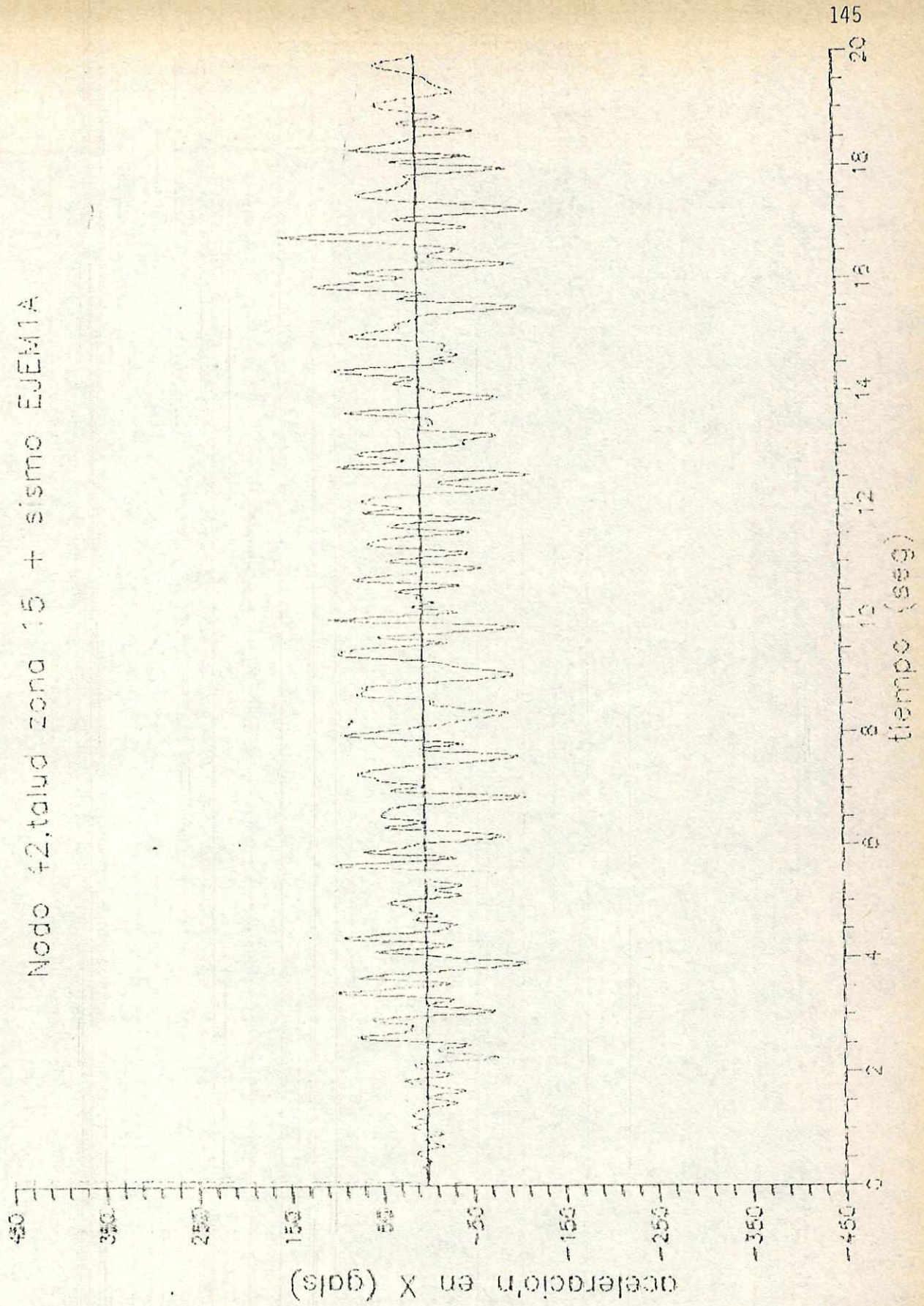
Nodo 42

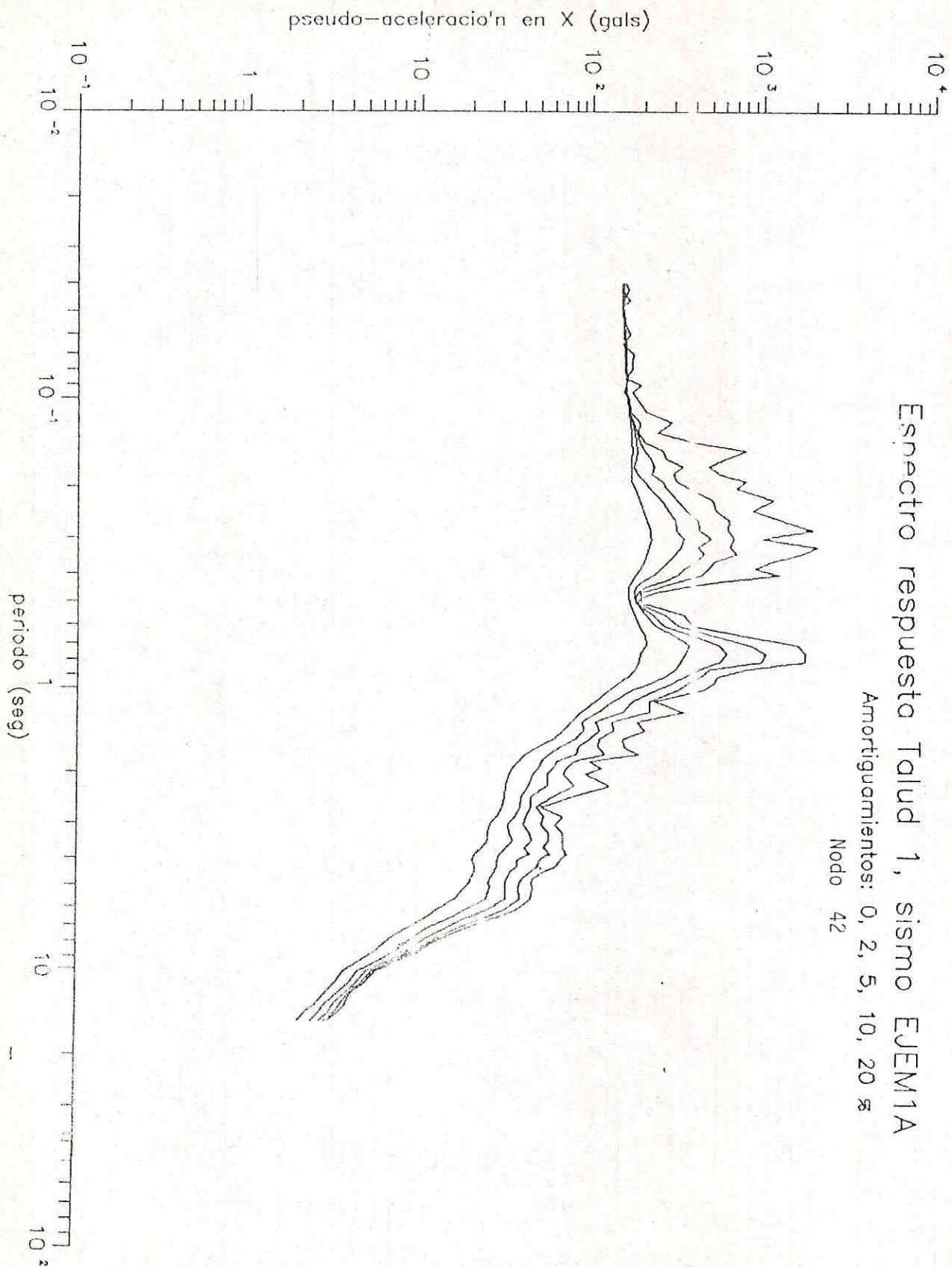
Nodo 1, talud zona 15 + sismo EUEM1A





Nodo 42, talud zona 15 + sismo EJE M1A



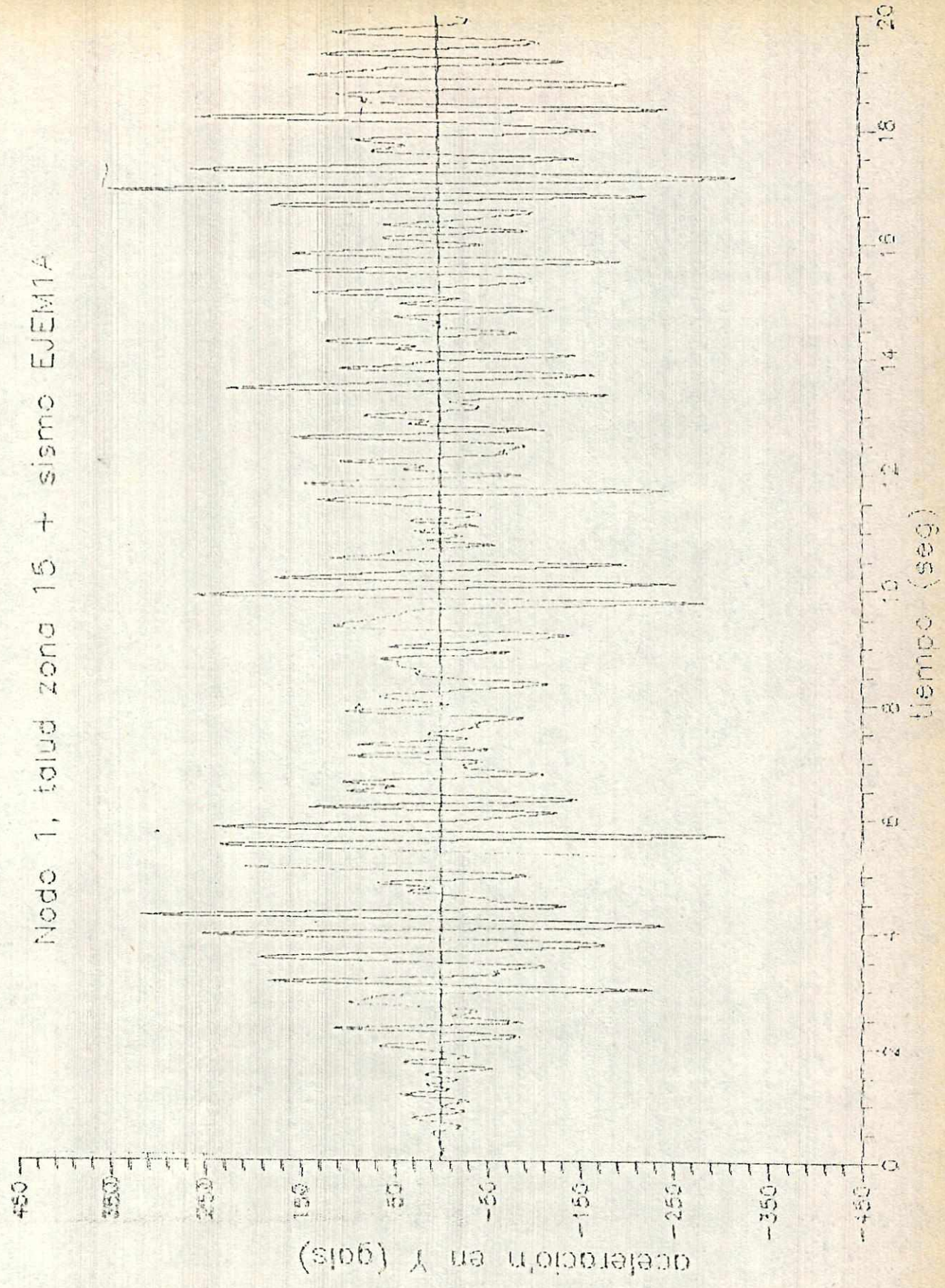


Espectro respuesta Talud 1, sismo EJEM1A

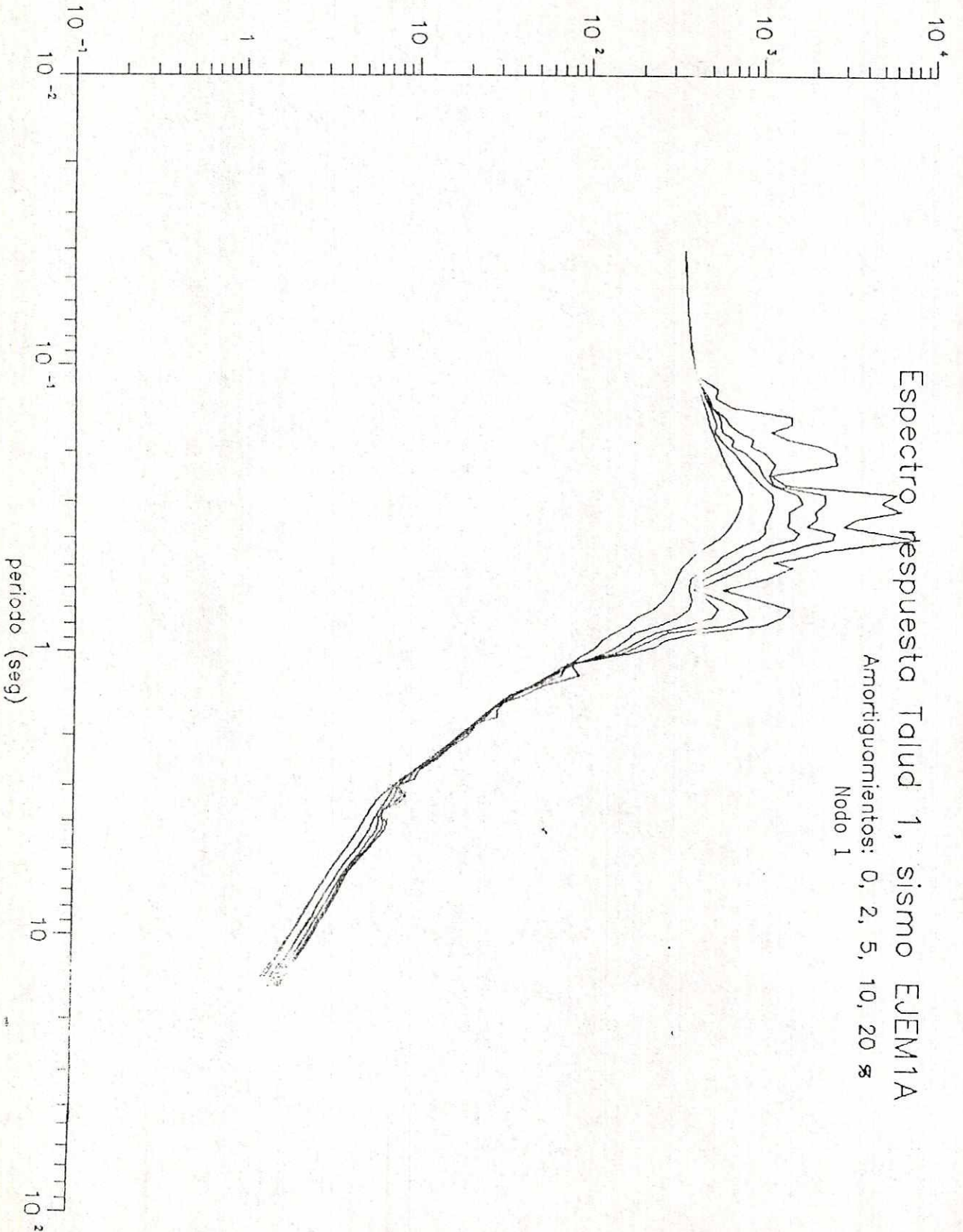
Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

Nodo 42

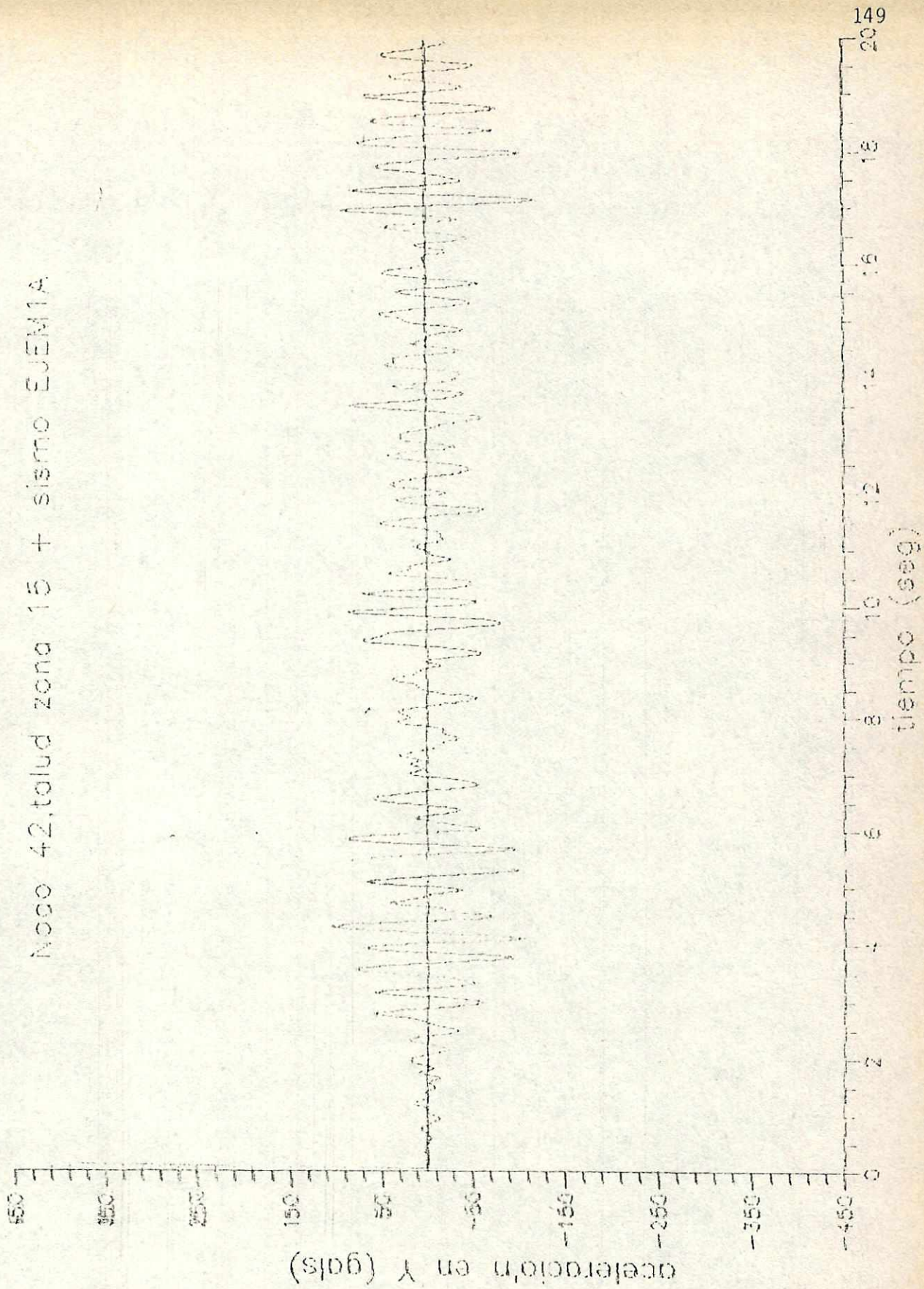
Nodo 1, talud zona 15 + sismo EJE M1A

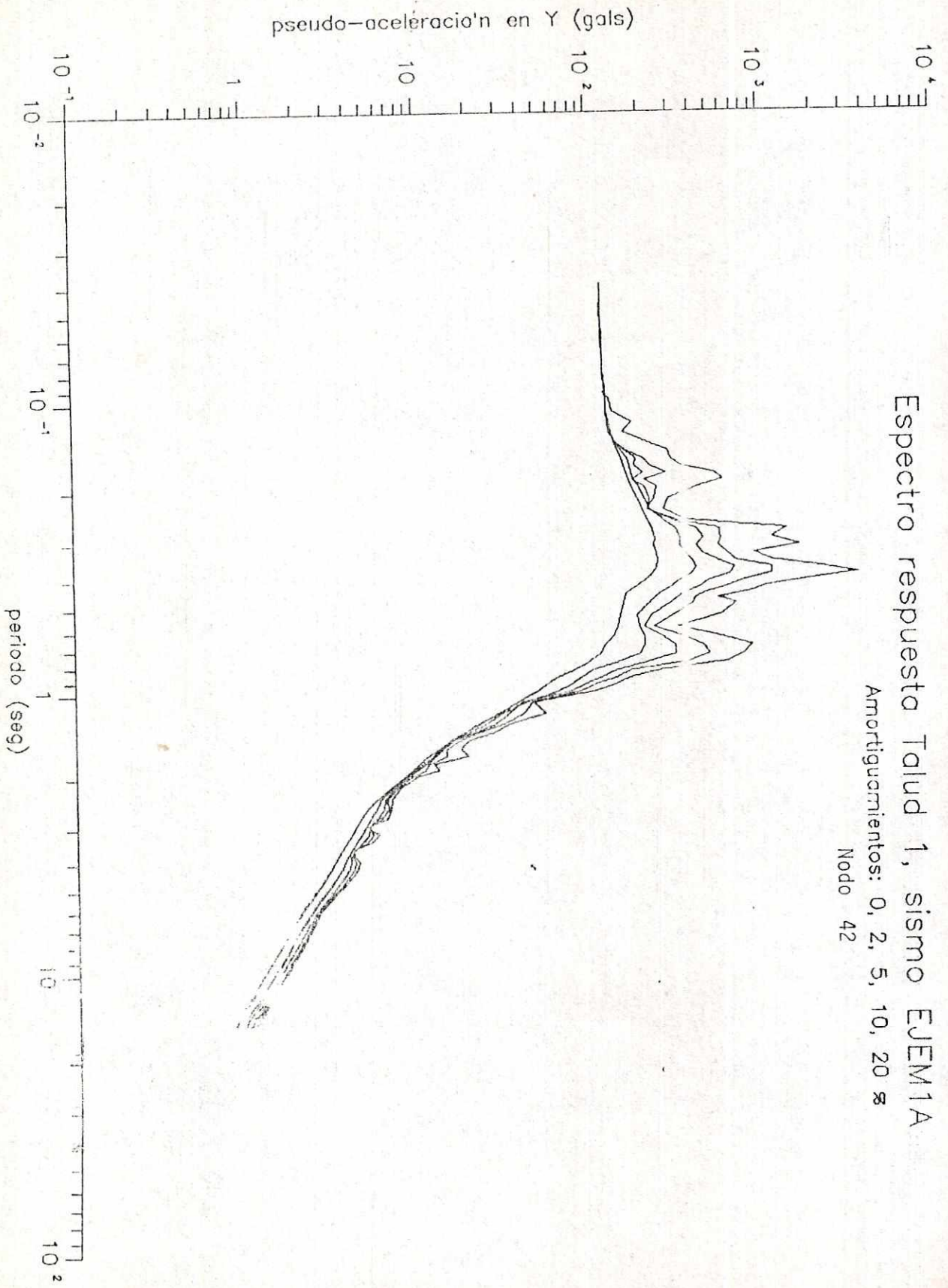


pseudo-aceleracio'n en Y (gals)



Noso 42, talud zona 15 + sismo EUEM1A

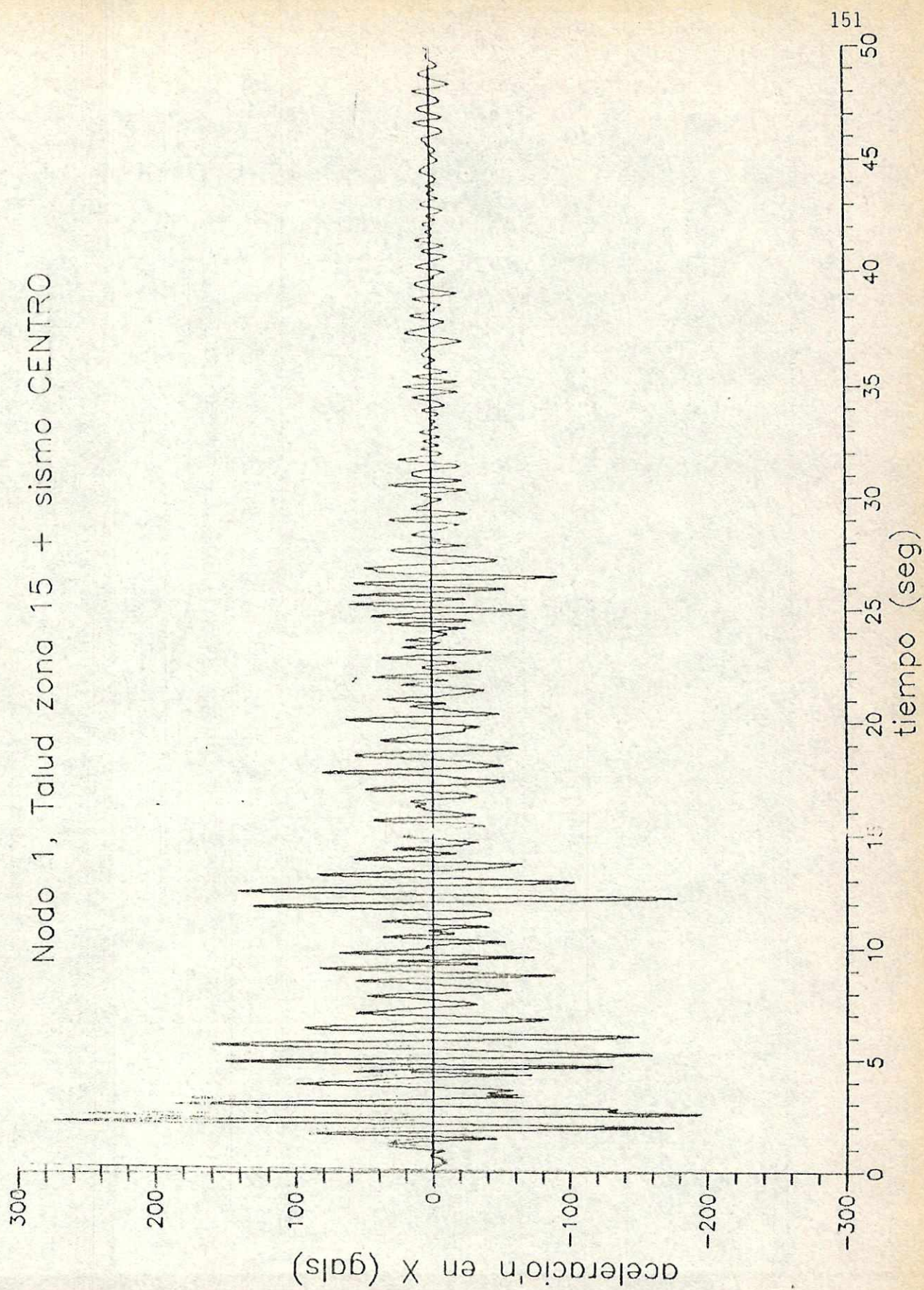


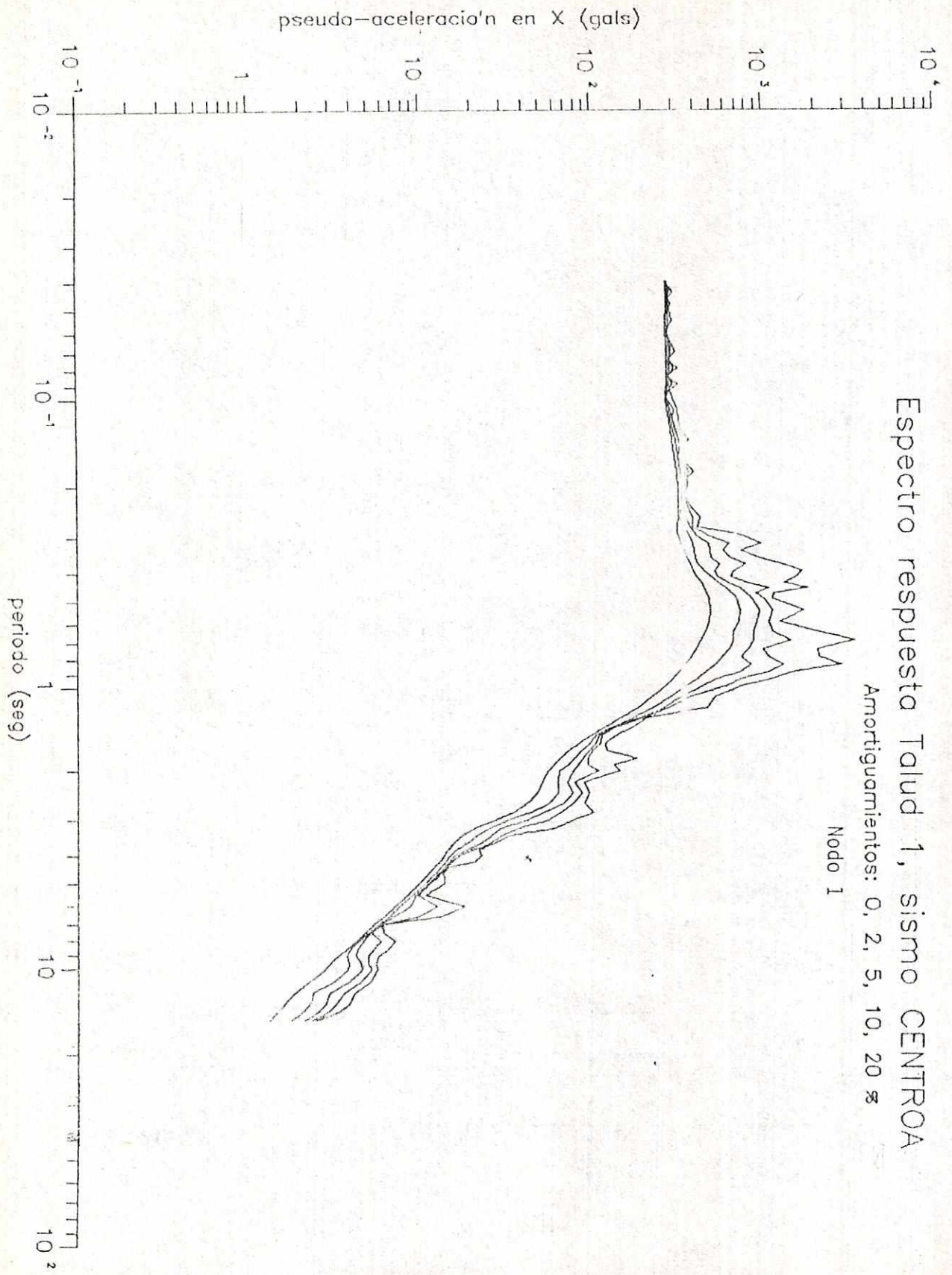


Espectro respuesta Talud 1, sismo EJEM1A

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %
Nodo 42

Nodo 1, Talud zona 15 + sismo CENTRO



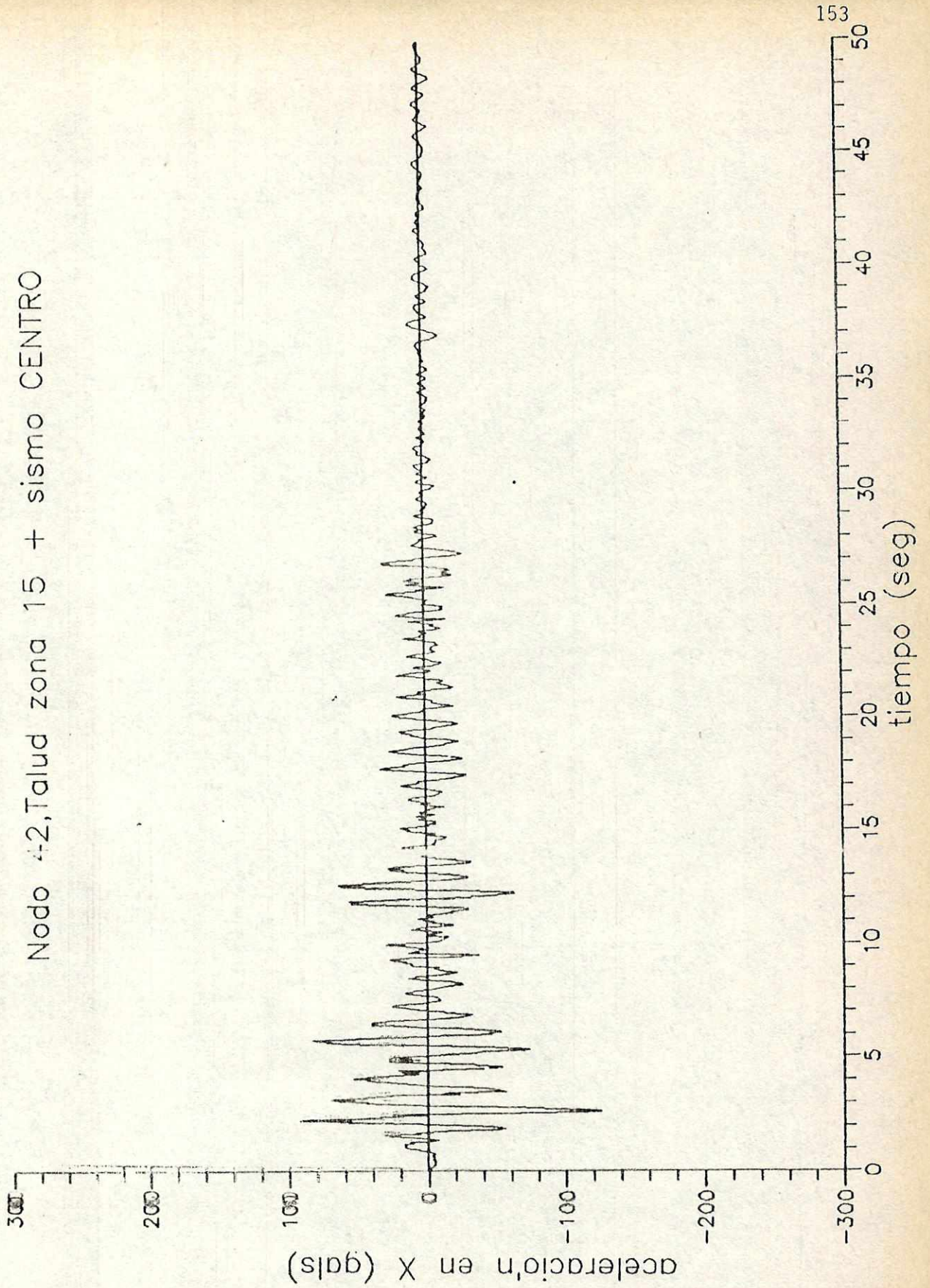


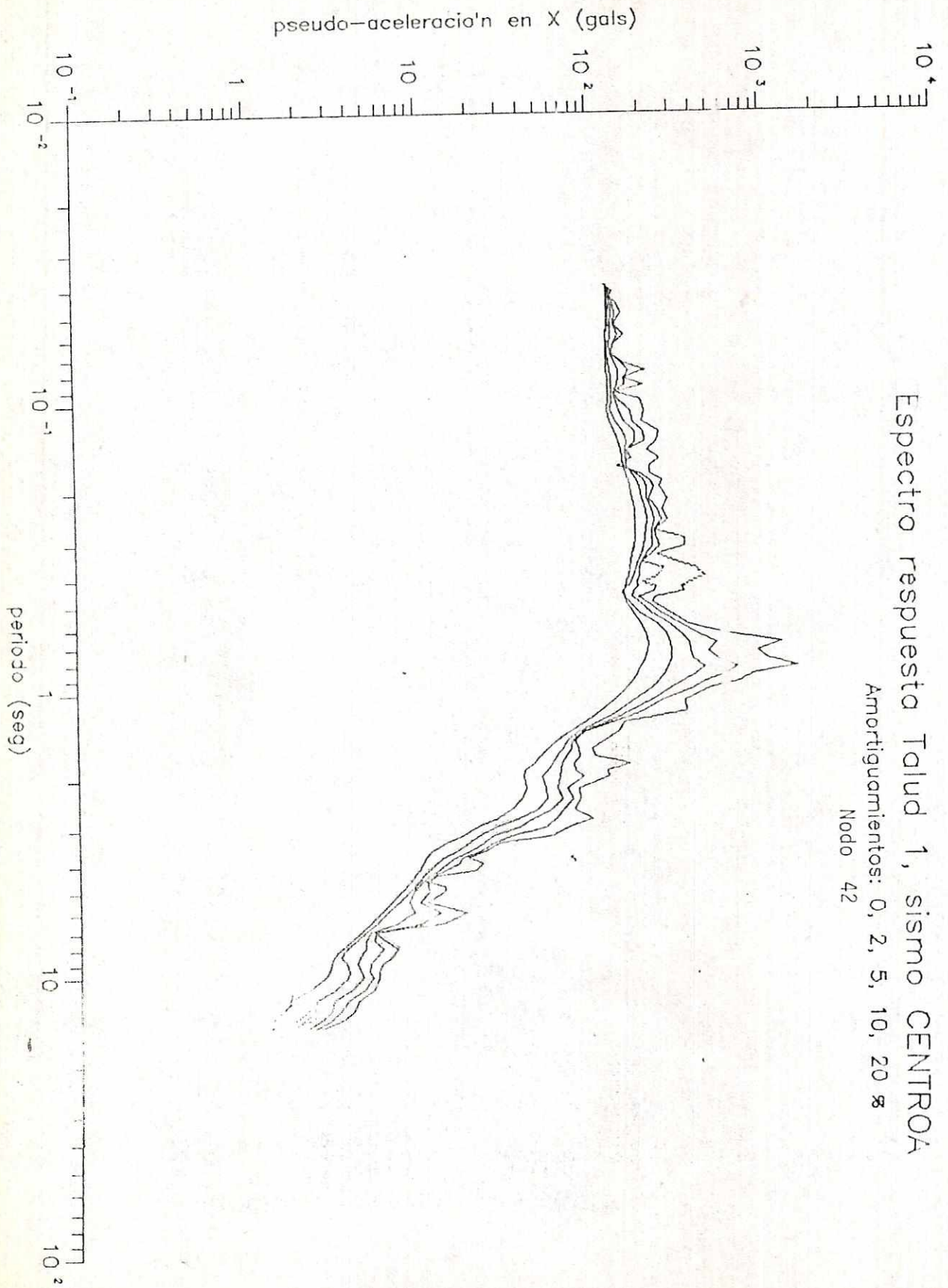
Espectro respuesta Talud 1, sismo CENTROA

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

Nodo 1

Nodo 42, Talud zona 15 + sismo CENTRO



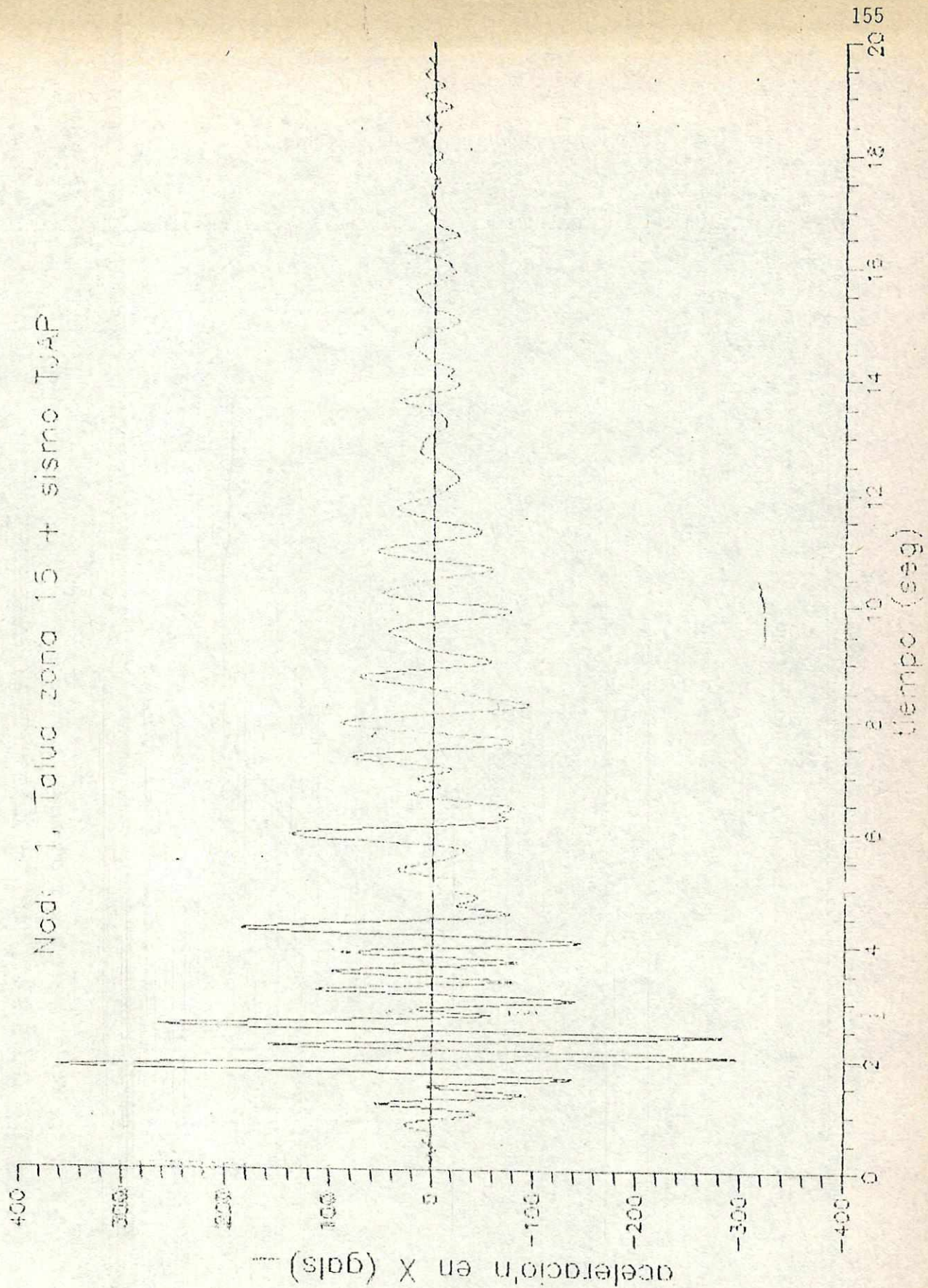


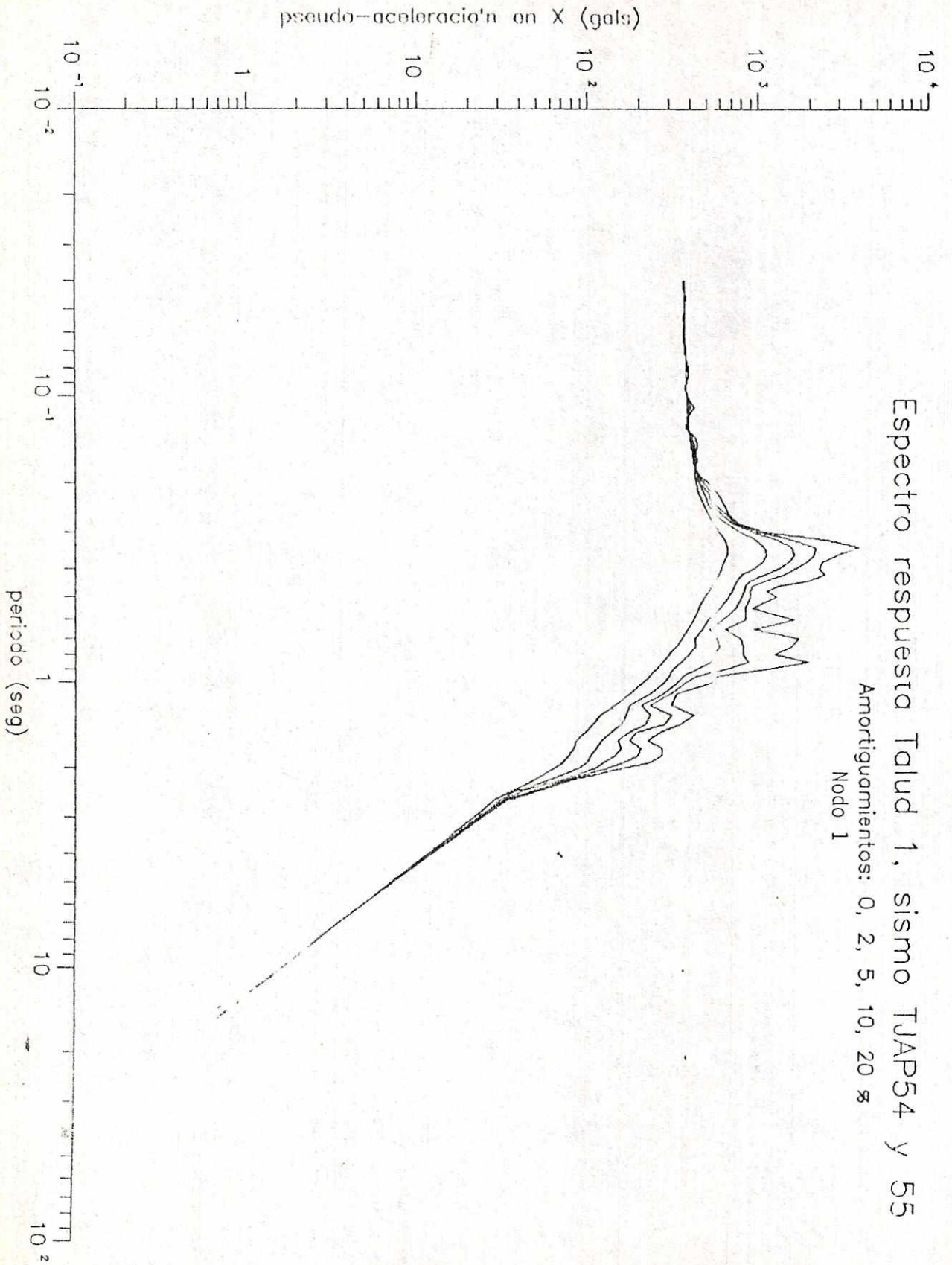
Espectro respuesta Talud 1, sismo CENTROA

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %

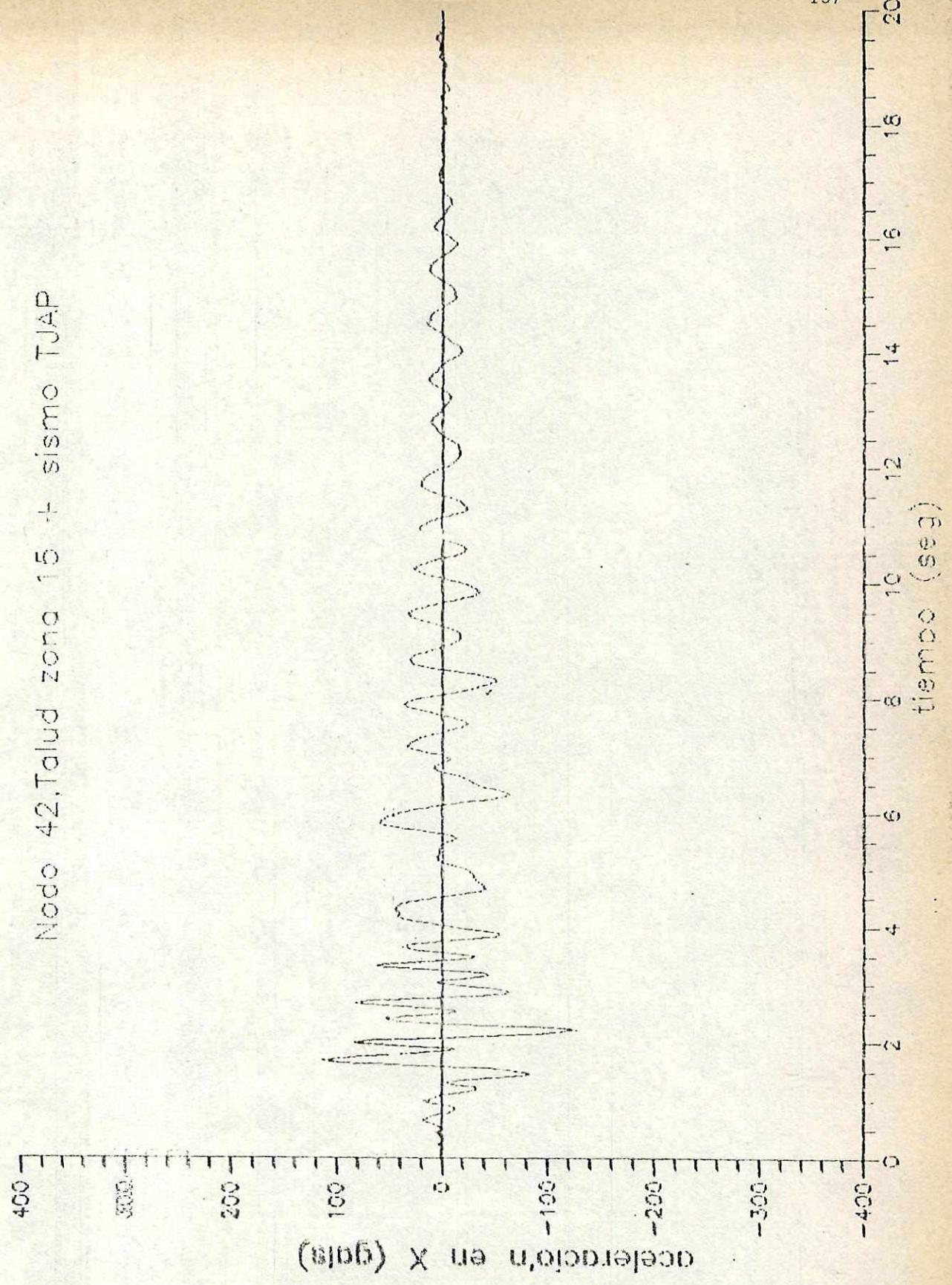
Nodo 42

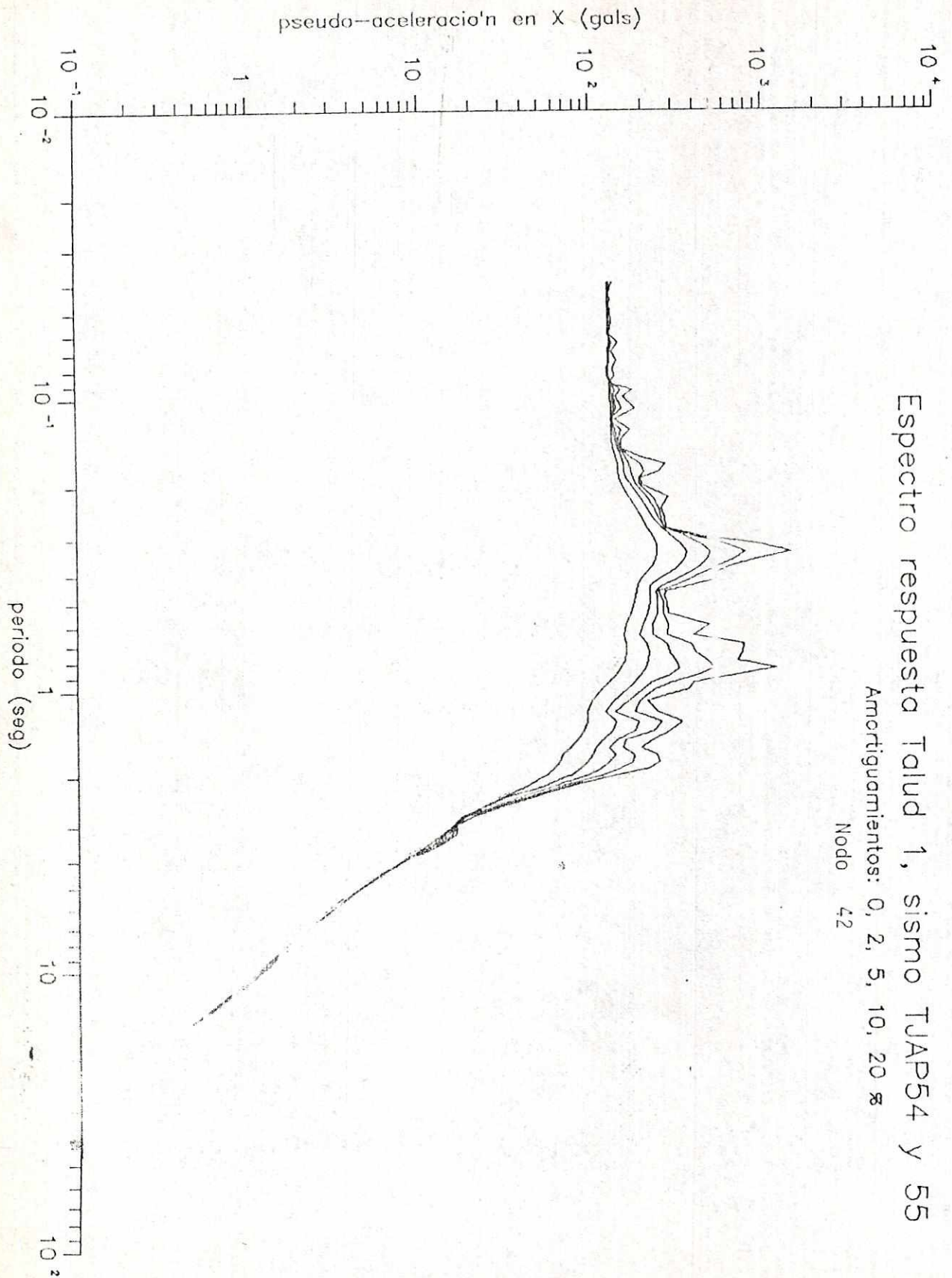
Nodo: 1, Taluc zona 15 + sismo TUAP



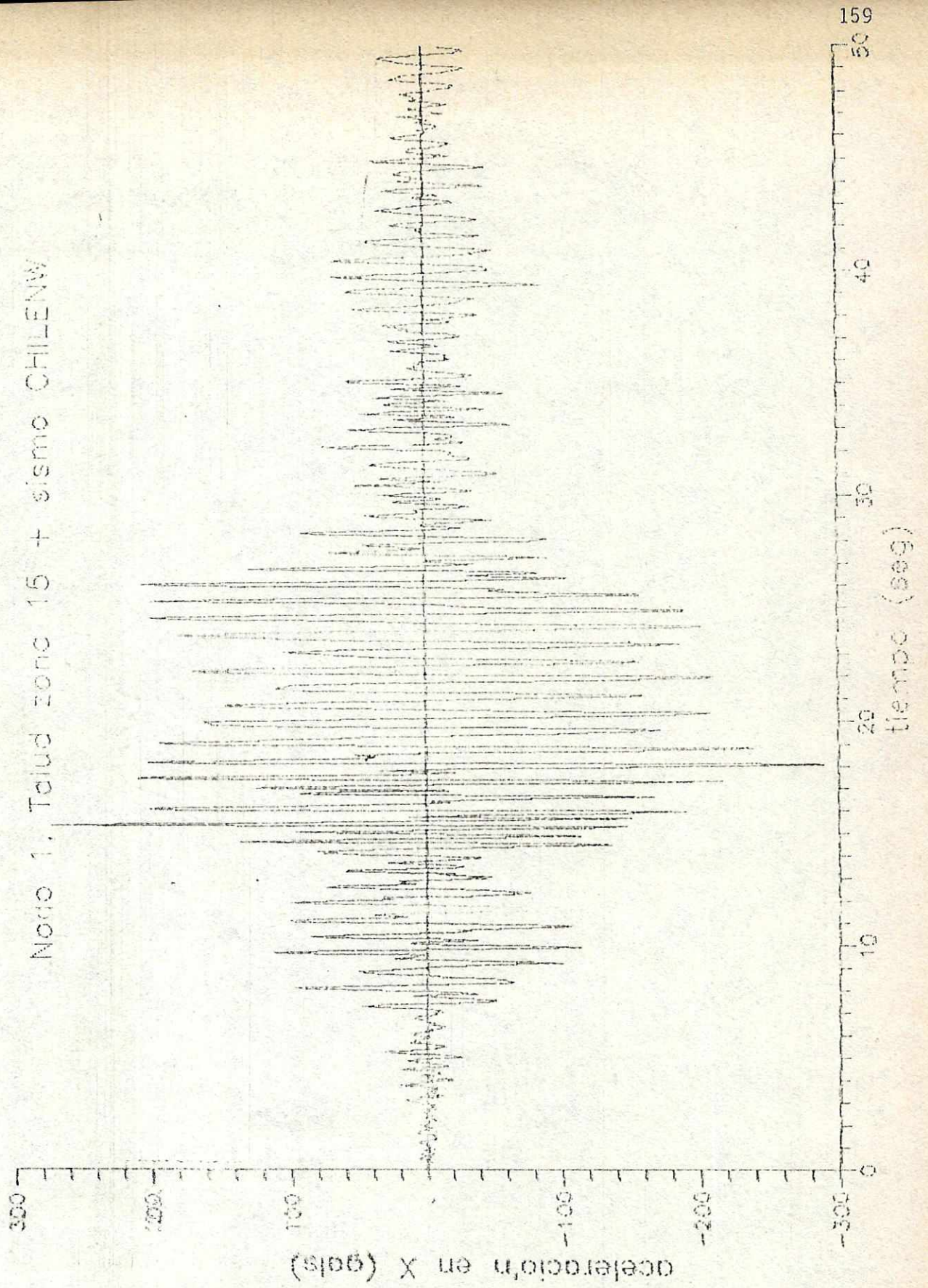


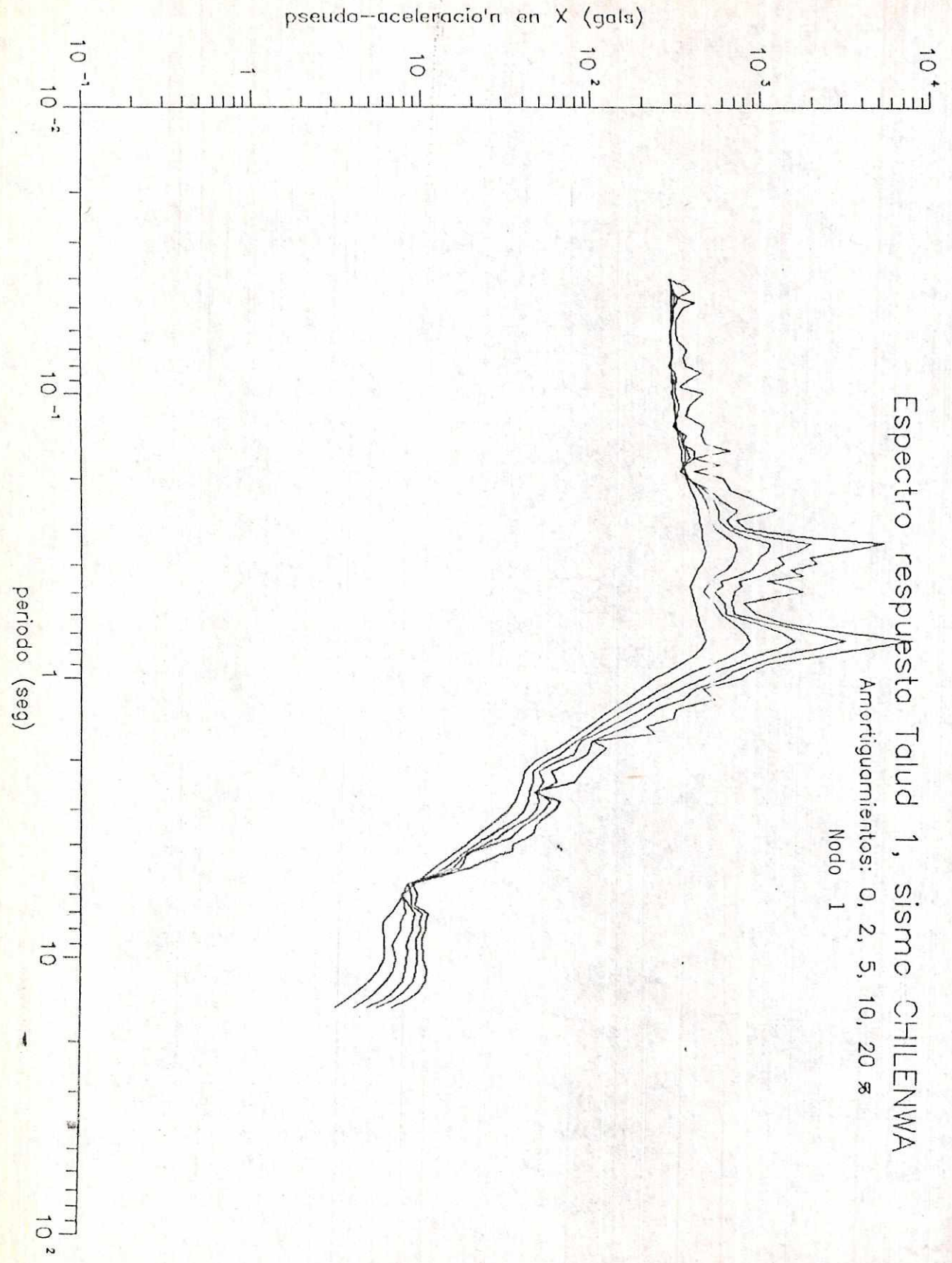
Nodo 42. Talud zona 15 + sismo TJAP



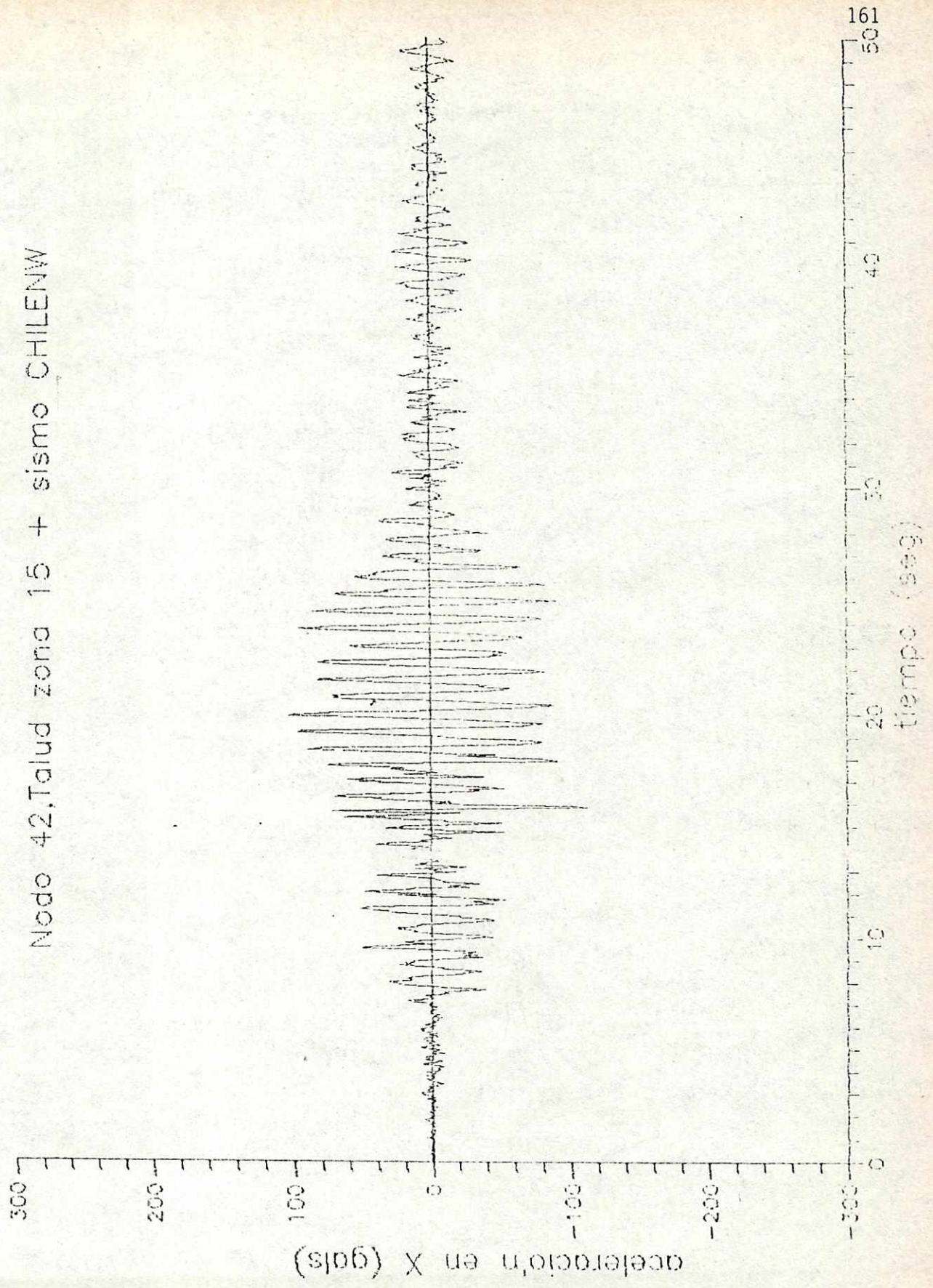


Nordio 1, Telud zone 15 + sismo CHILENW





Nodo 42, Talud zona 15 + sismo CHILENW



161

50

40

30

20

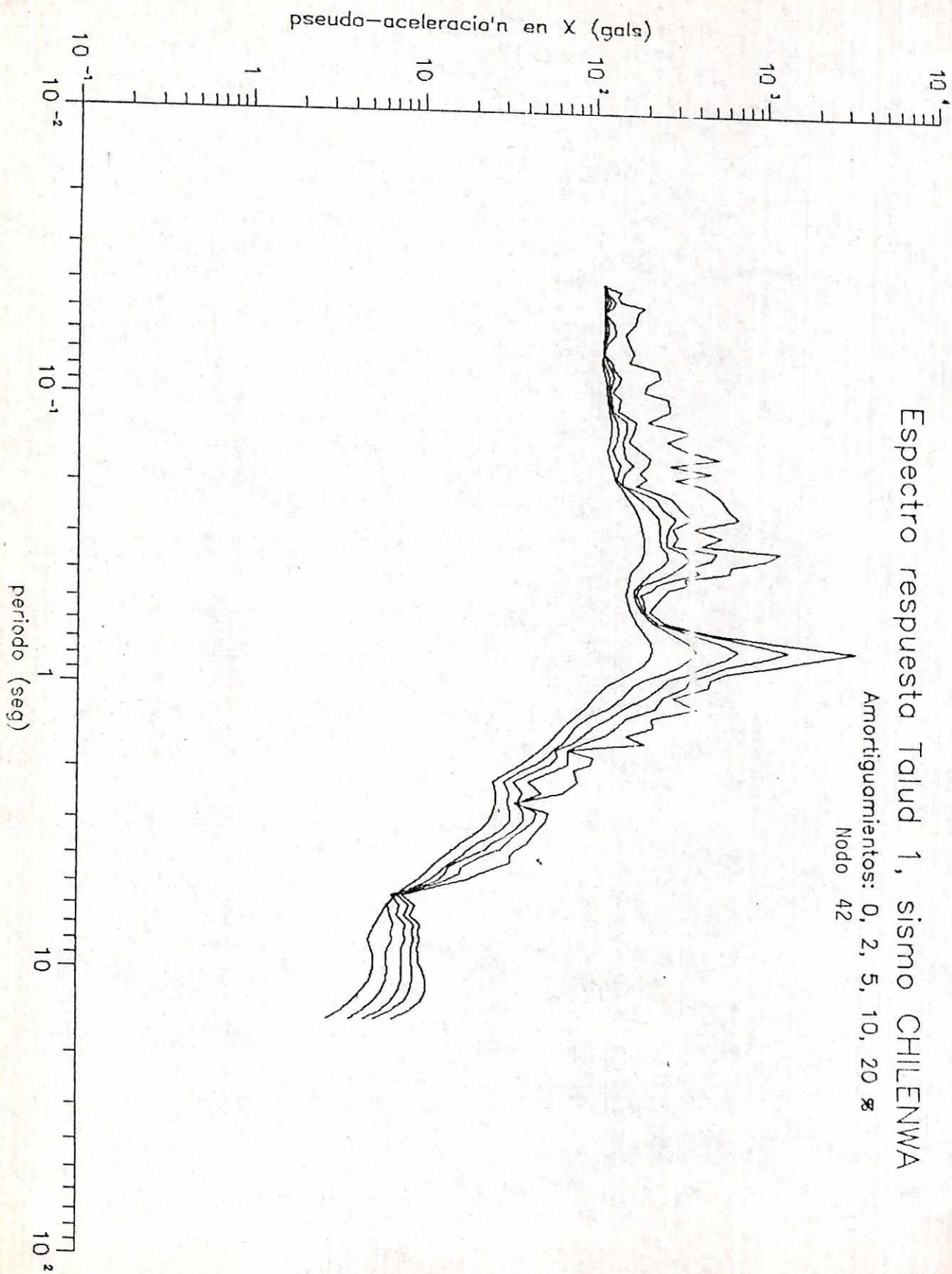
10

0

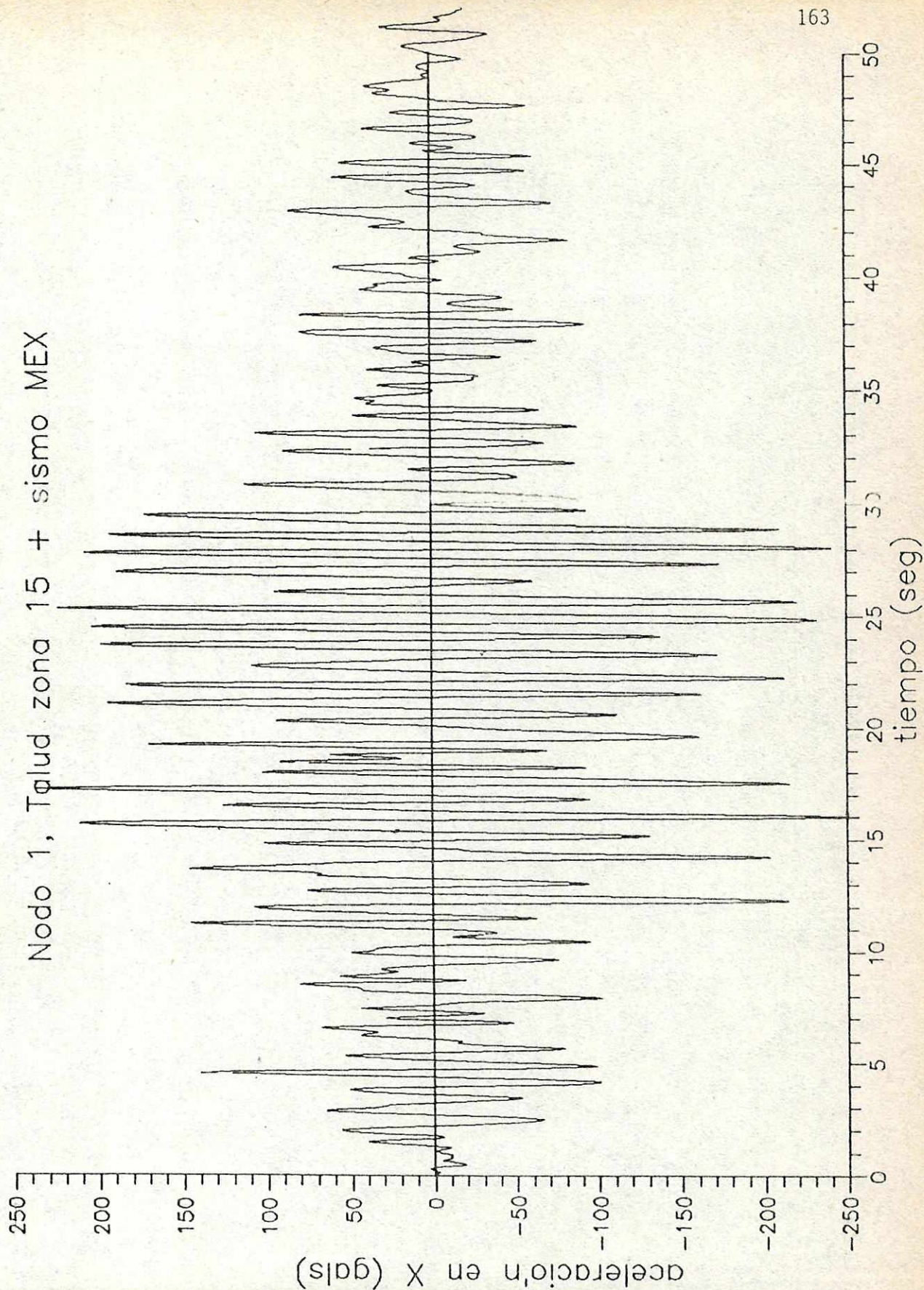
tiempo (seg)

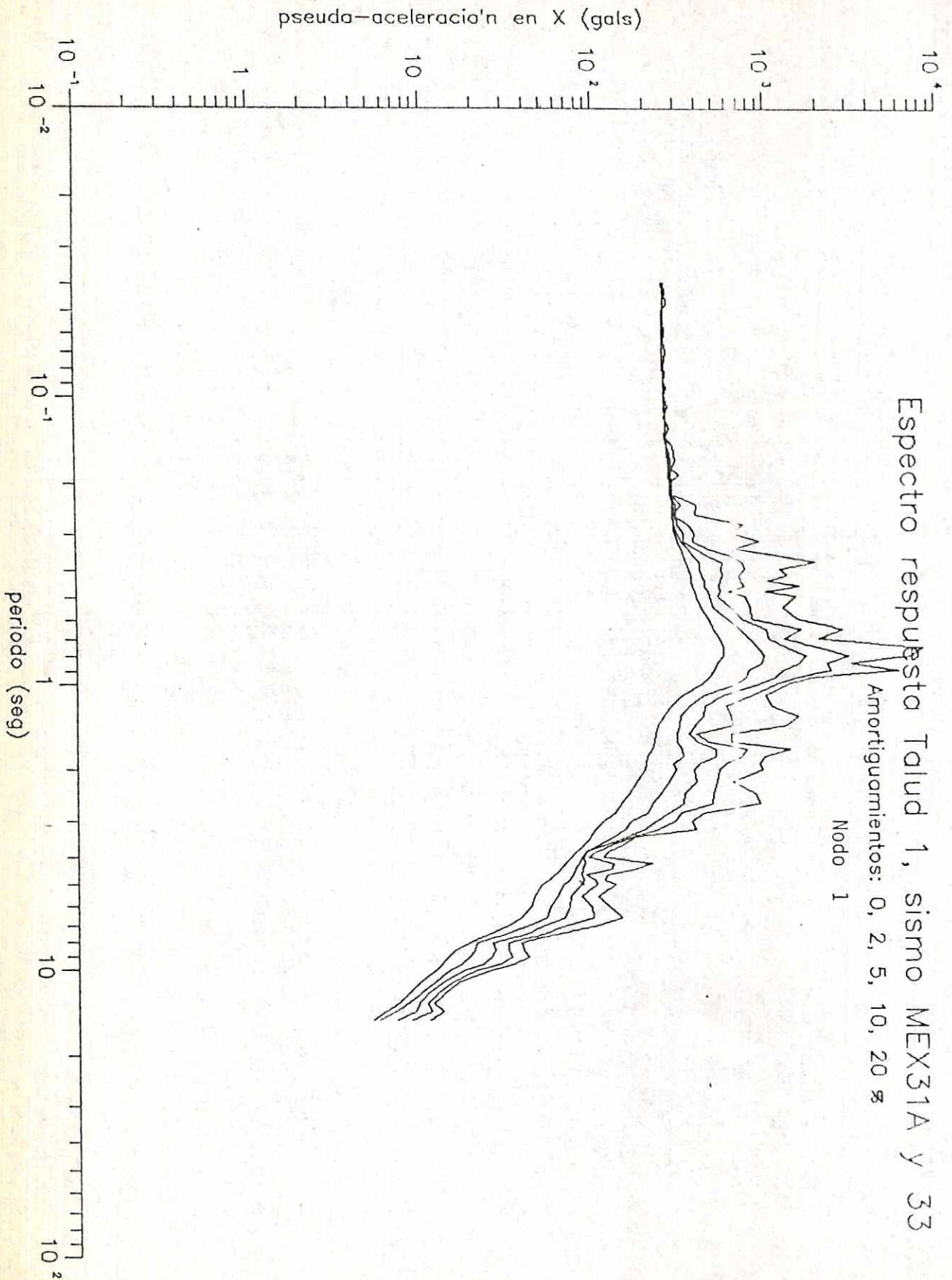
Espectro respuesta Talud 1, sismo CHILENWA

Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %
Nodo 42

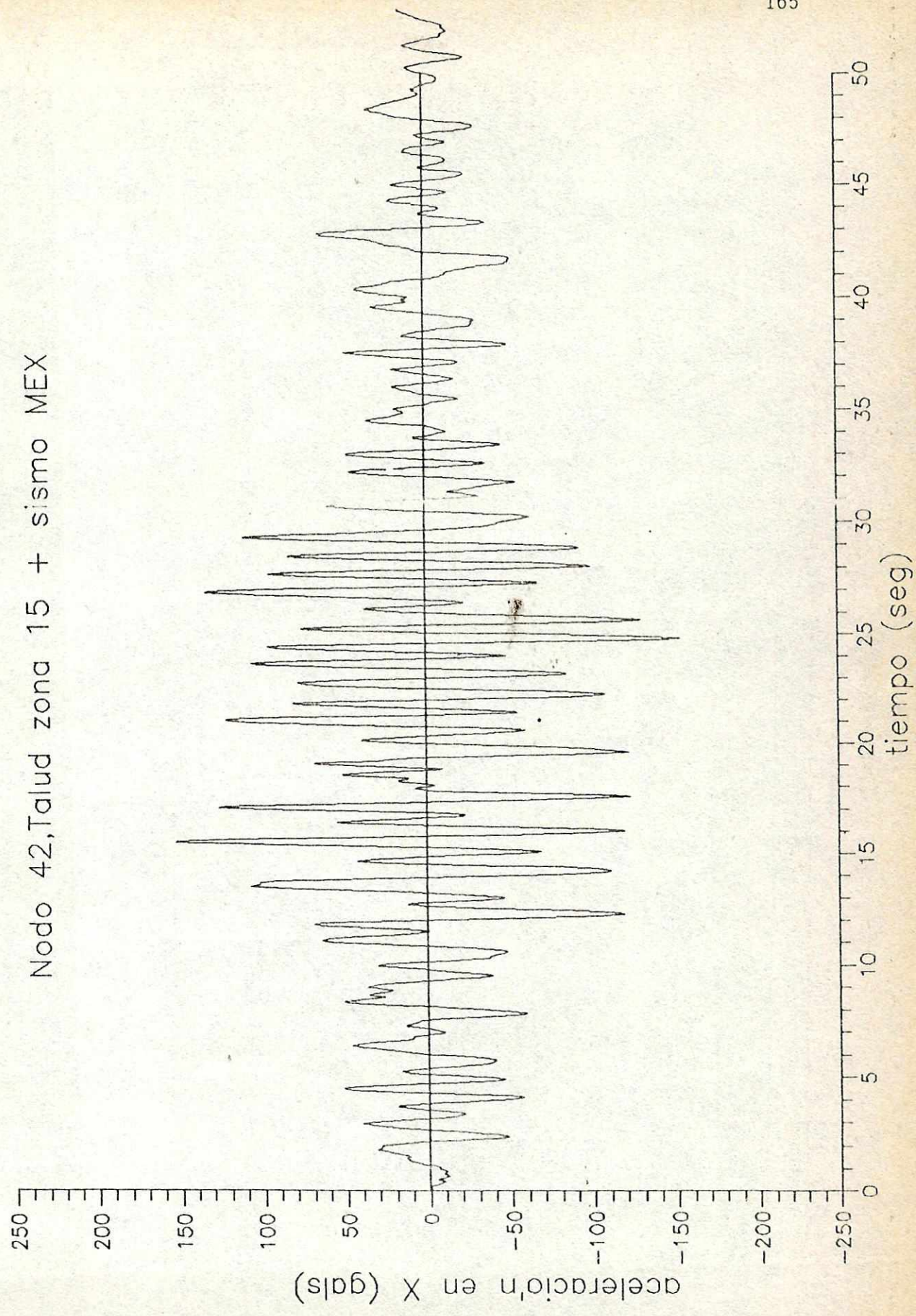


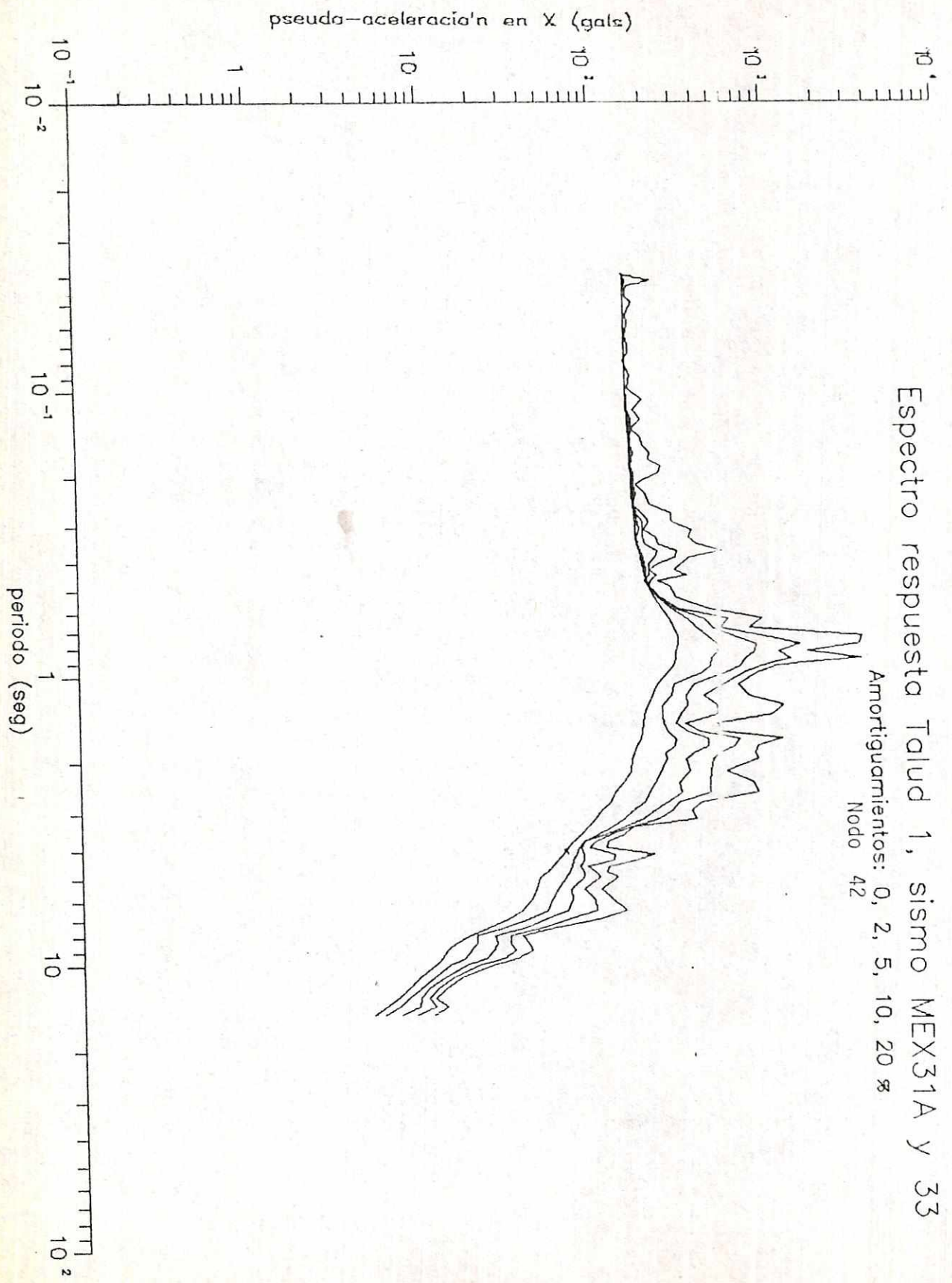
Nodo 1, Talud zona 15 + sismo MEX





Nodo 42, Talud zona 15 + sismo MEX

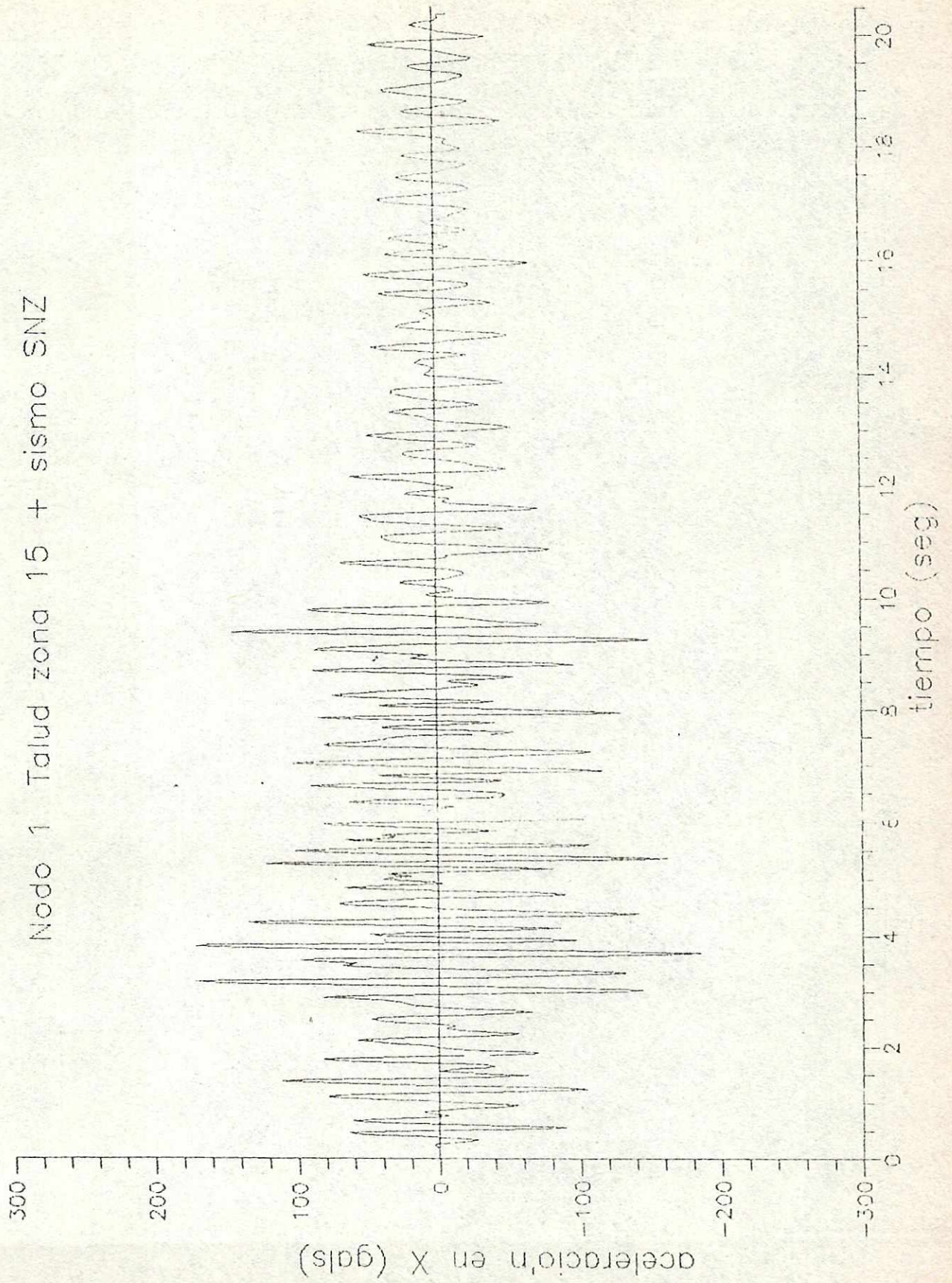


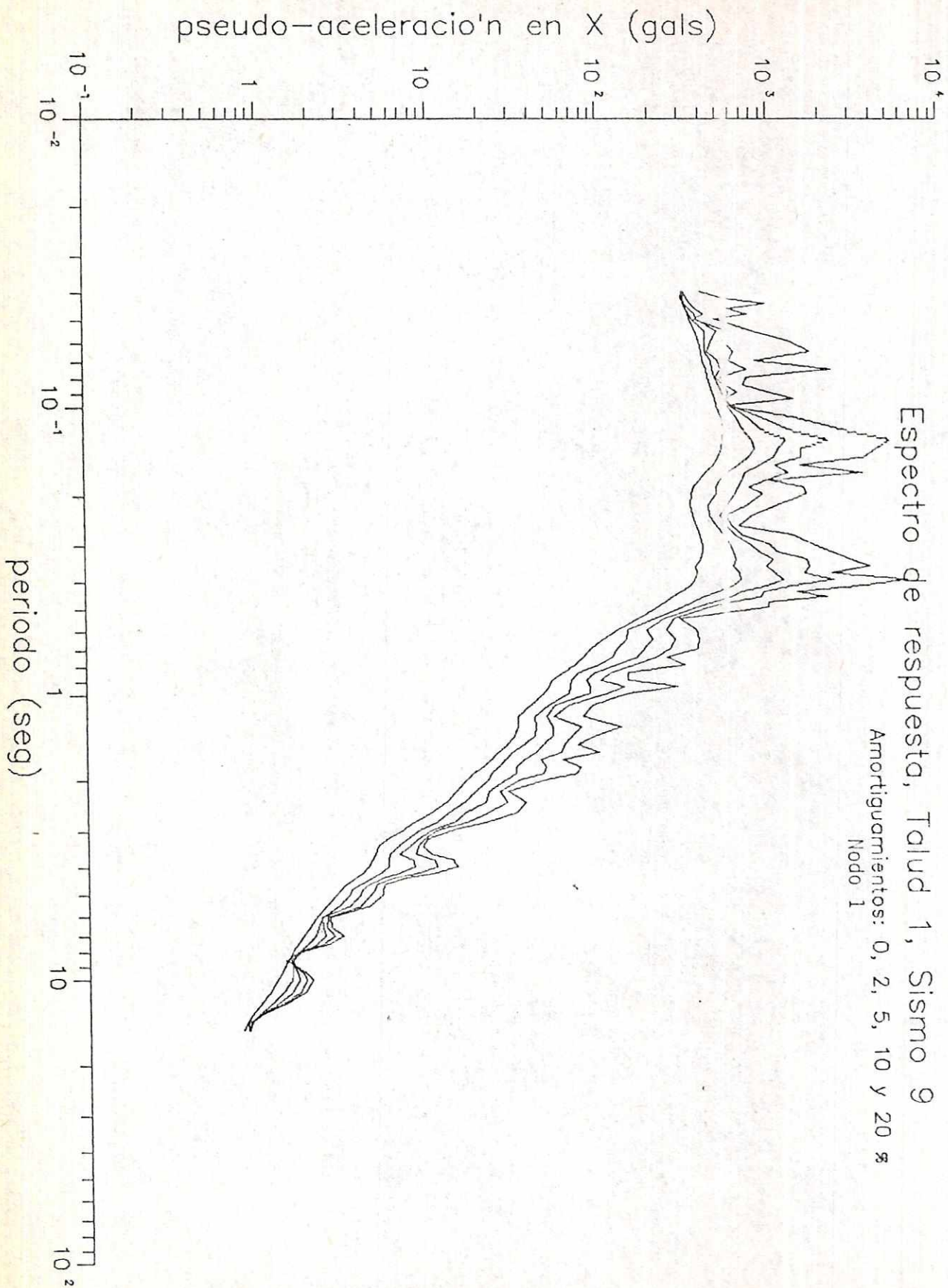


Espectro respuesta Talud 1, sismo MEX31A y 33

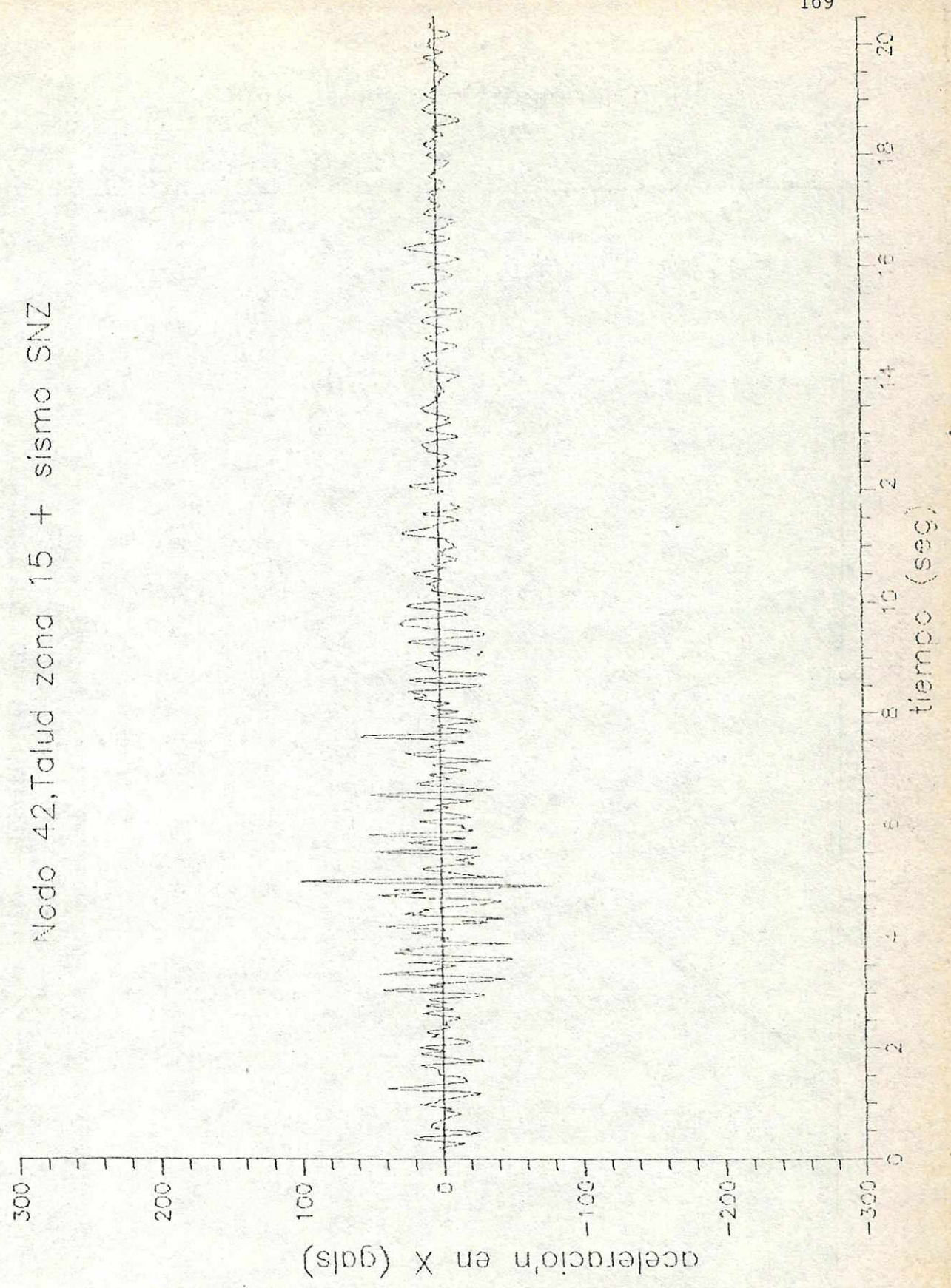
Amortiguamientos: 0, 2, 5, 10, 20 %
Nodo 42

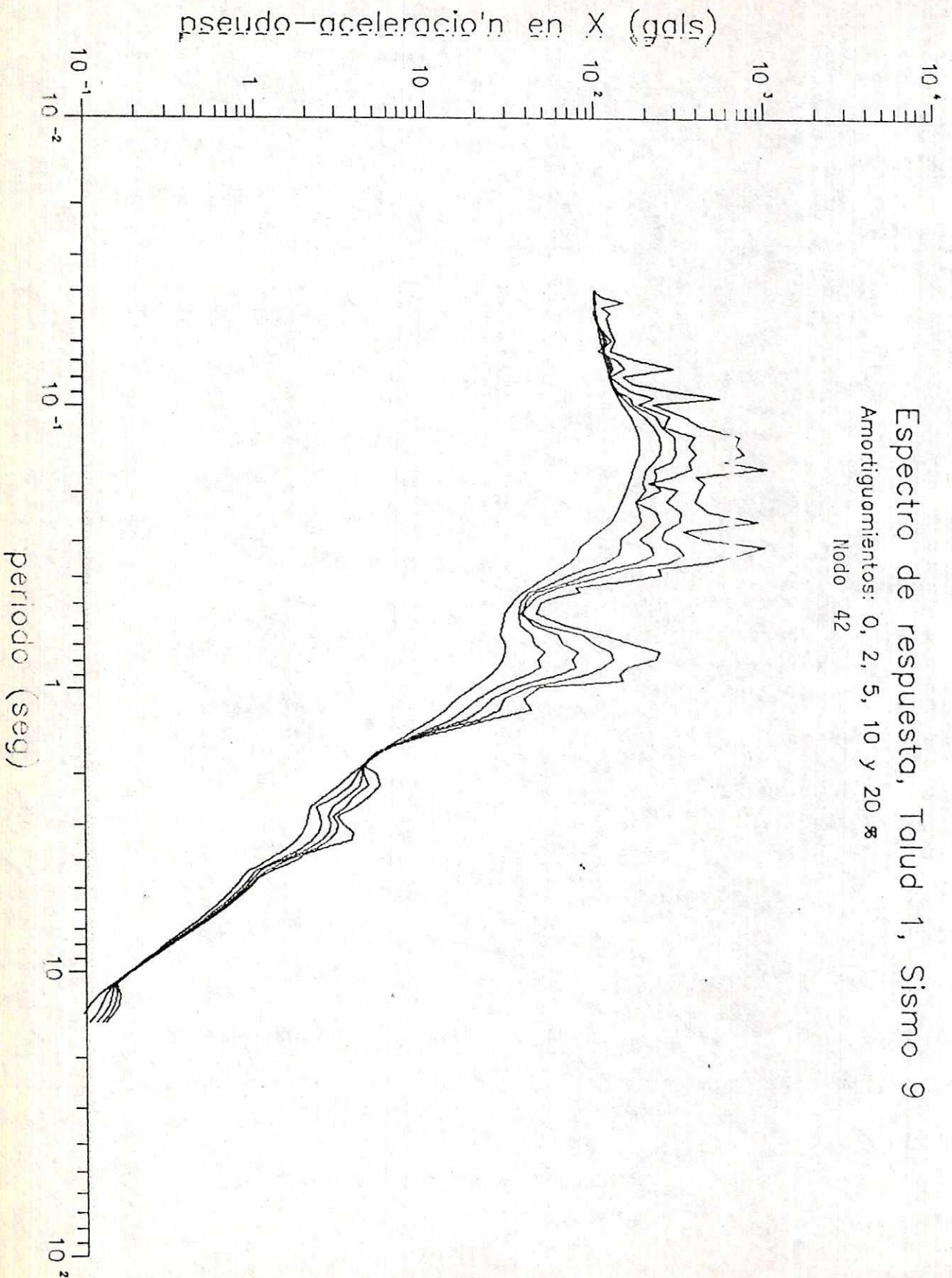
Nodo 1 Talud zona 15 + sismo SNZ



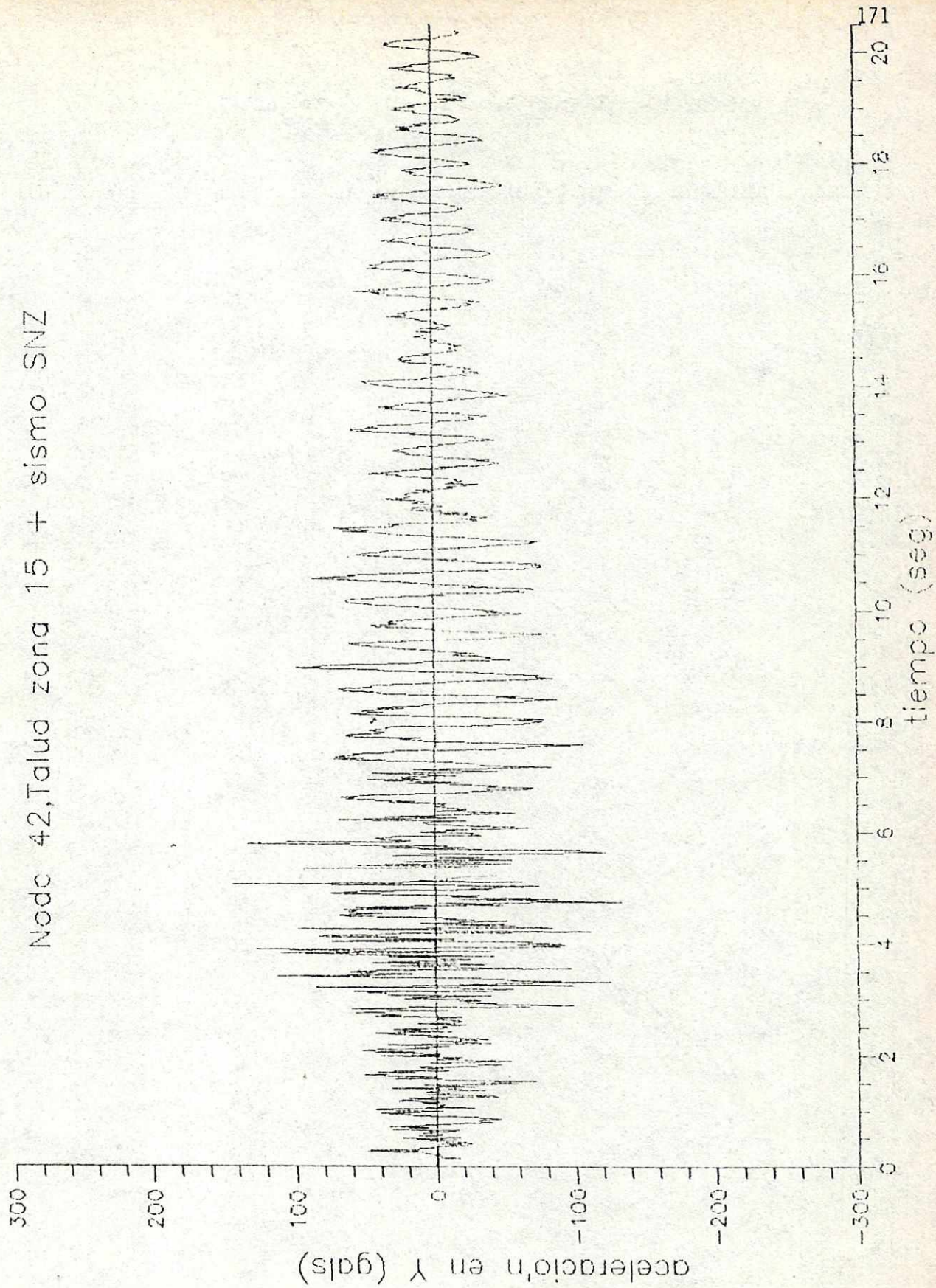


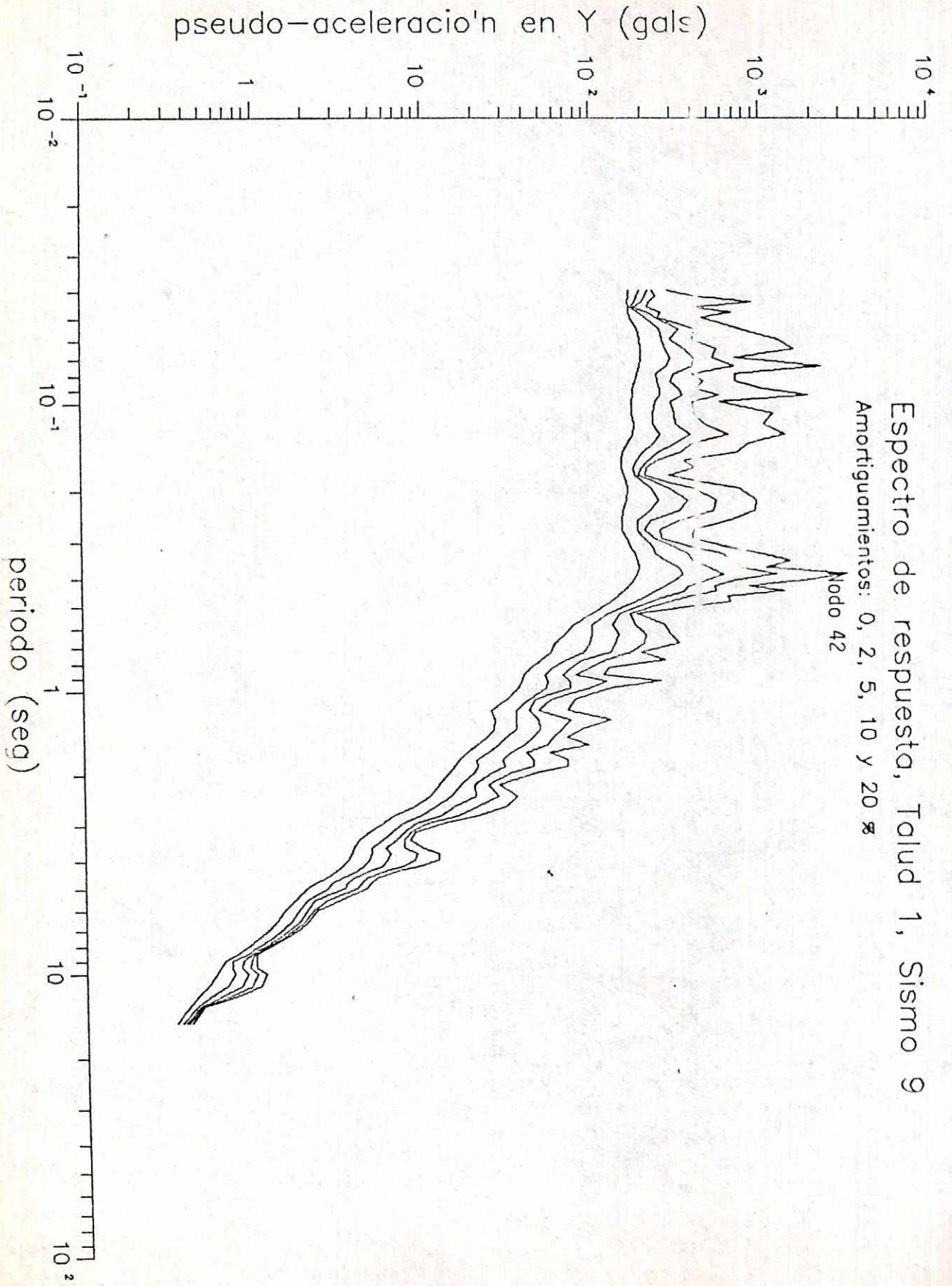
Nodo 42, Talud zona 15 + sismo SNZ



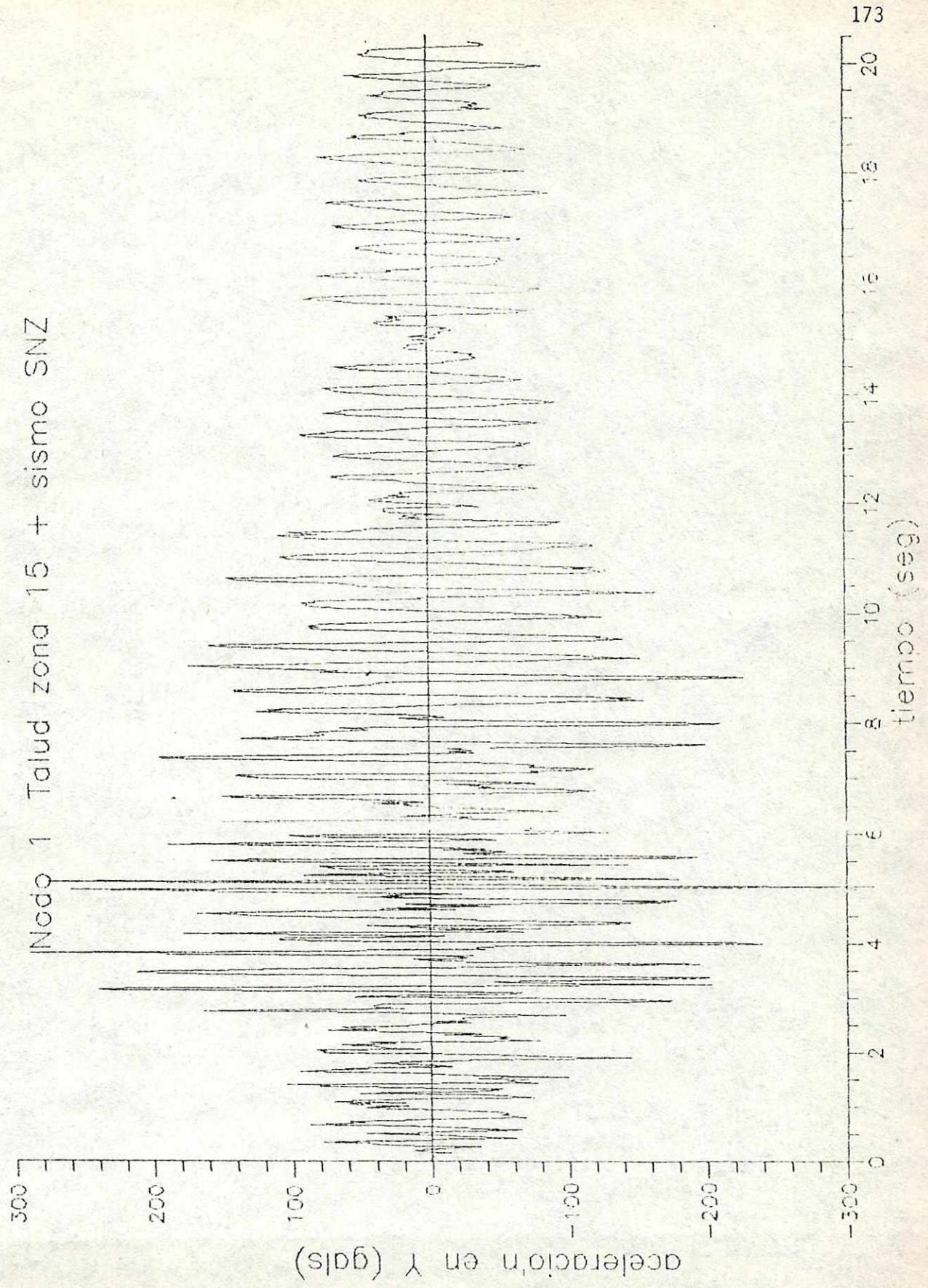


Nodo 42, Talud zona 15 + sismo SNZ





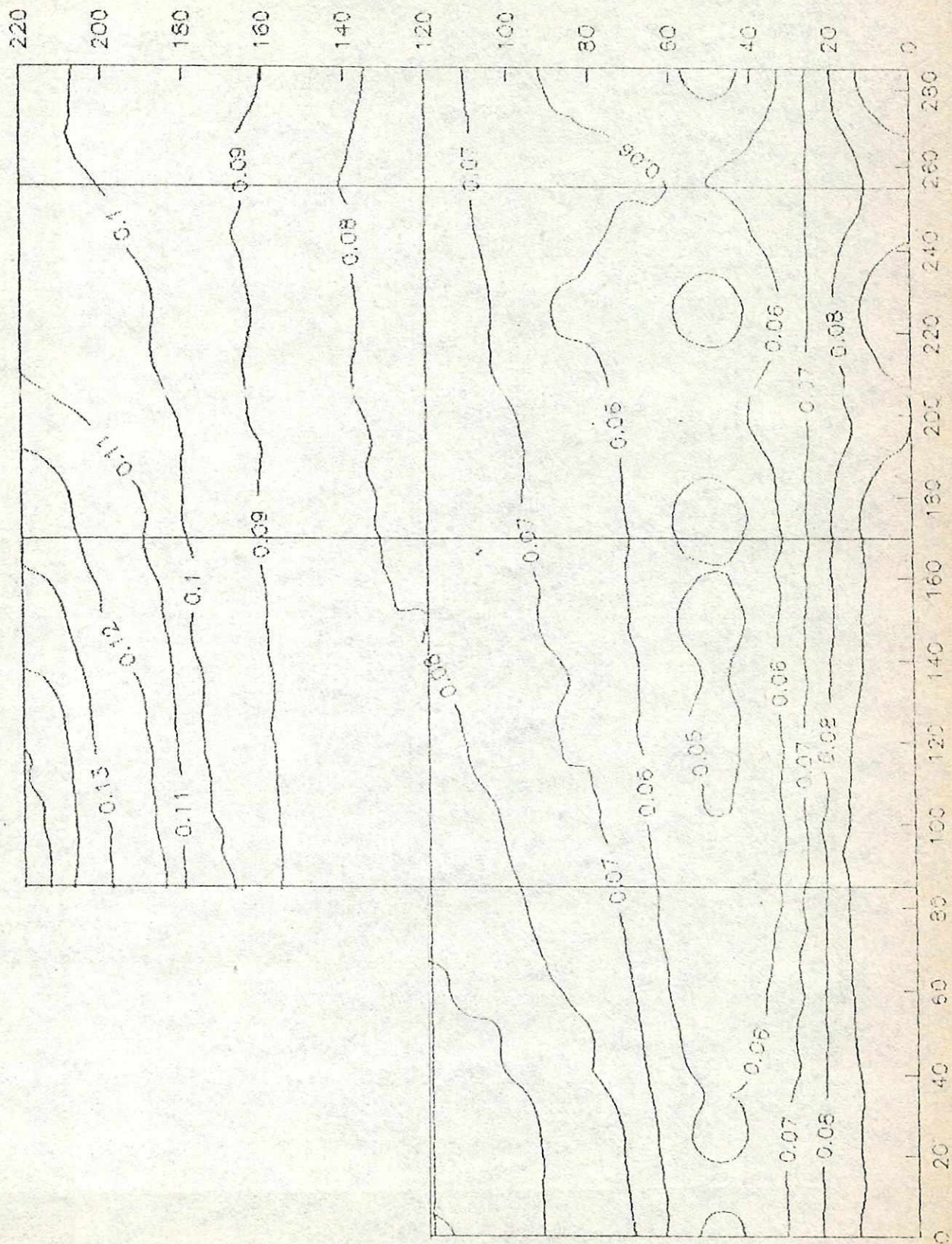
Nodo 1 Talud zona 15 + sismo SNZ



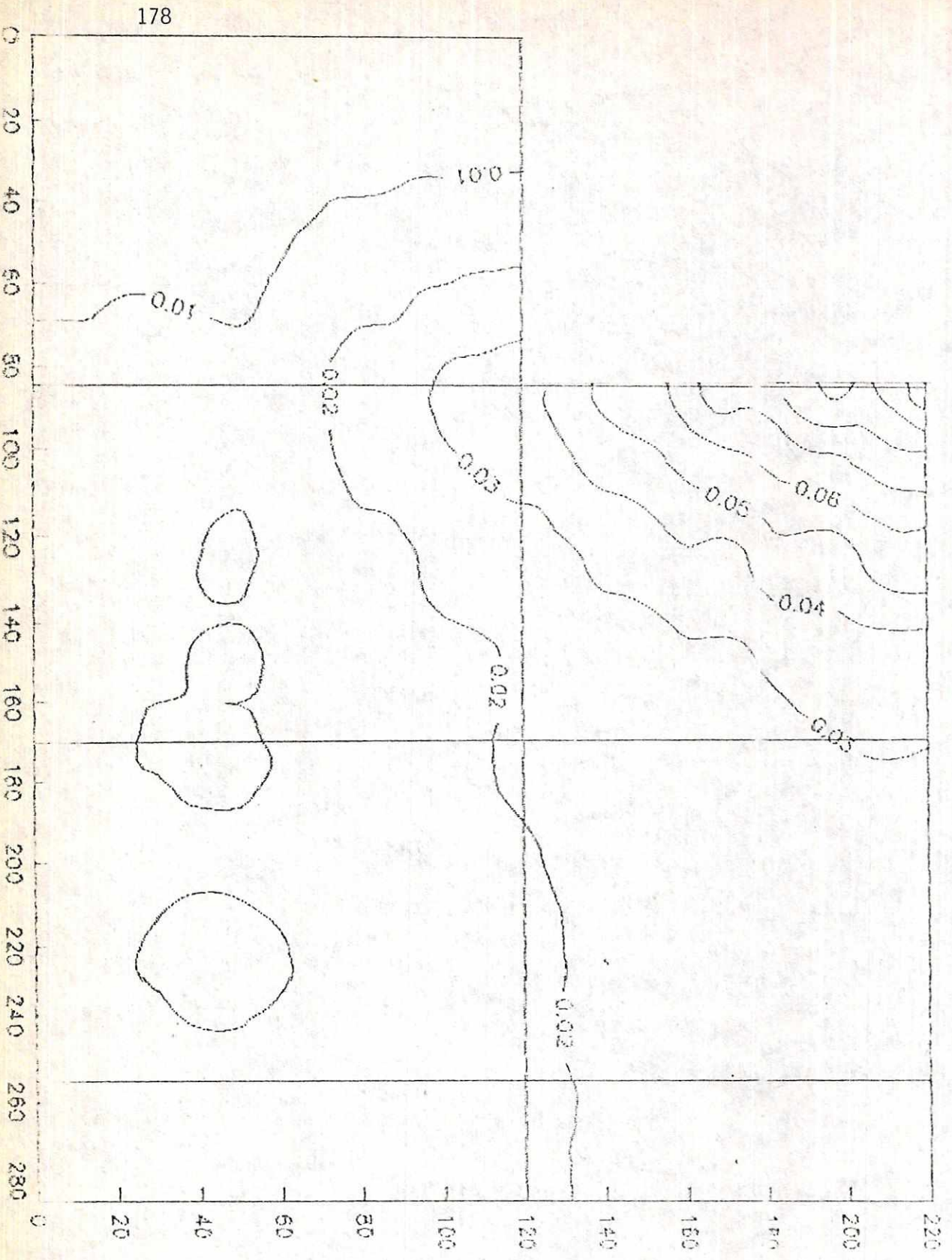
APENDICE E

Gráficas de isoaceleraciones en X y Y.

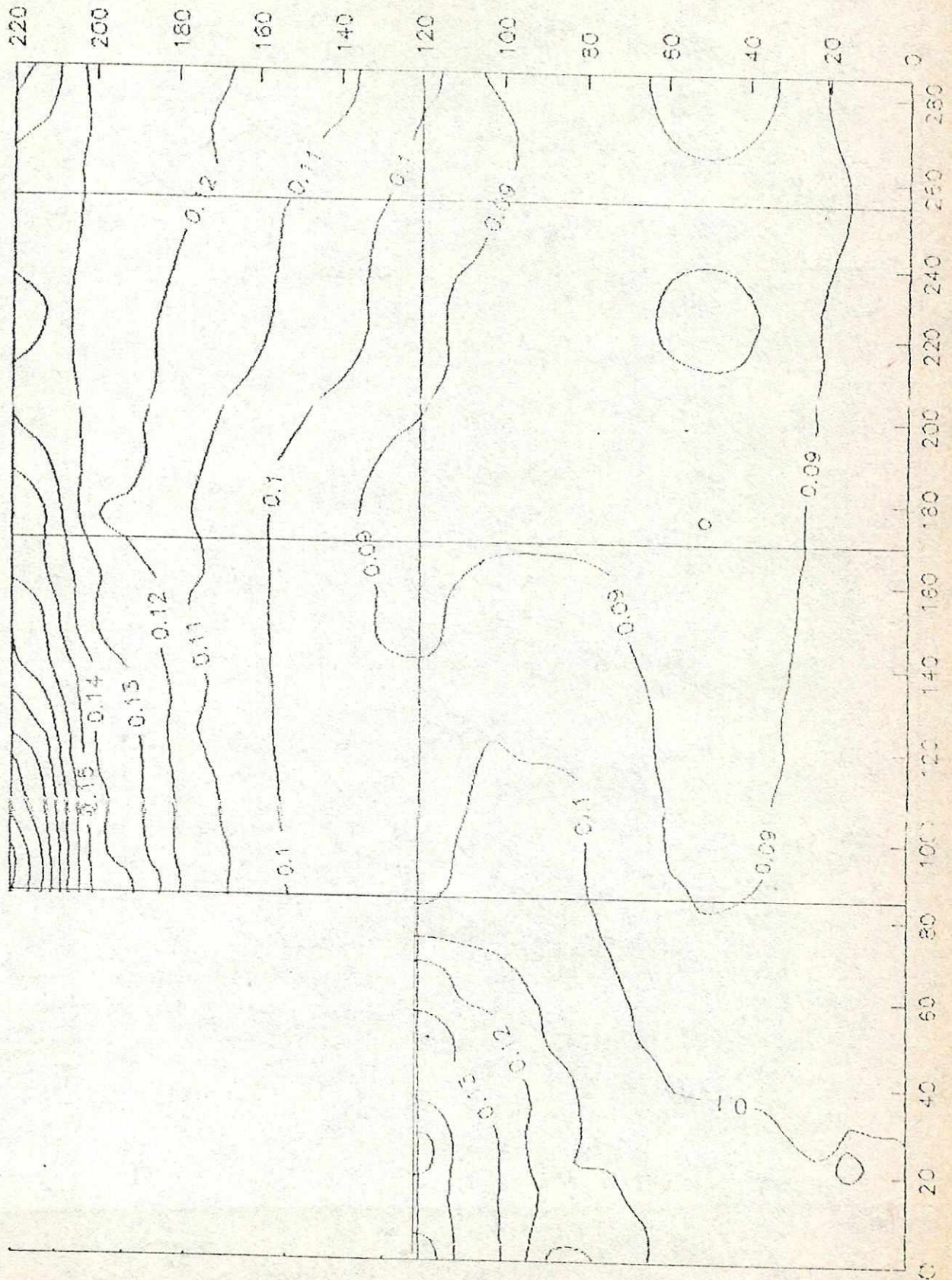
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 1



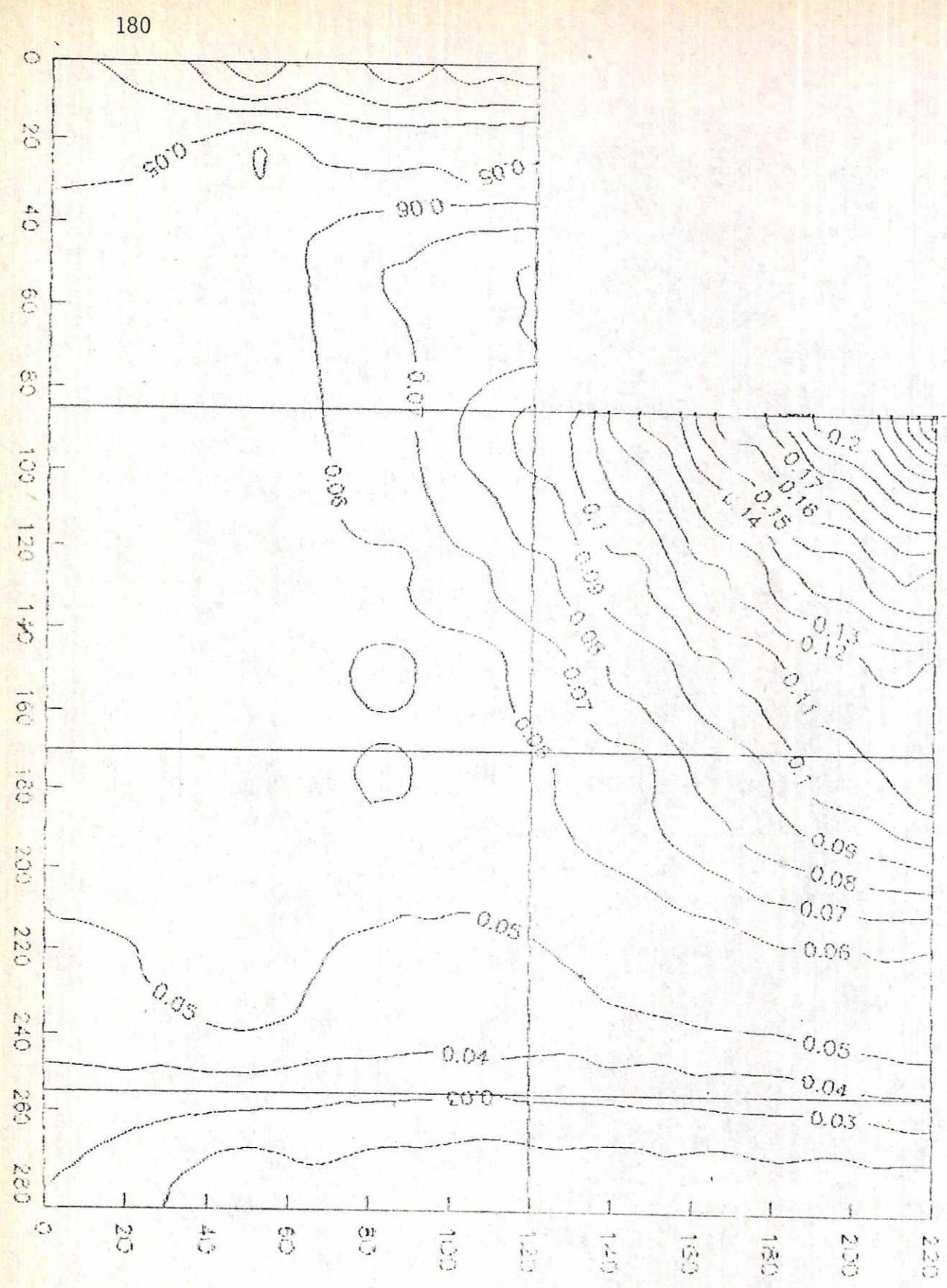
Aceleracion en Y (g), Talud 1, Sismo 1



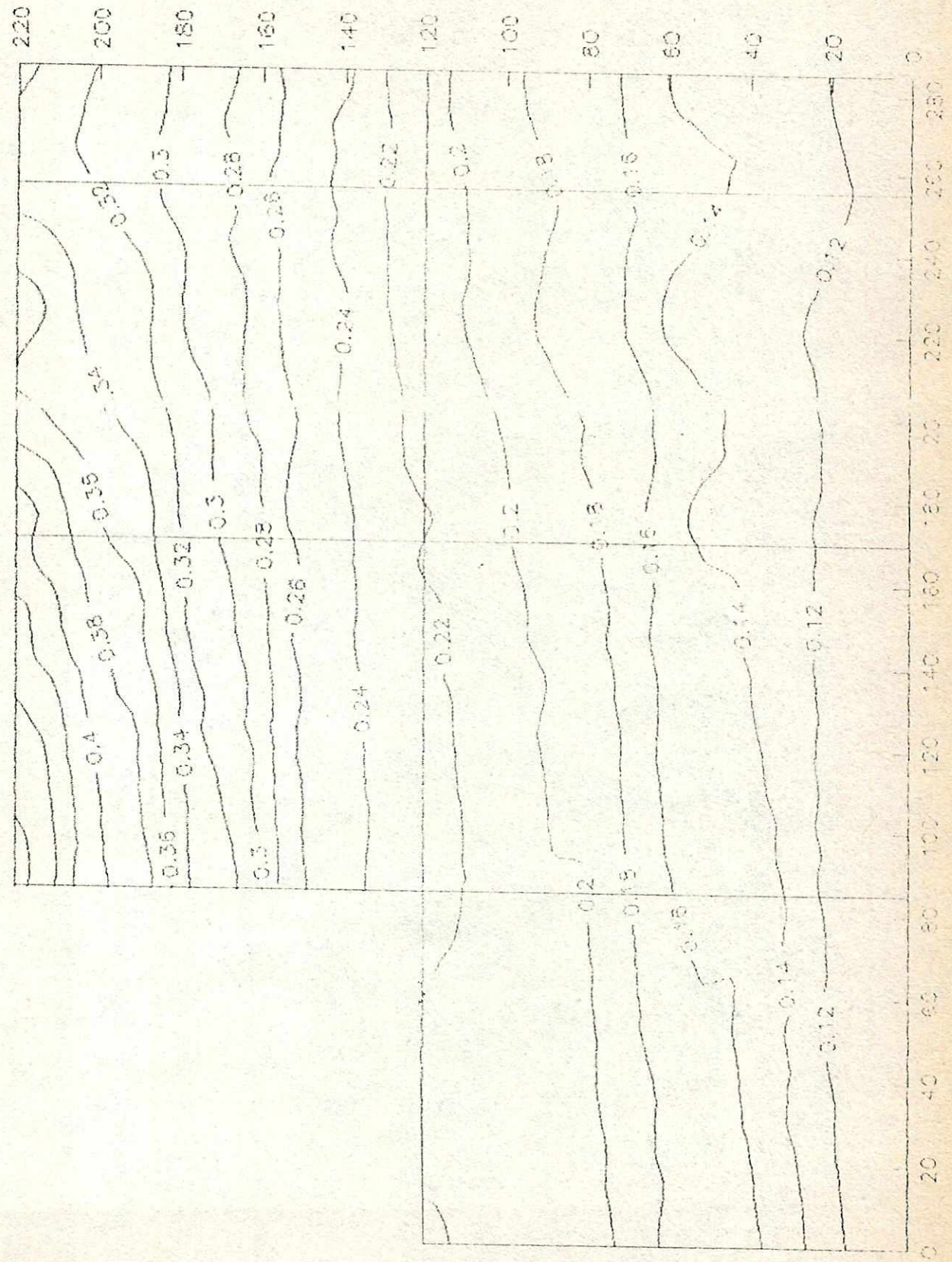
Aceleracion en X (g), Tolud 1, Sismo 2



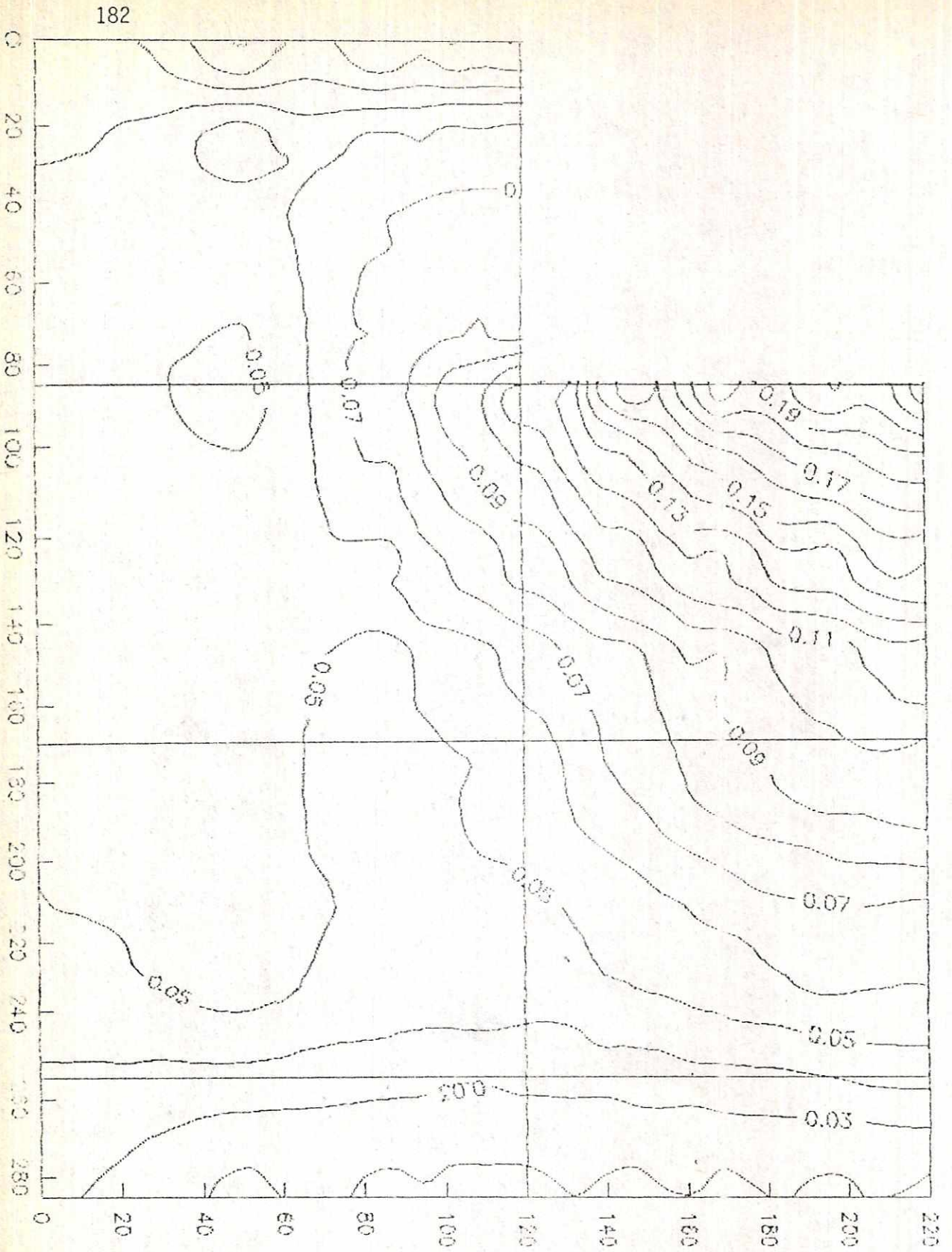
Aceleracion en Y (g), Tolud 1, Sismo 2



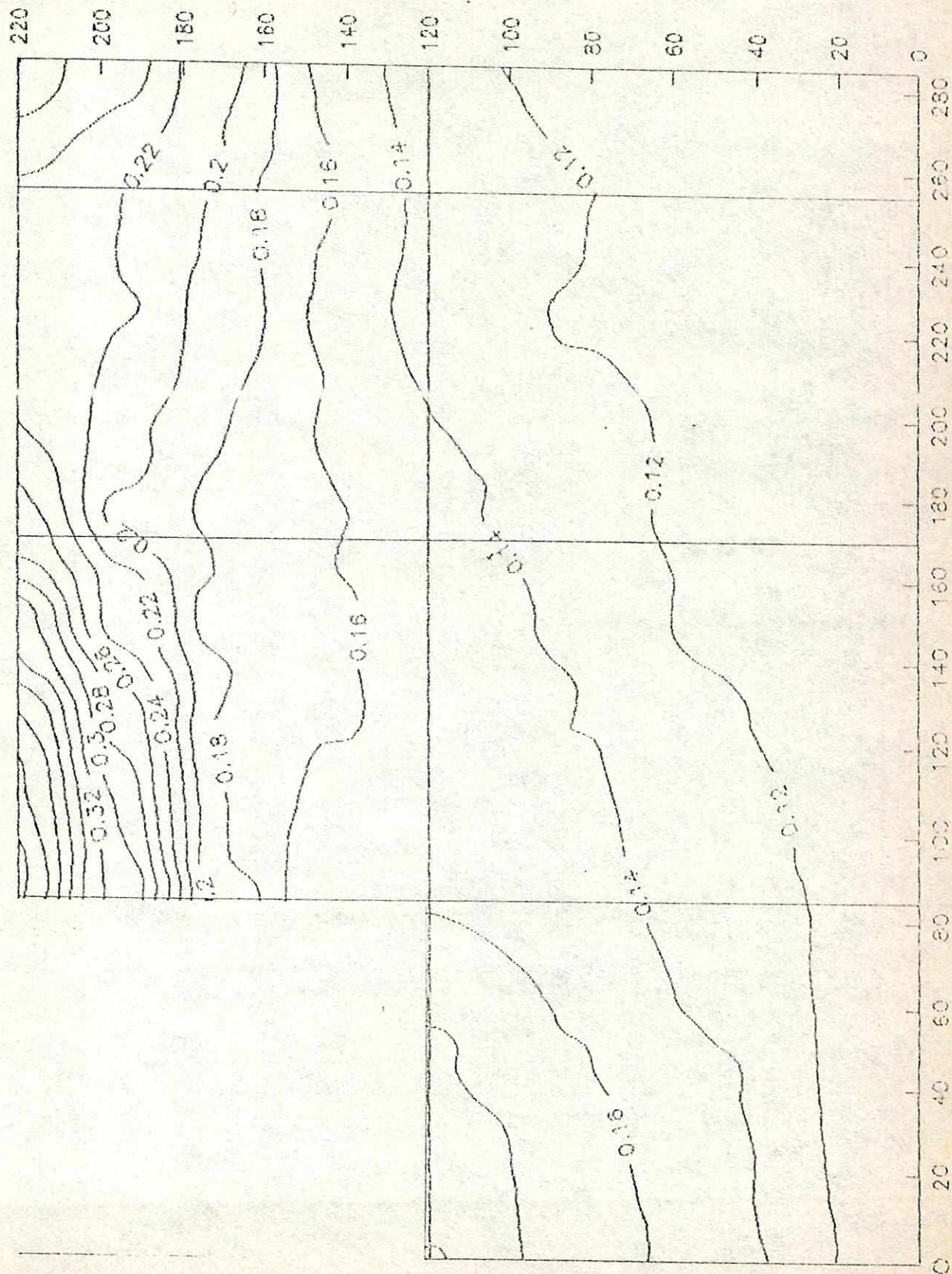
Aceleracion en X (g). Talud 1, Sismo 3



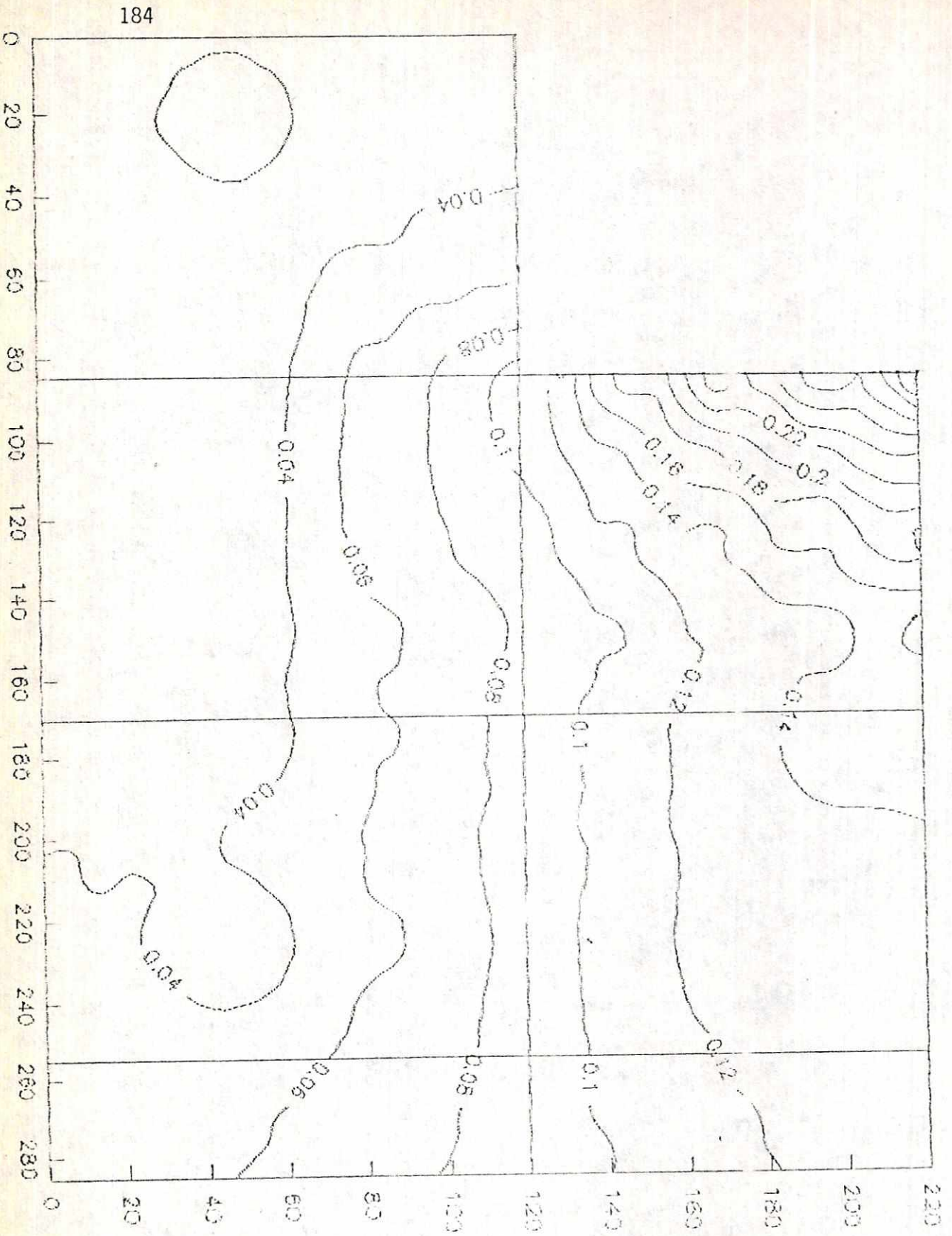
Aceleracion en Y (g), Talud 1, Sismo 3



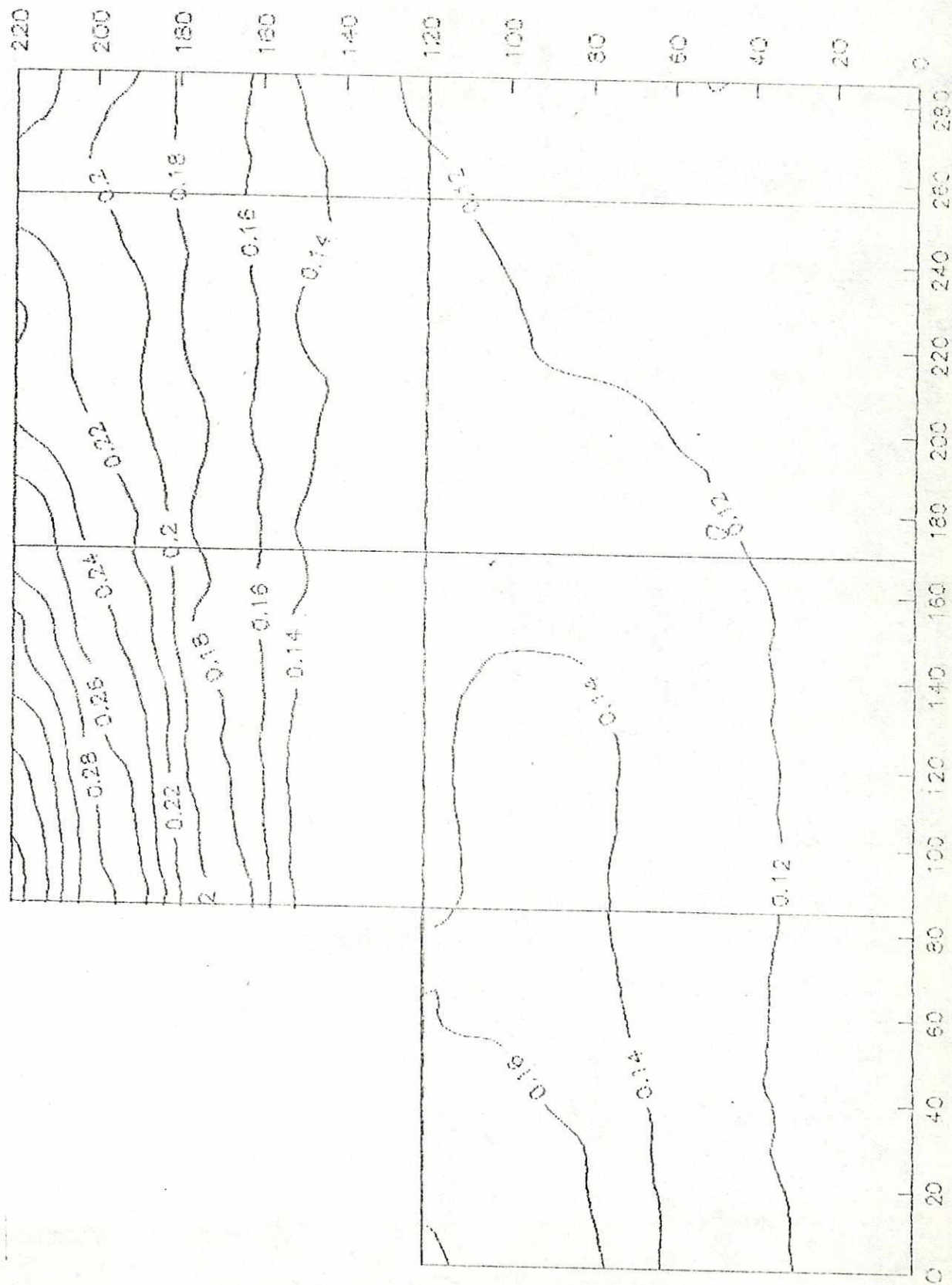
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 4



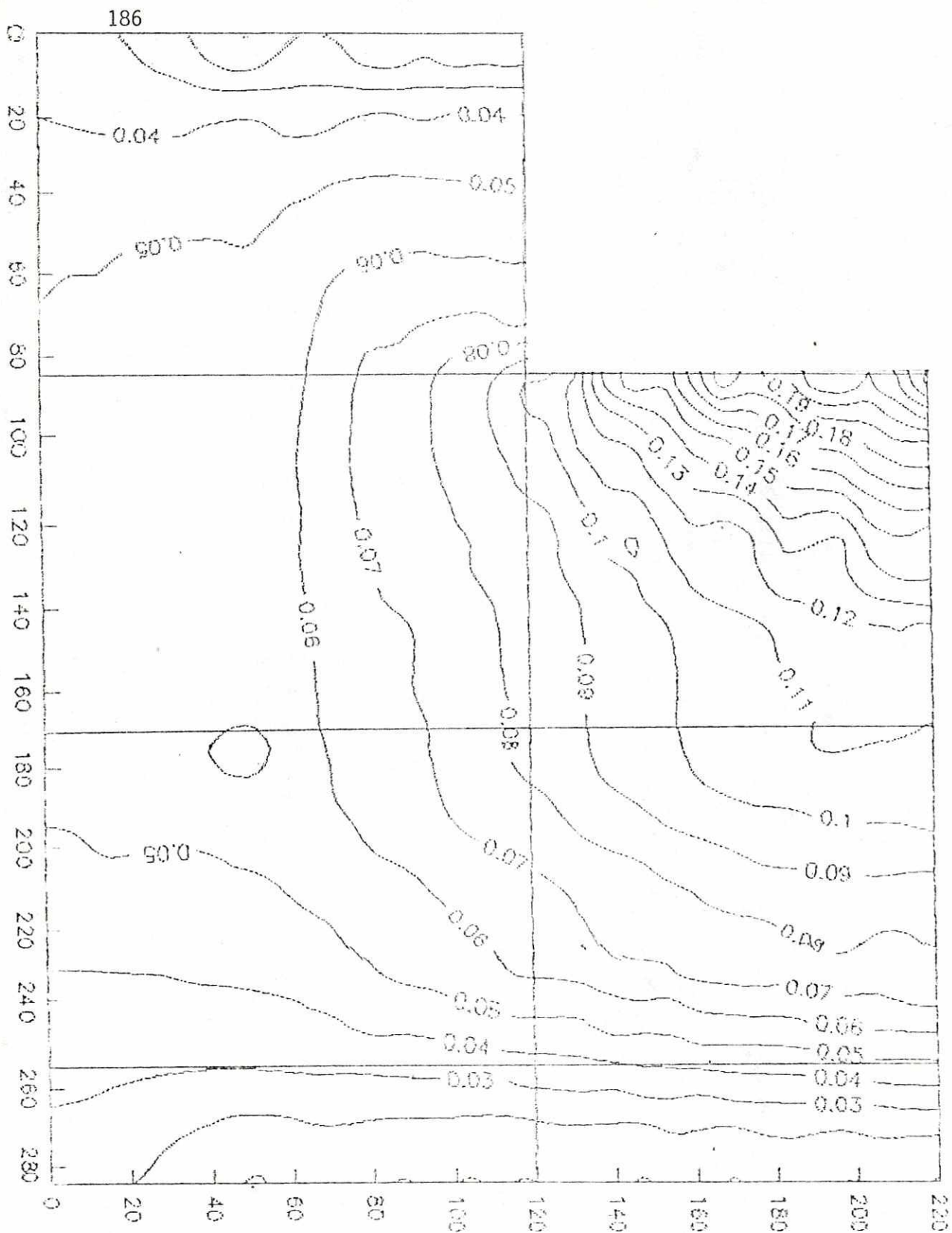
Aceleracion en Y (g). Talud 1, Sismo 4



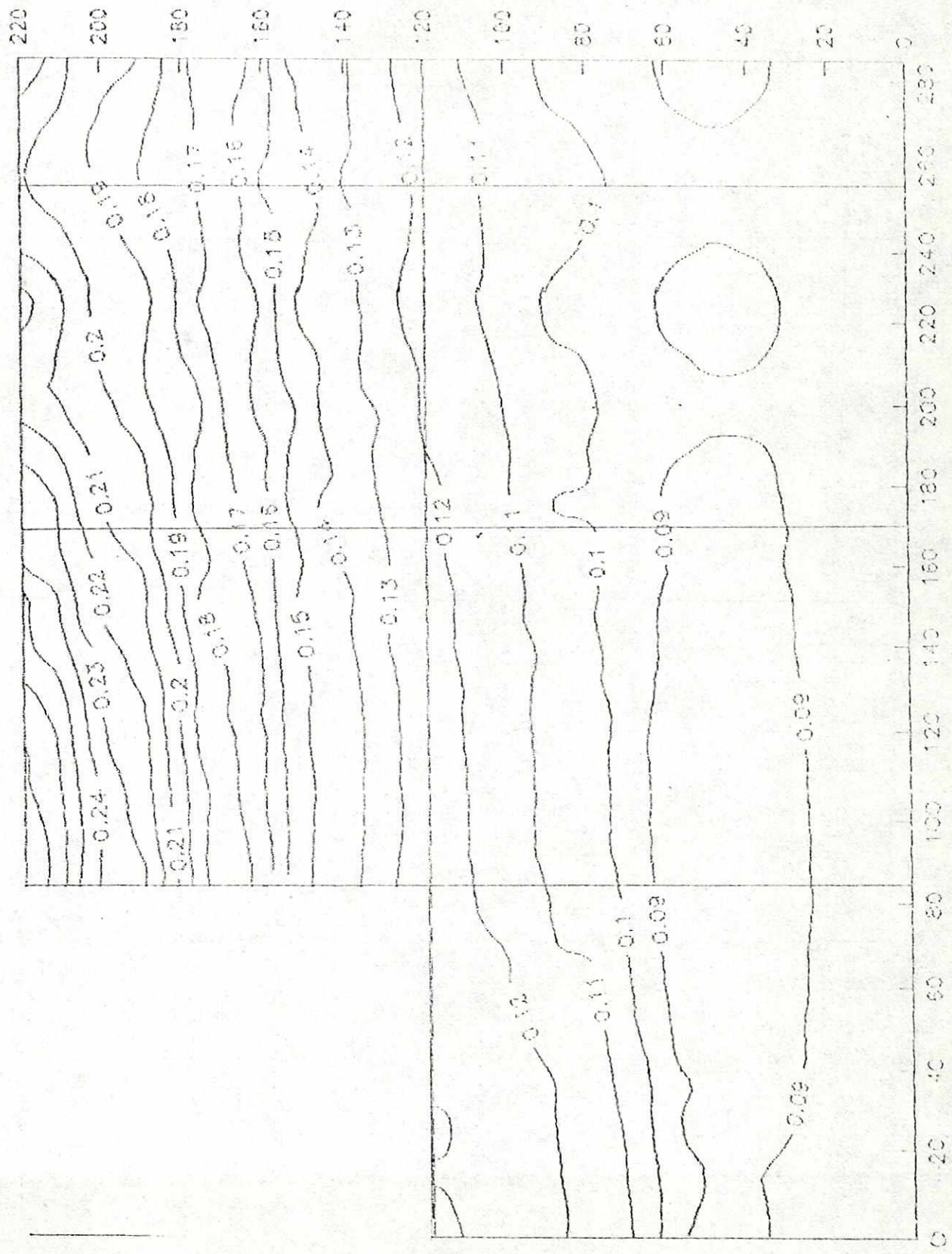
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 5



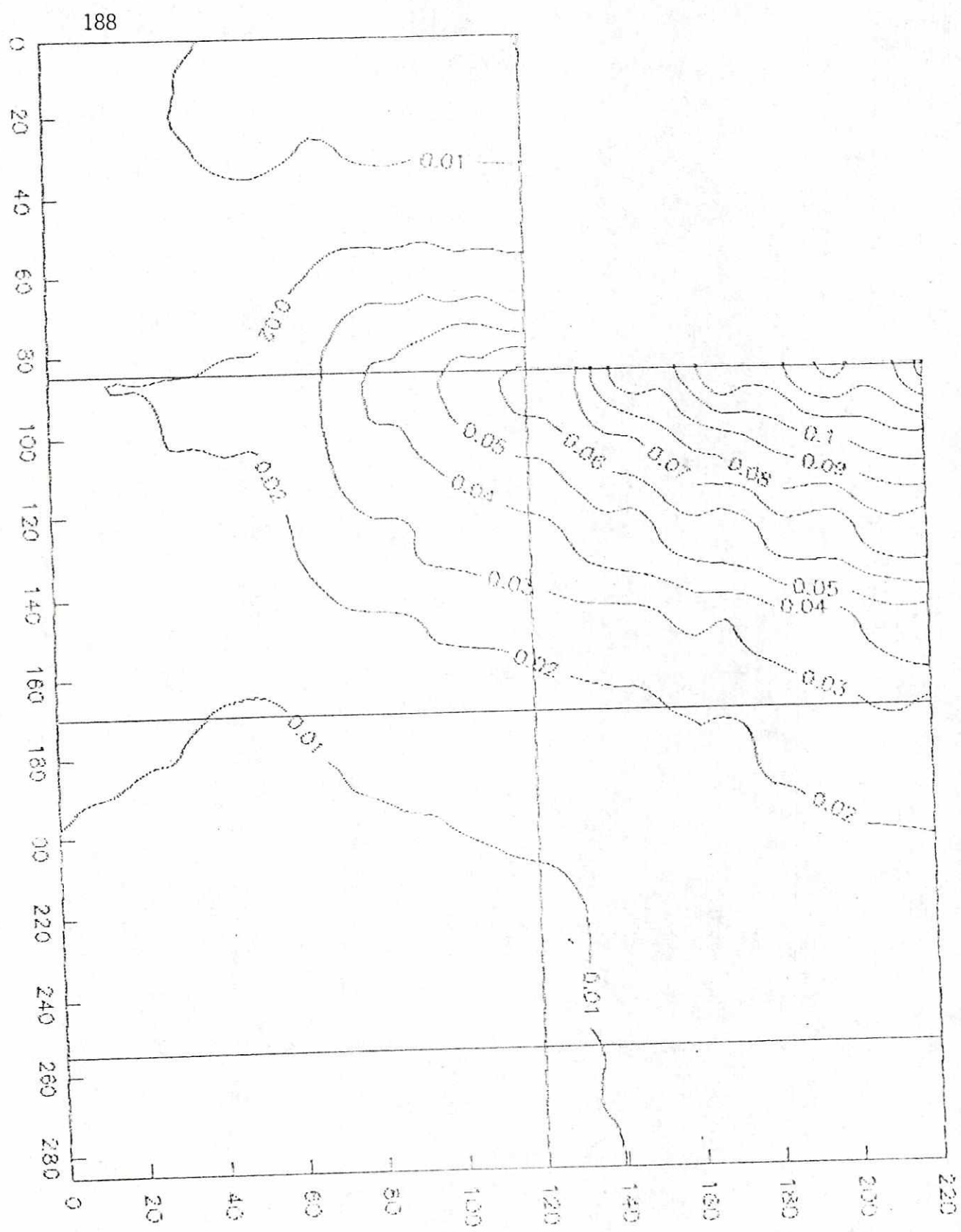
Aceleracion en Y (g), Talud 1, Sismo 5



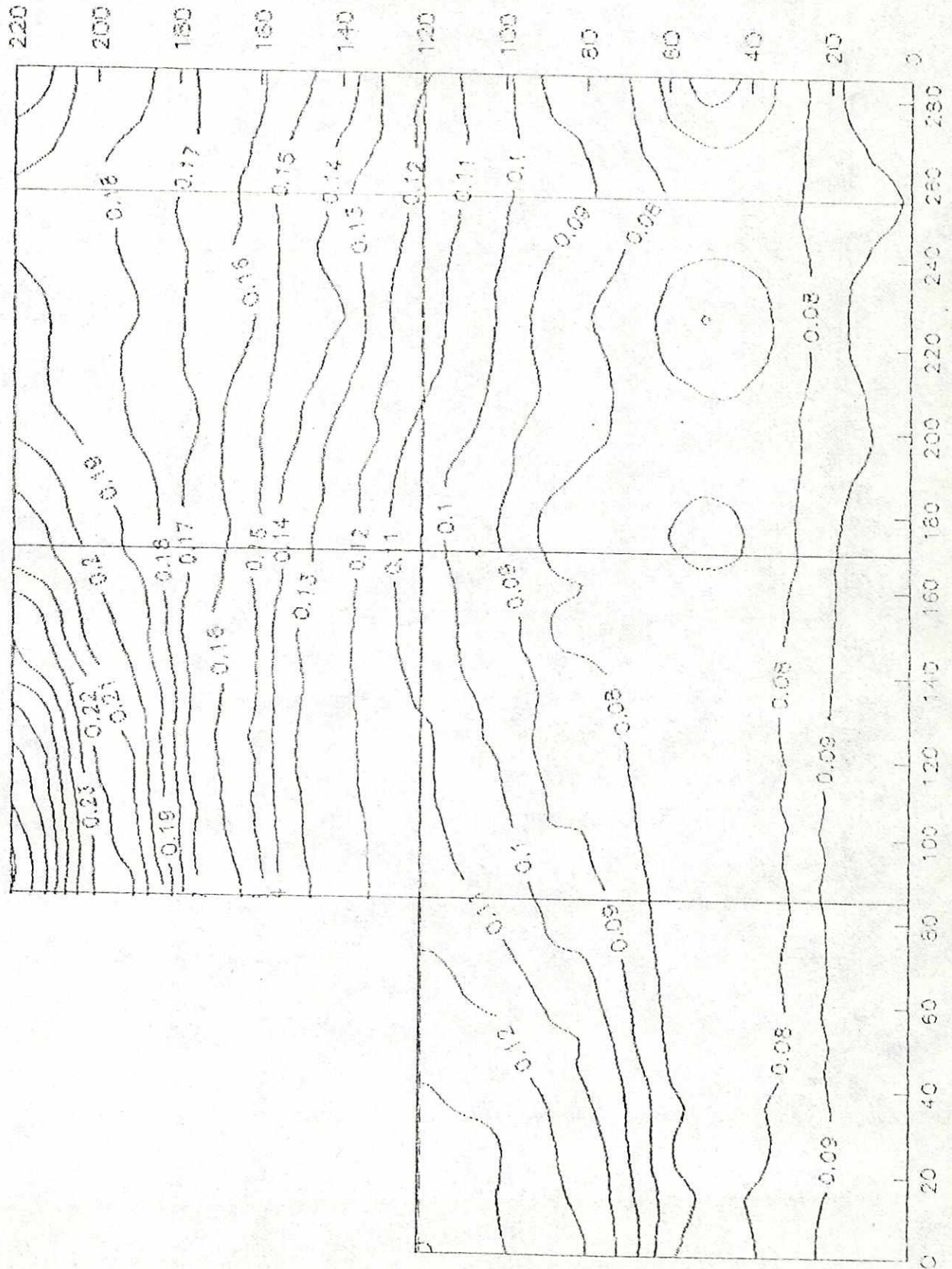
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 6



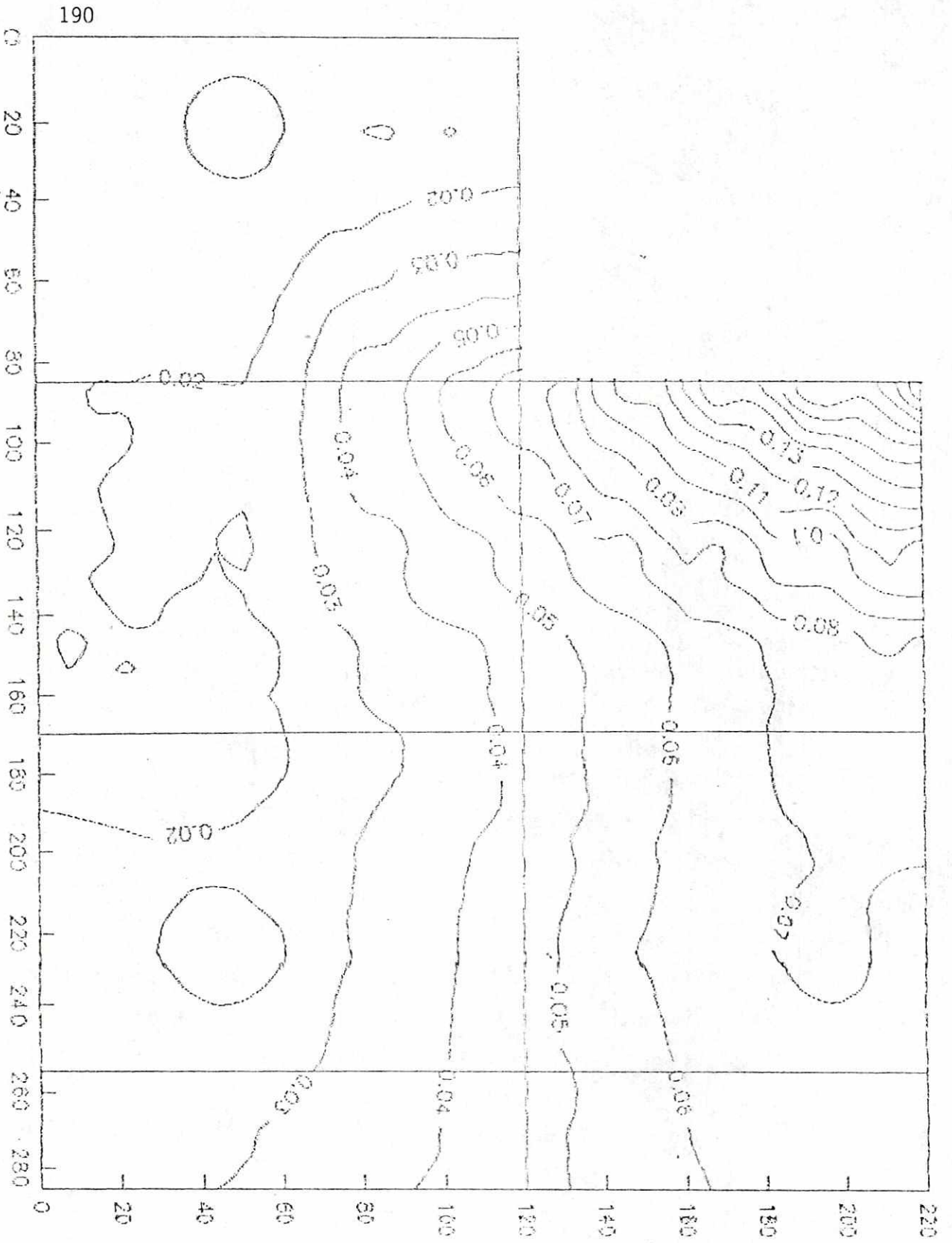
Aceleración en Y (g). Talud 1, Sismo 6



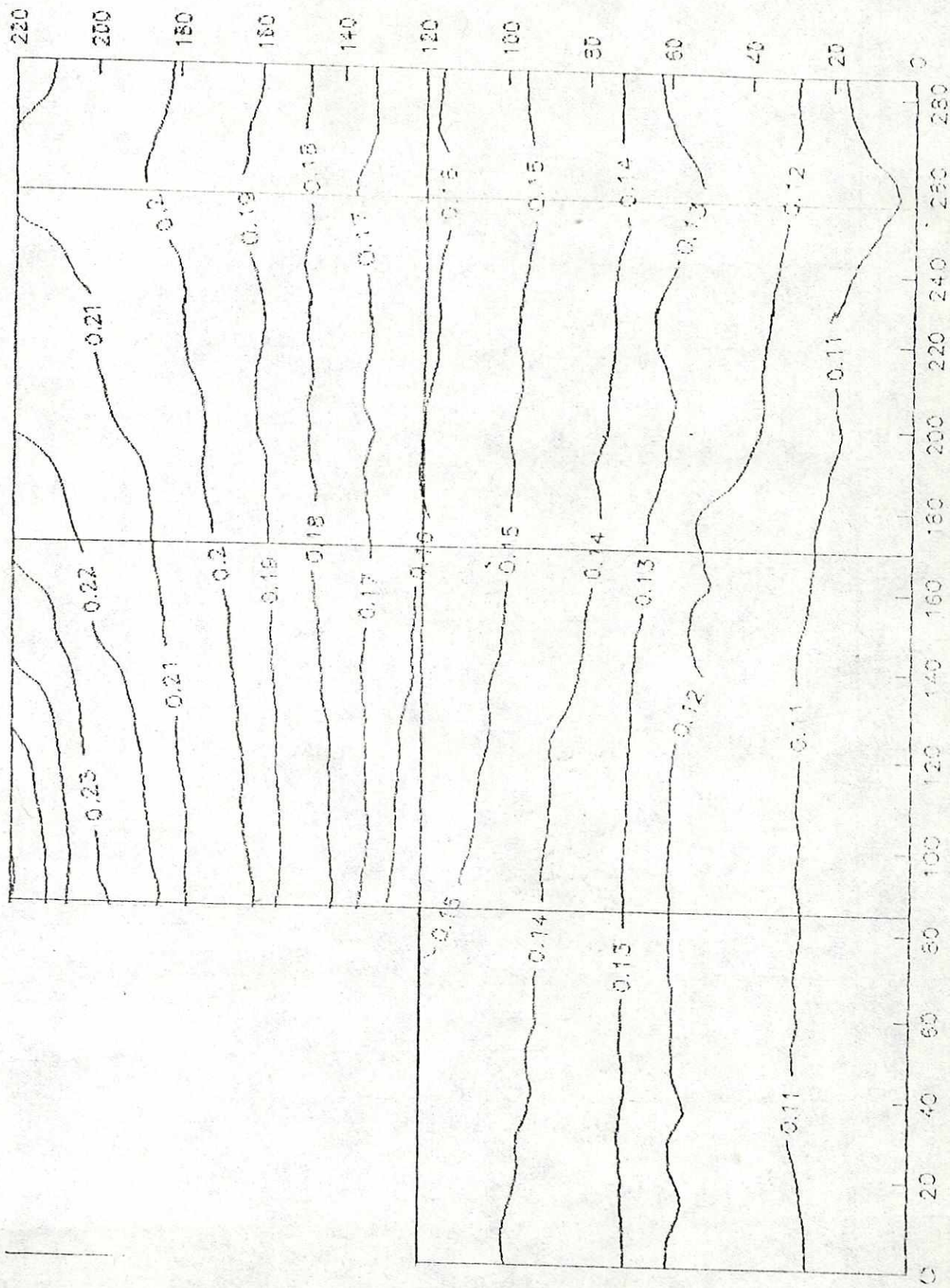
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 7



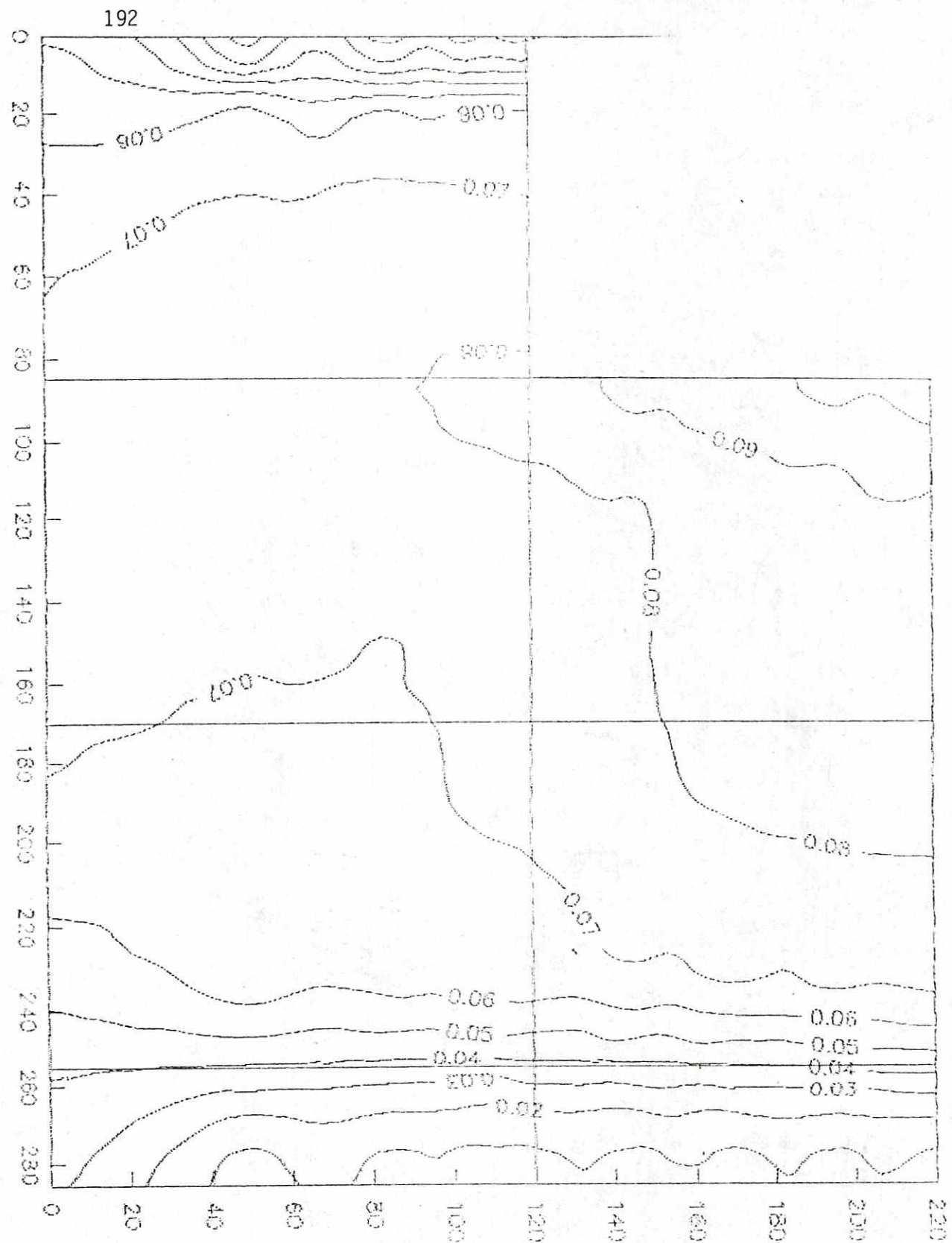
Aceleración en Y (g). Talud 1, Sismo 7



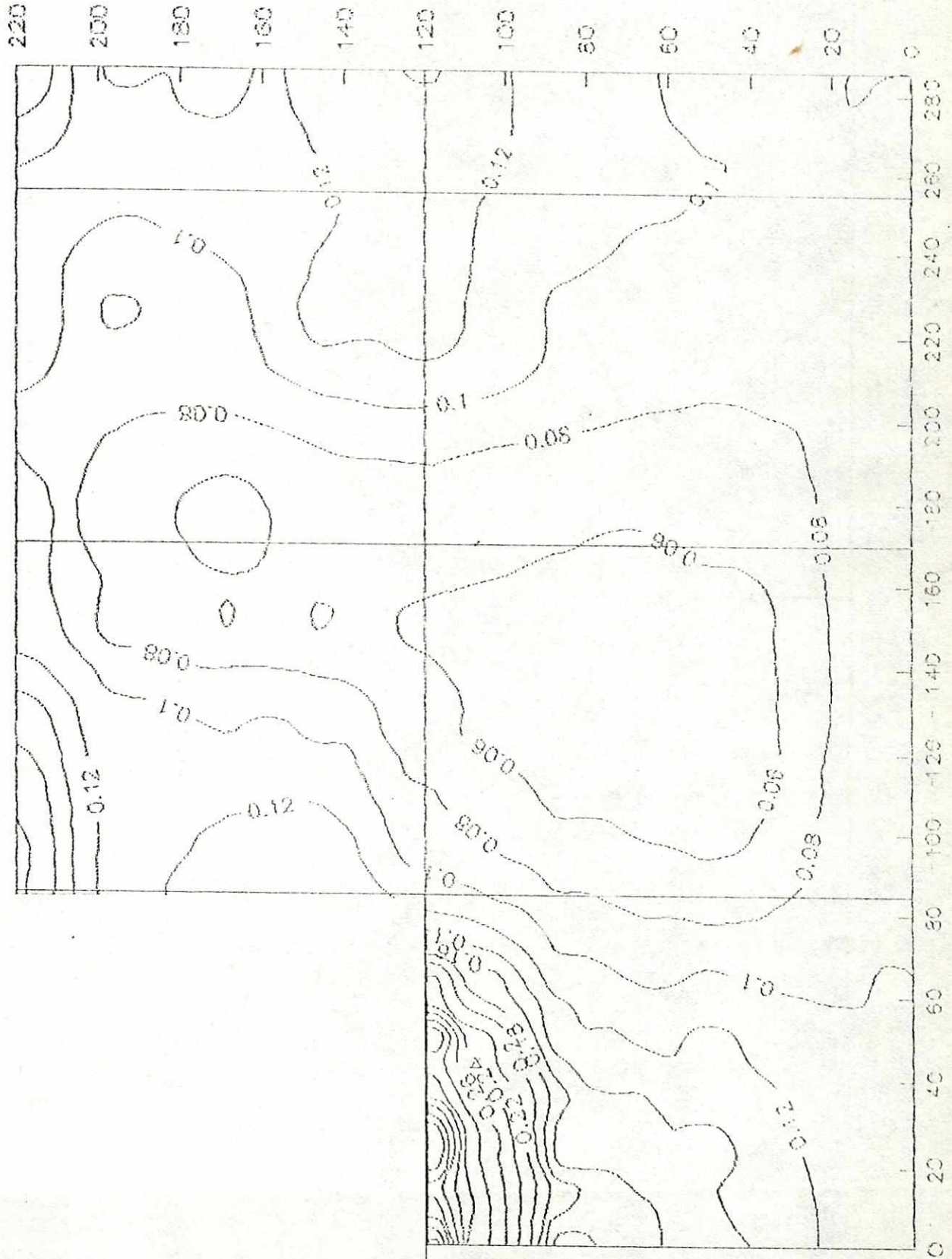
Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 8



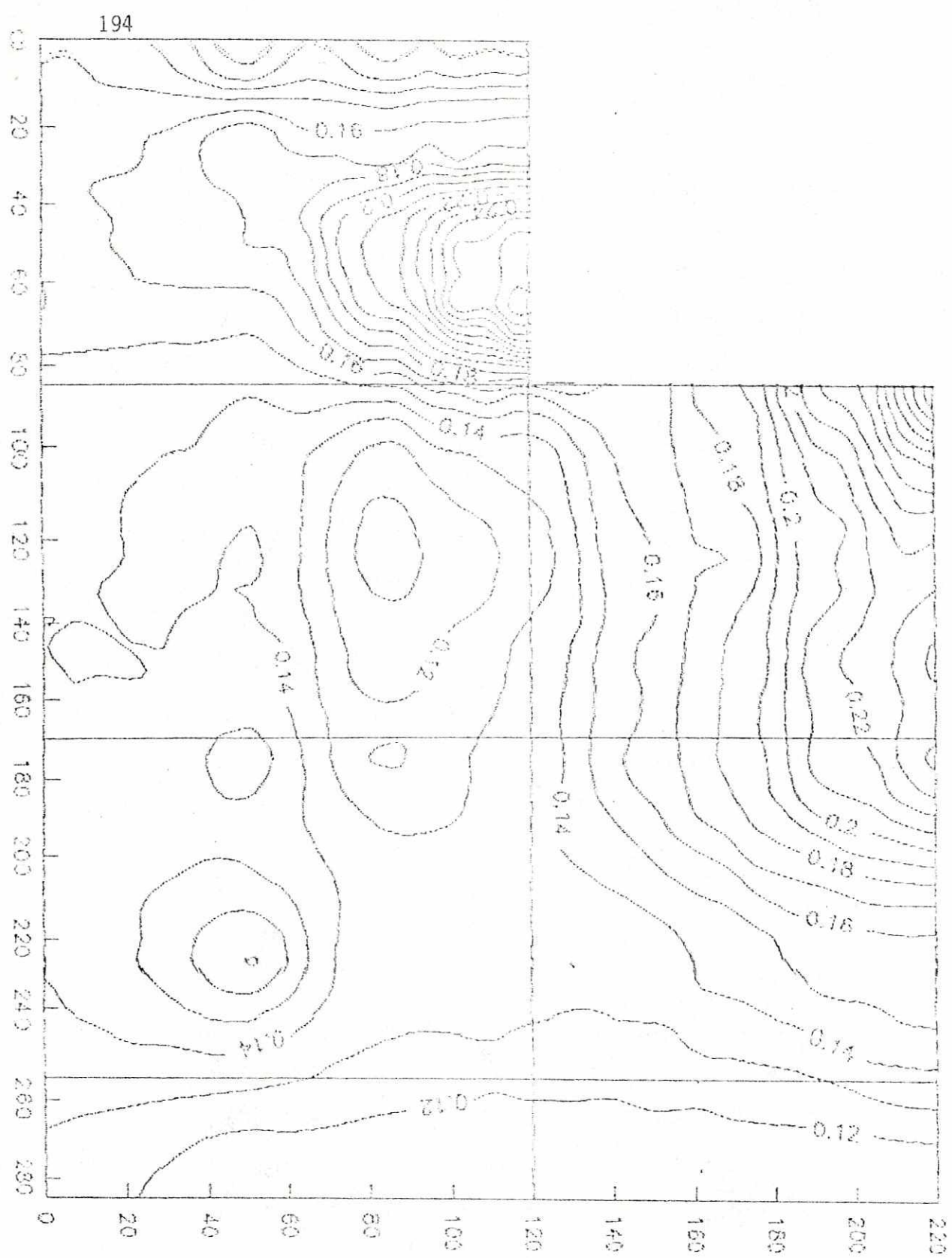
Acceleracion en Y (g), Talud 1, Sismo 8



Aceleracion en X (g), Talud 1, Sismo 9



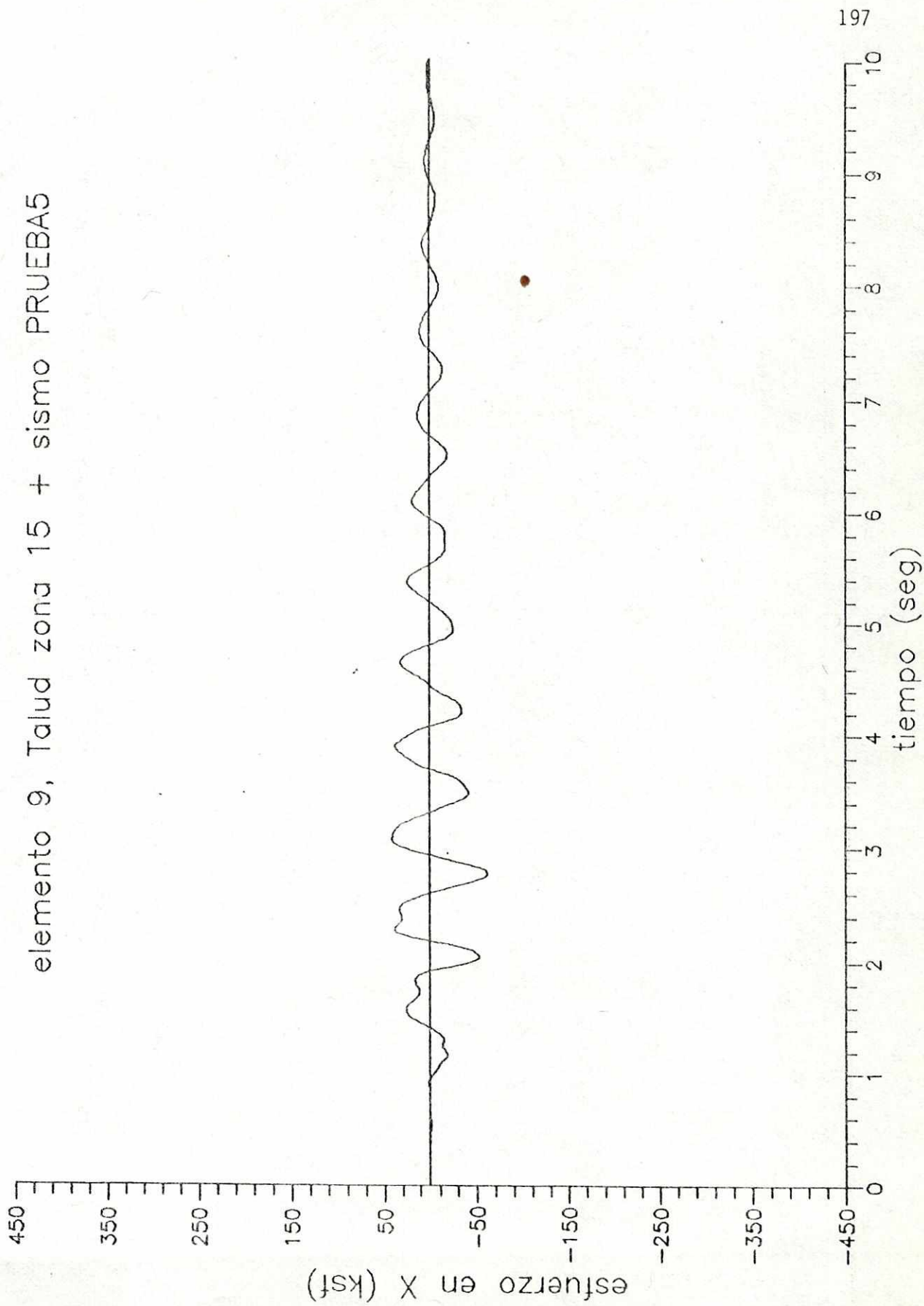
Acceleracion en Y (g). Talud 1, Sismo 93



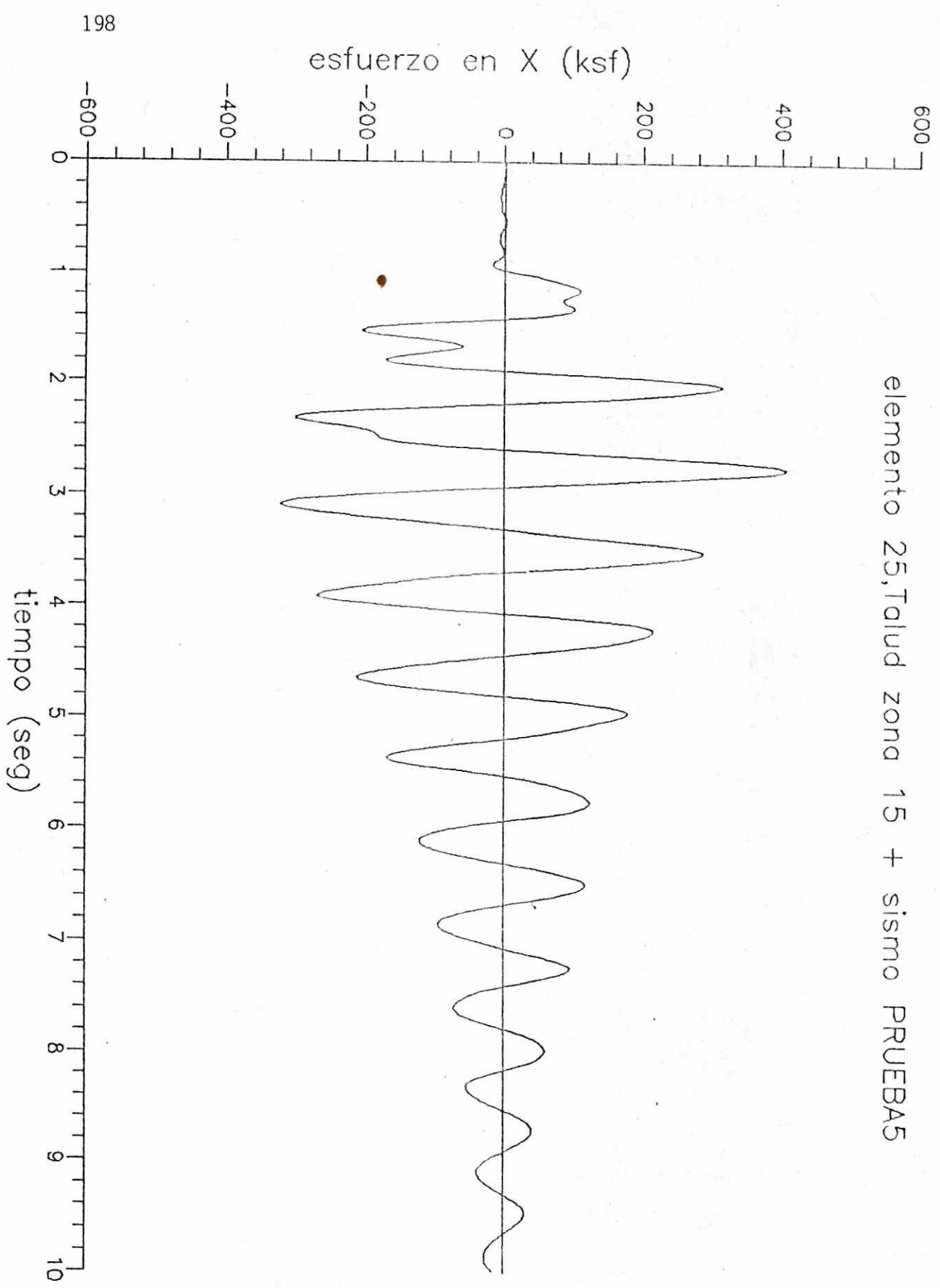
APENDICE 6

Gráficas de la historia de esfuerzos en X.

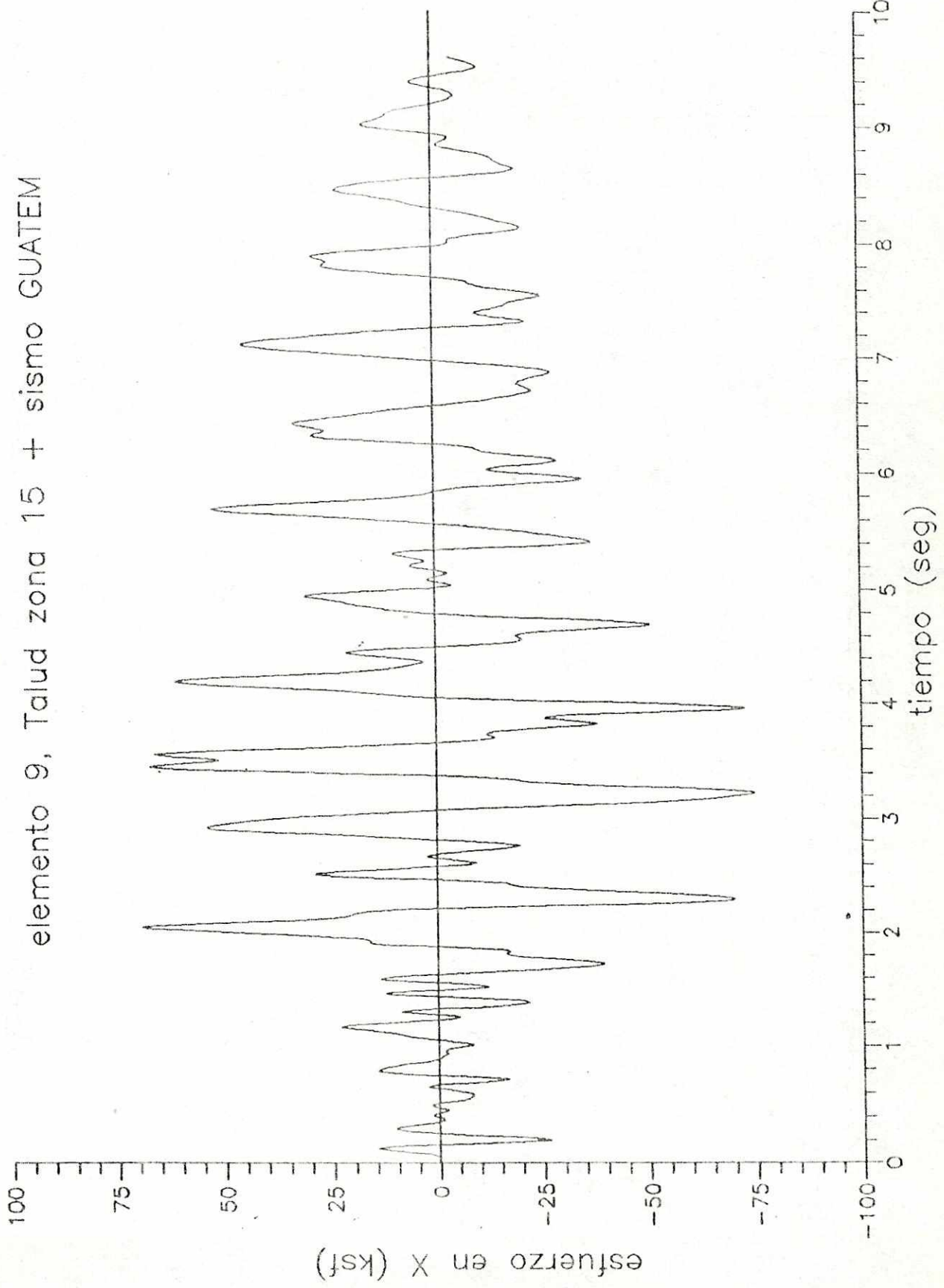
elemento 9, Talud zona 15 + sismo PRUEBA5



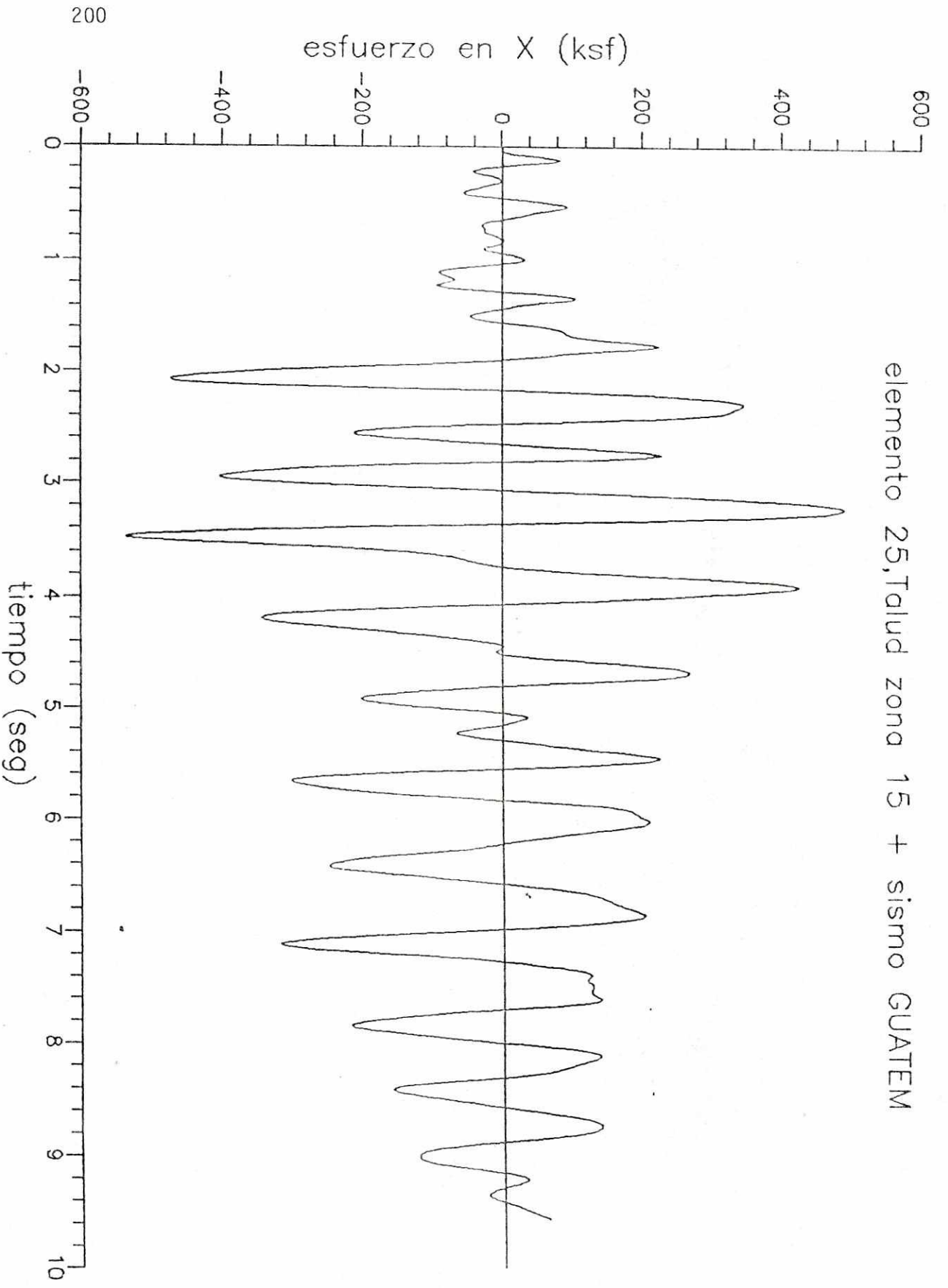
elemento 25, Talud zona 15 + sismo PRUEBAS



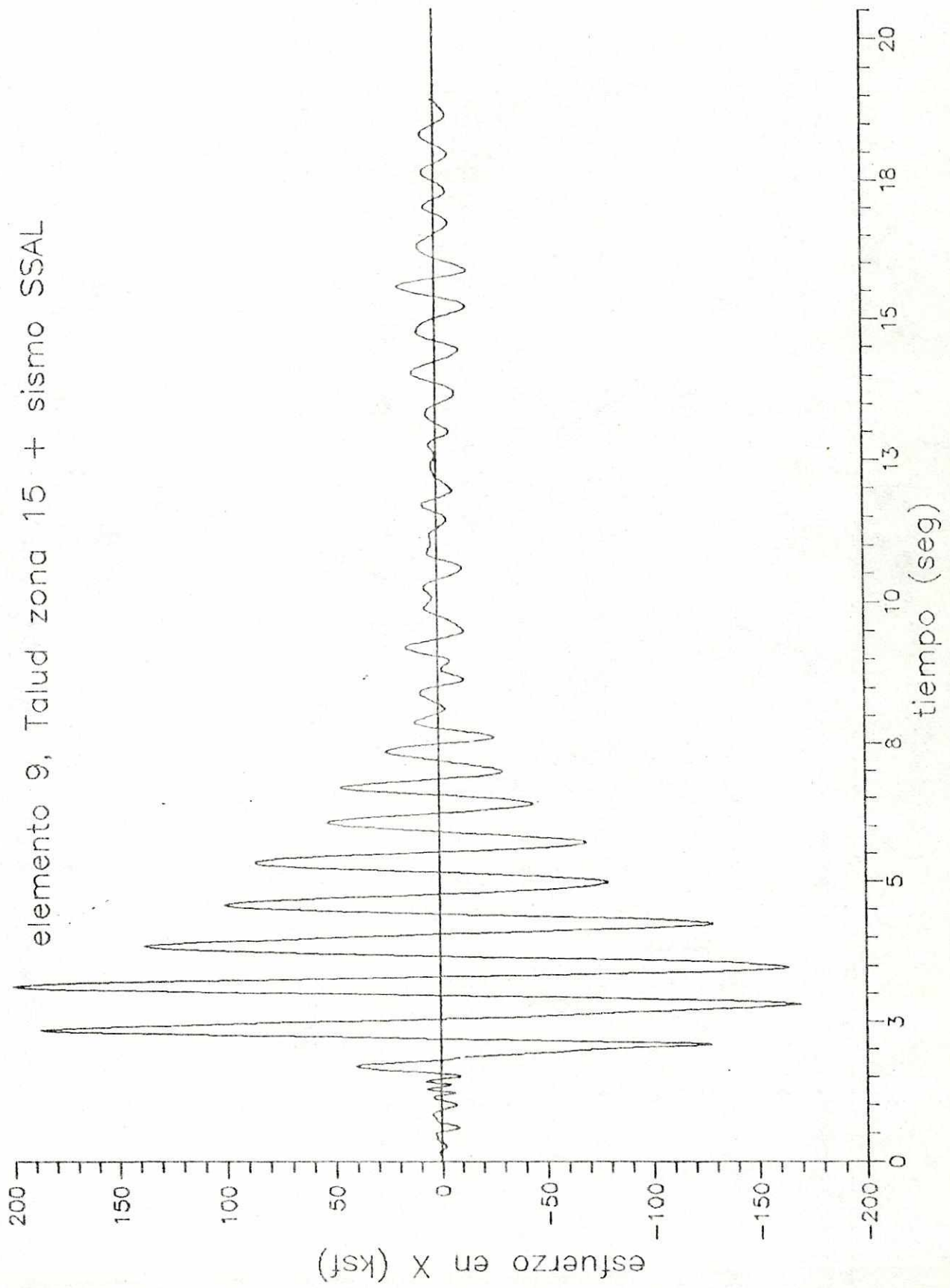
elemento 9, Talud zona 15 + sismo GUATEM



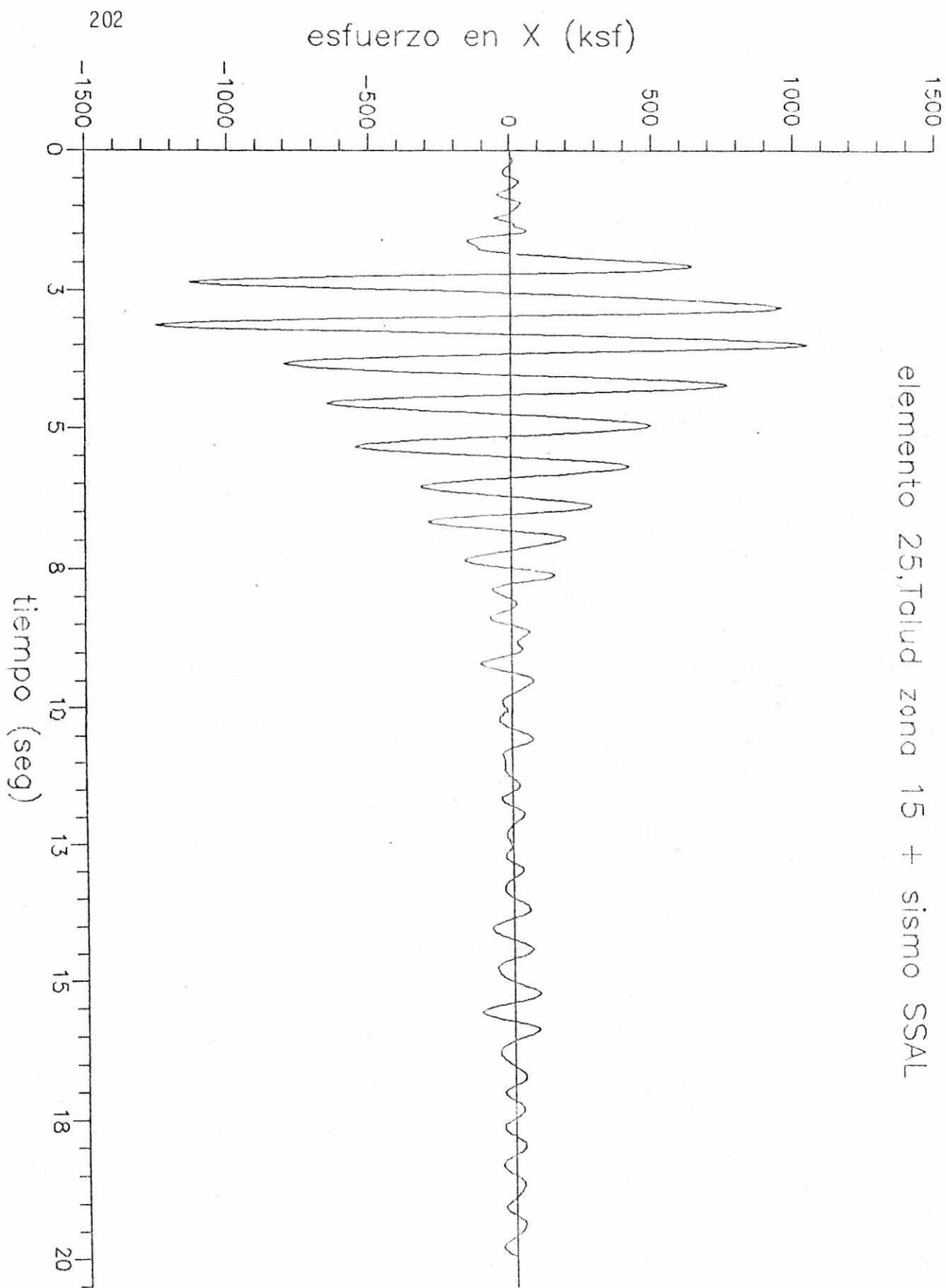
elemento 25, Talud zona 15 + sismo GUAITEM



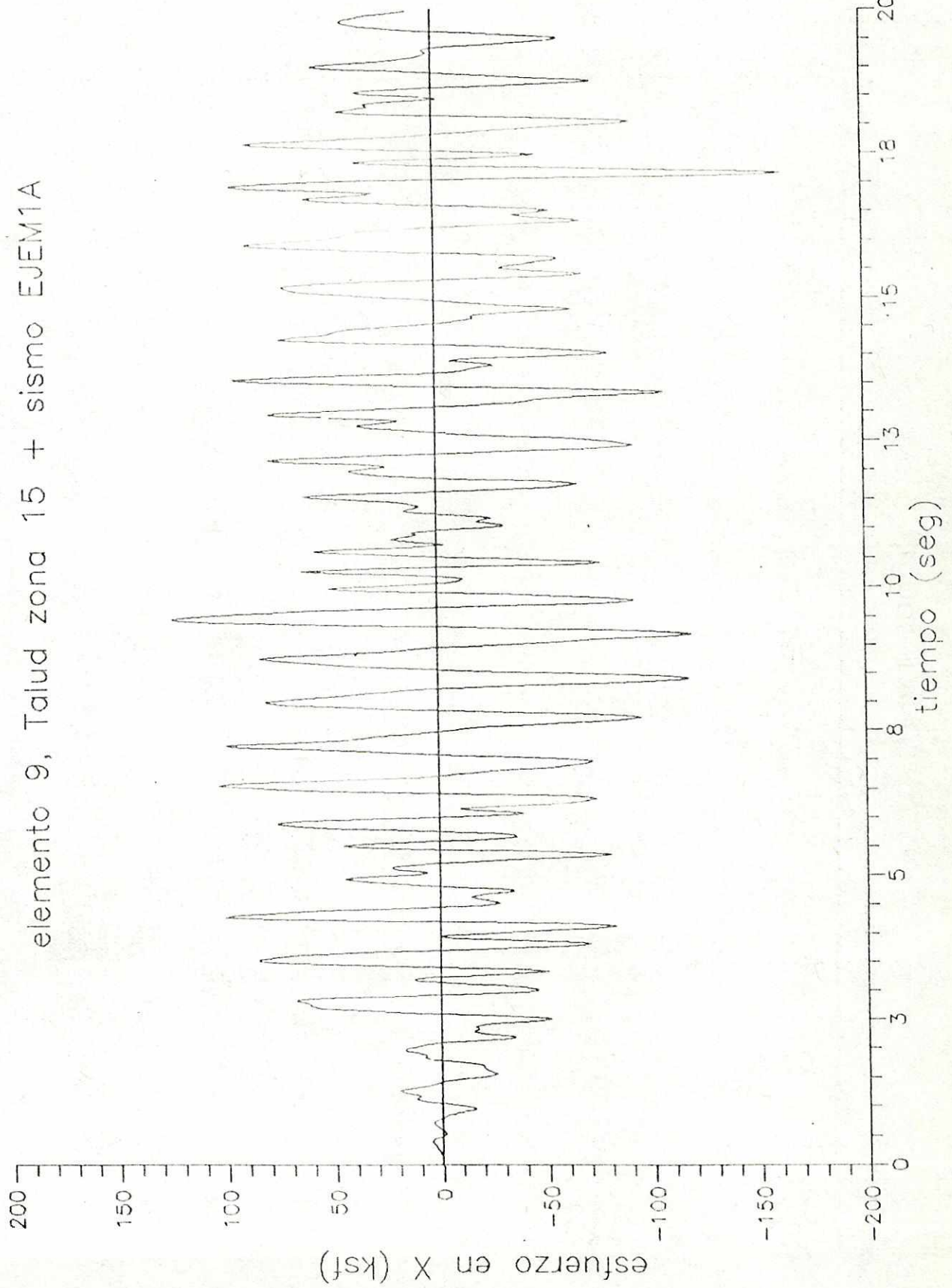
elemento 9, Talud zona 15 + sismo SSAL



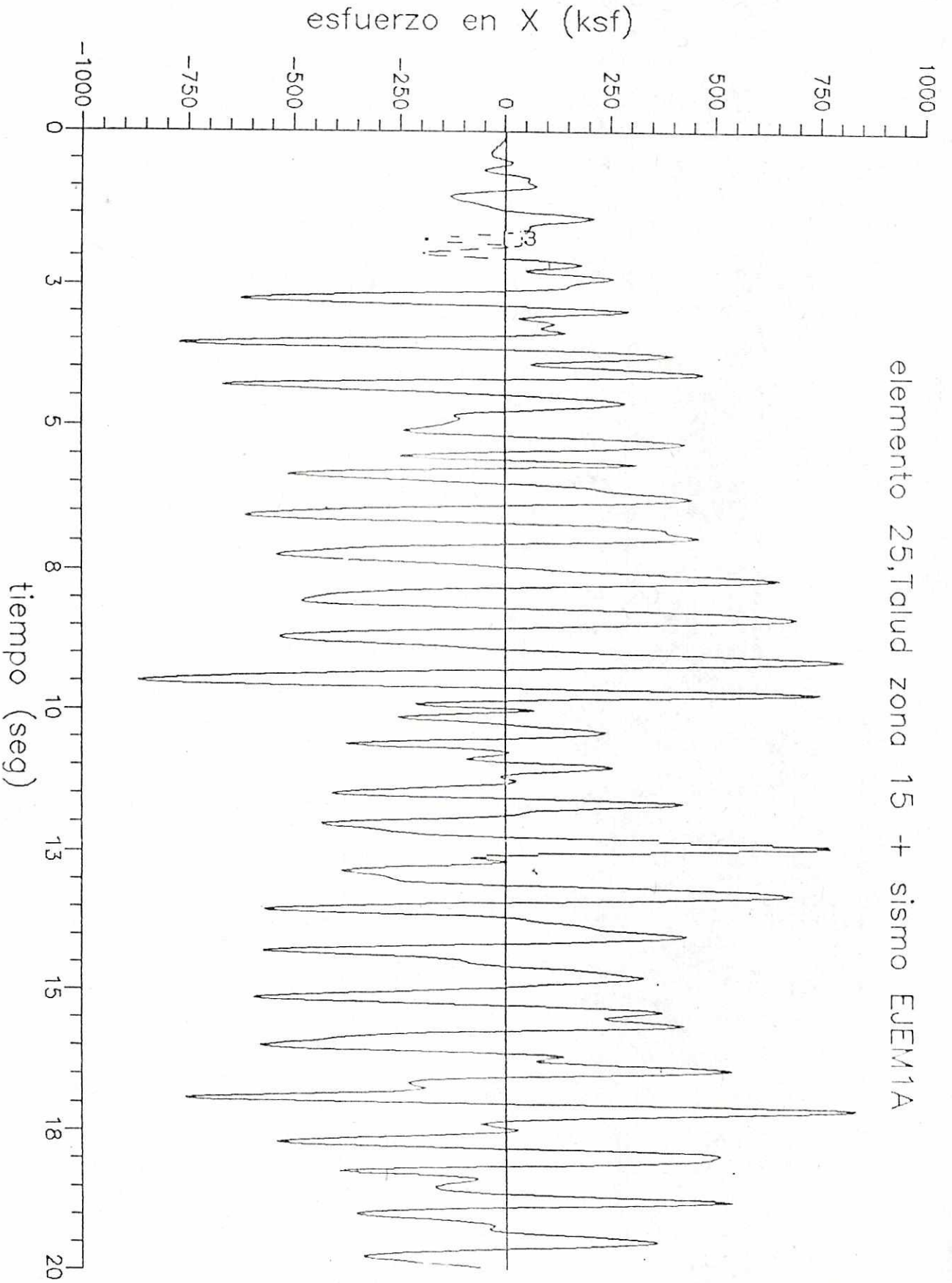
elemento 25, Tolud zona 15 + sismo SSAL



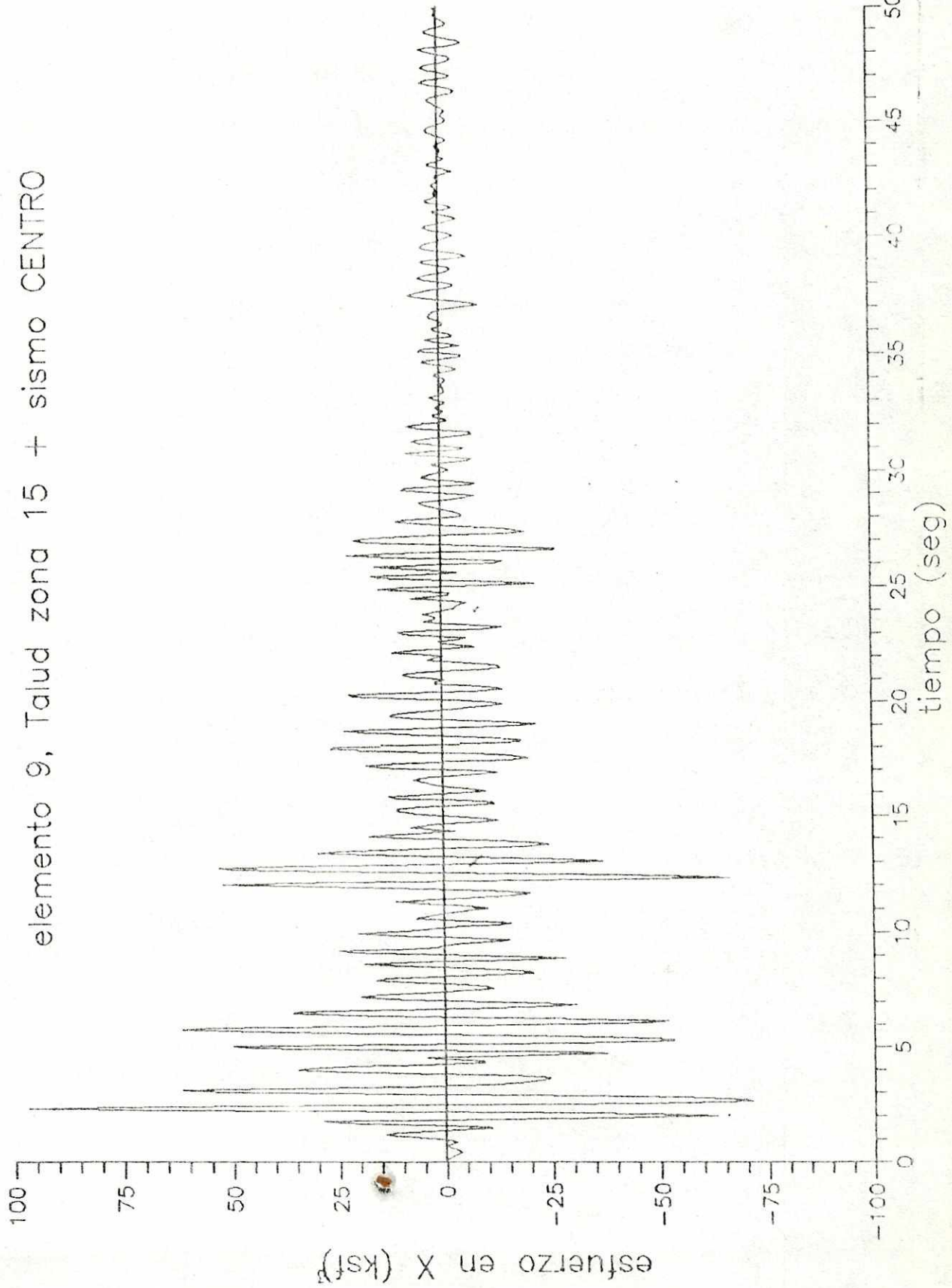
elemento 9, Talud zona 15 + sismo EJE M1A



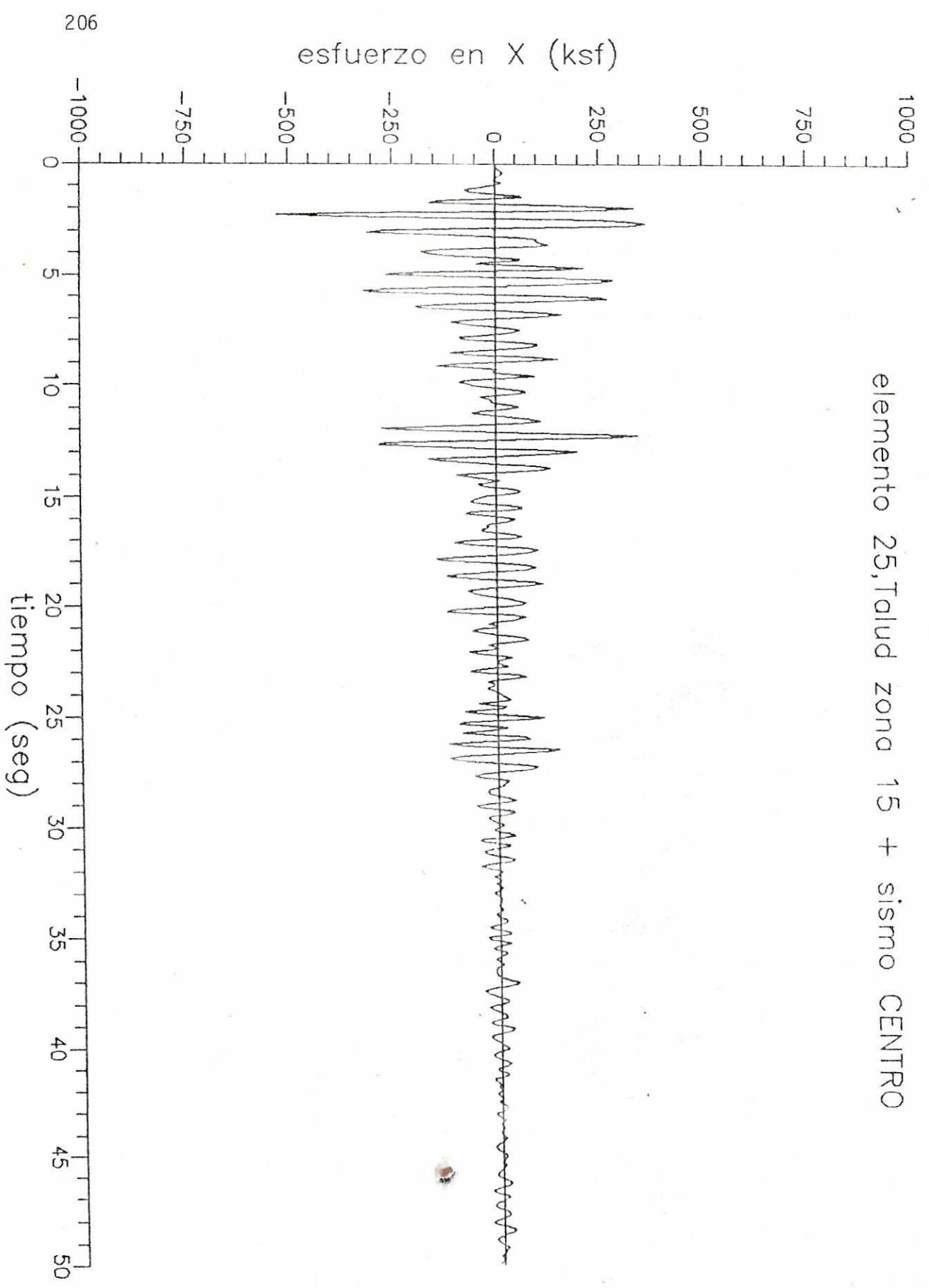
elemento 25, Talud zona 15 + sismo EJEM1A



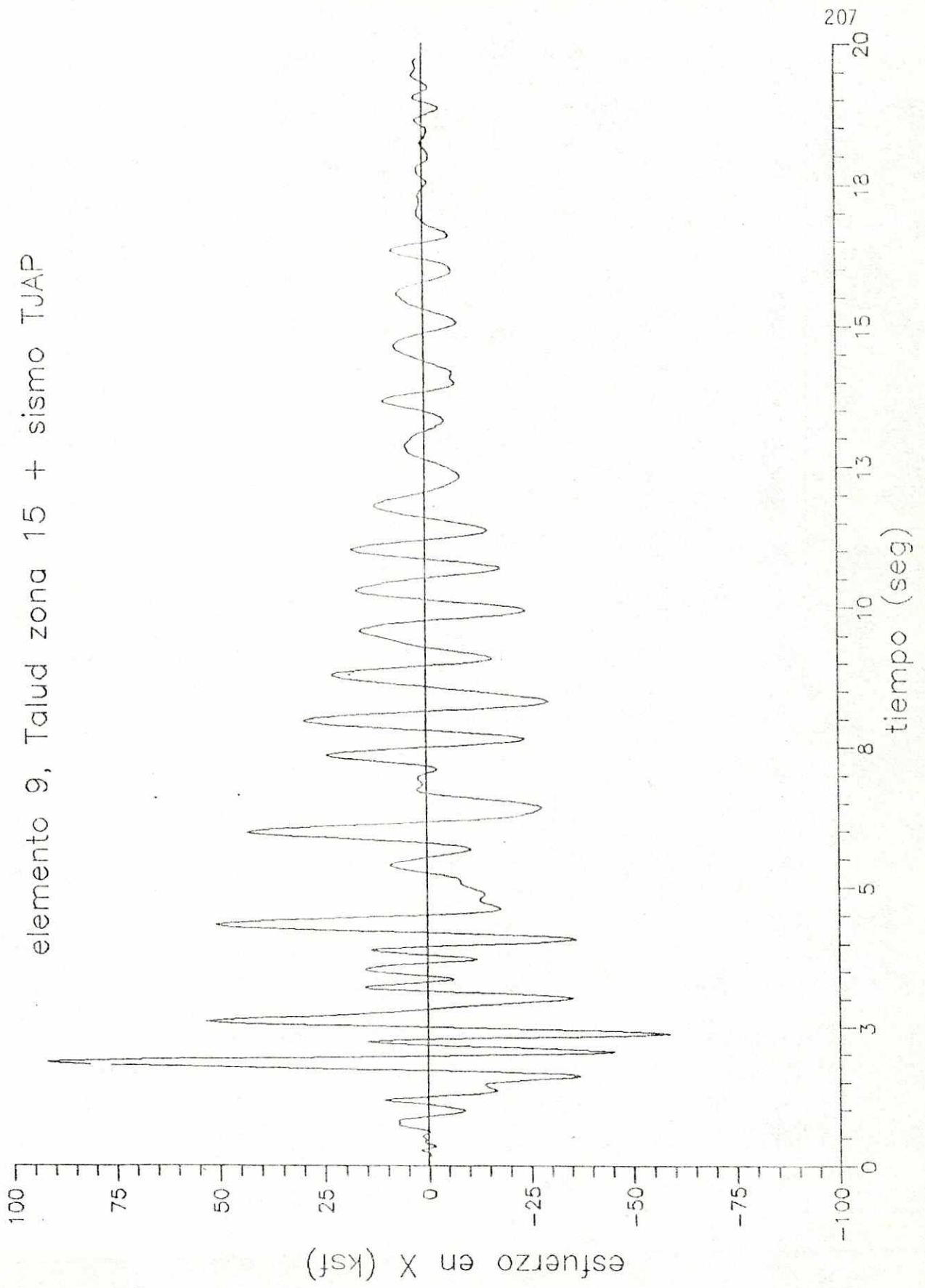
elemento 9, Talud zona 15 + sismo CENTRO

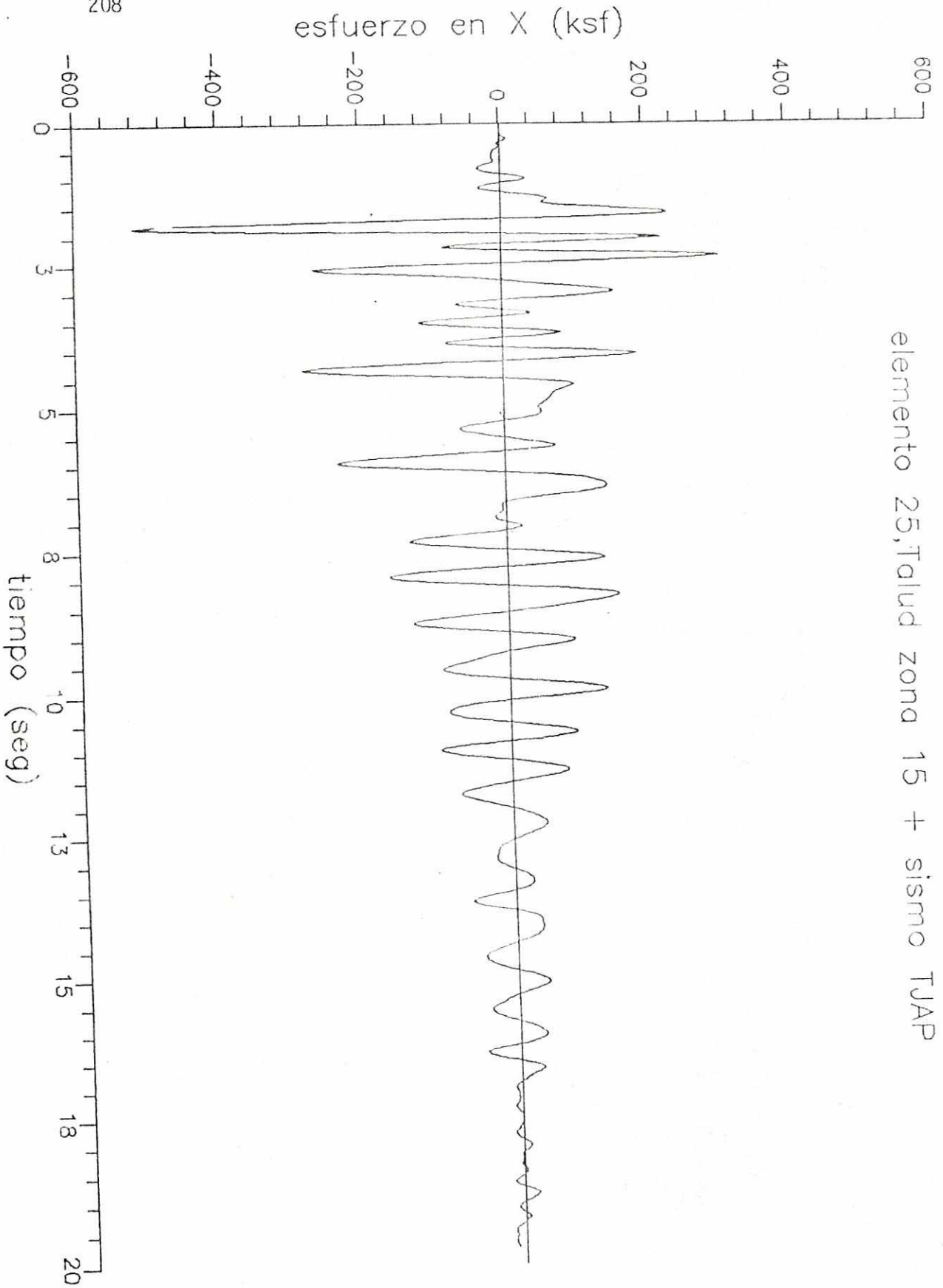


elemento 25, Talud zona 15 + sismo CENTRO



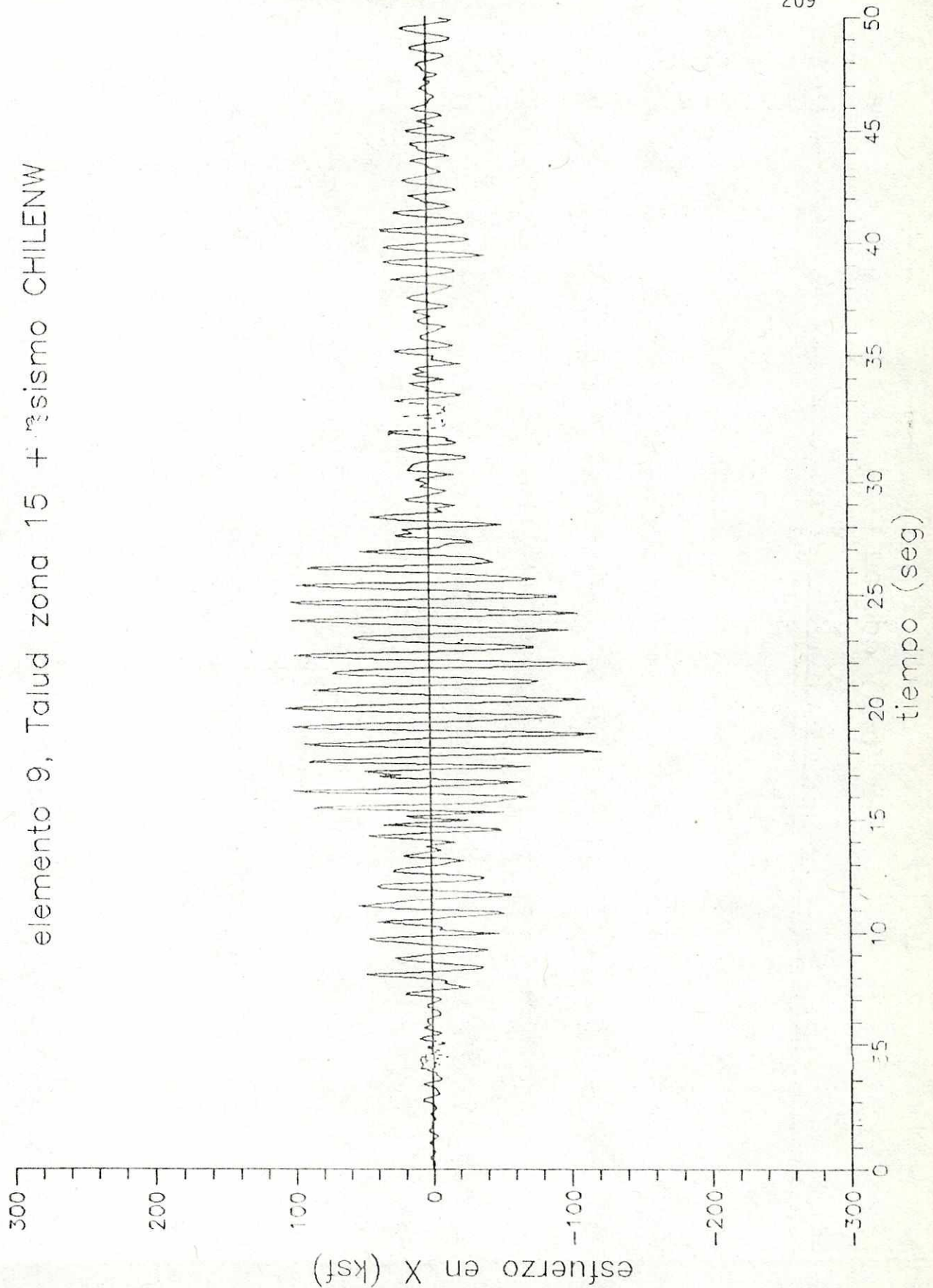
elemento 9, Talud zona 15 + sismo TJAP



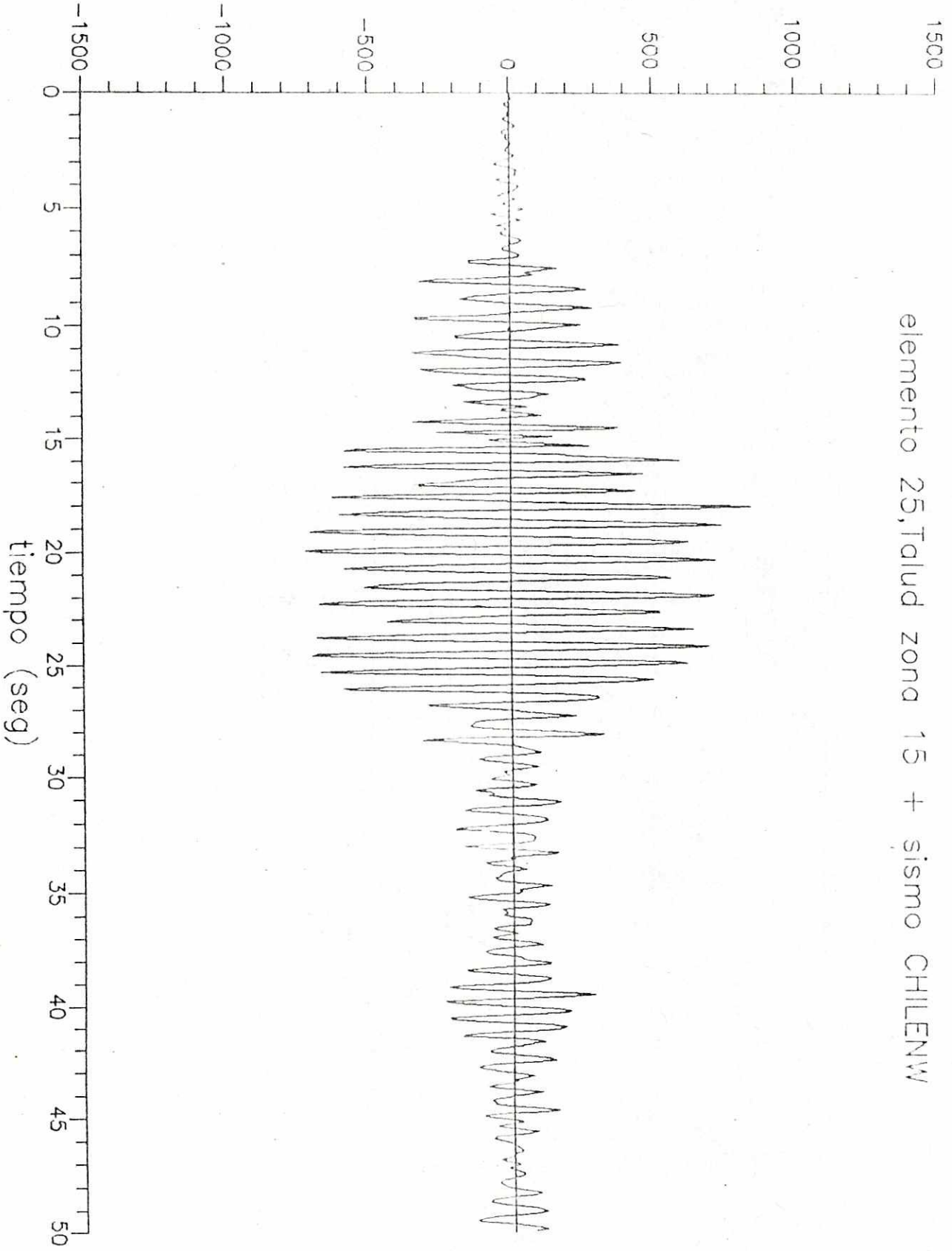


elemento 25, Talud zona 15 + sismo TJAP

elemento 9, Talud zona 15 + sismo CHILENW

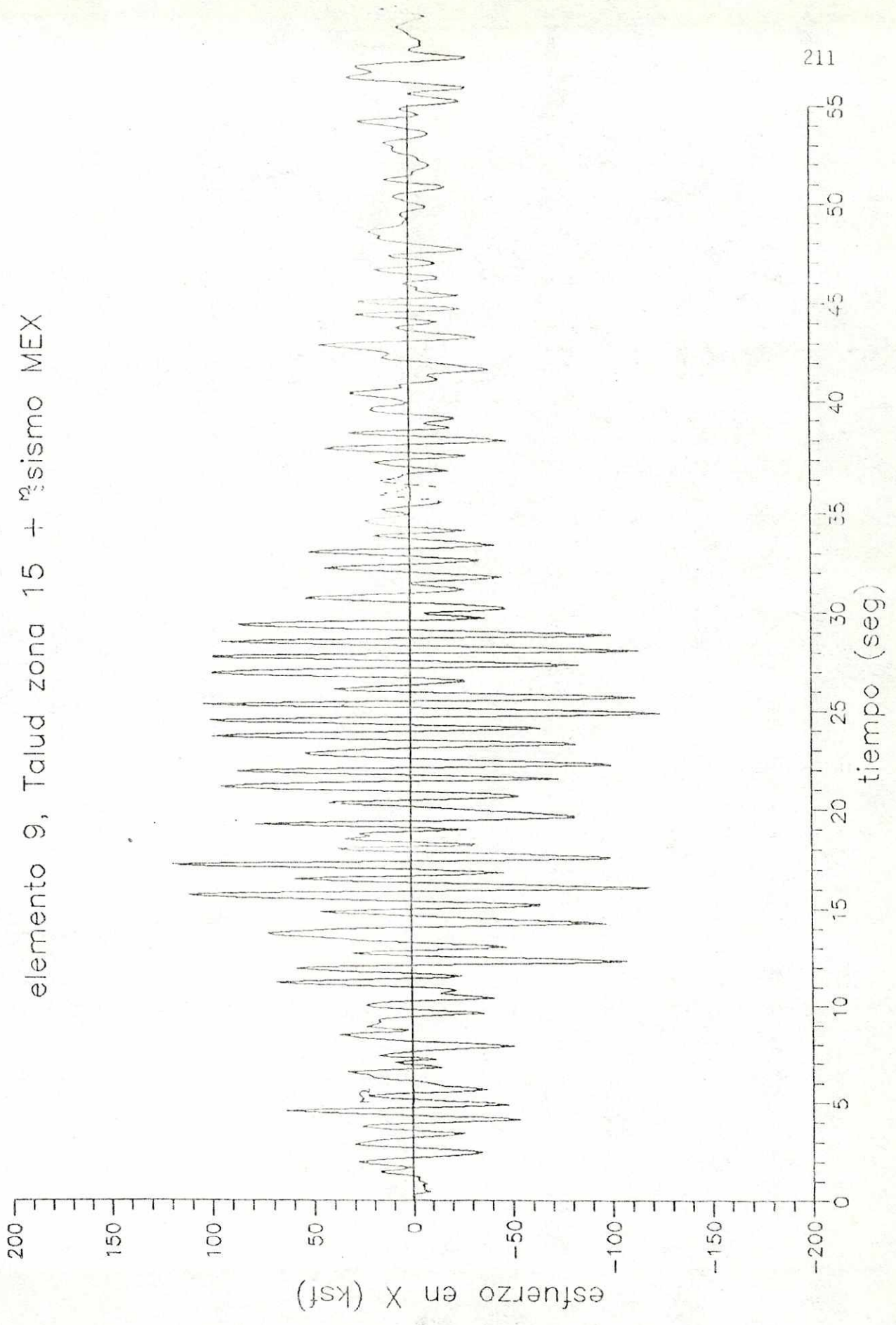


esfuerzo en X (ksf)

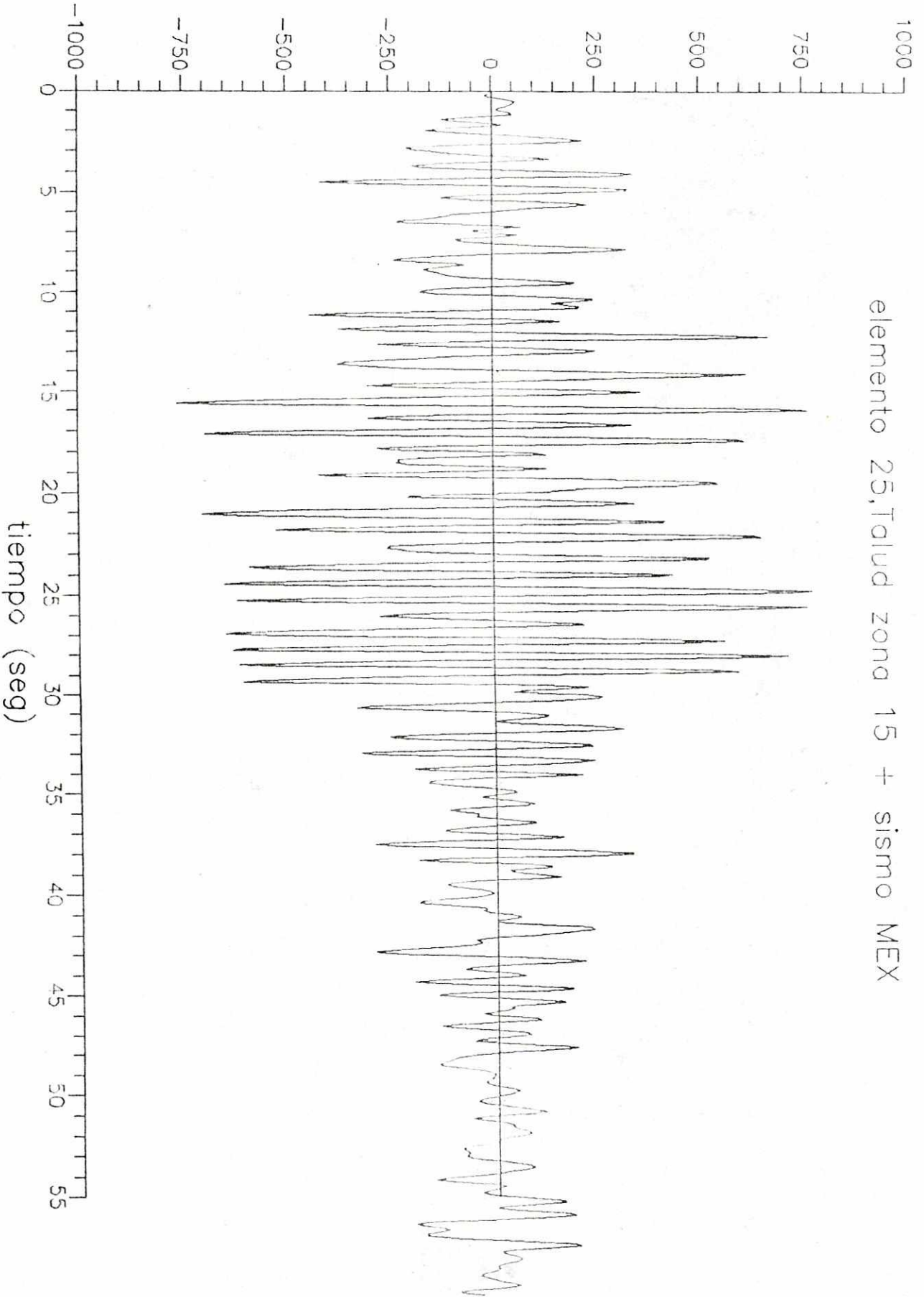


elemento 25, Talud zona 15 + sismo CHILENW

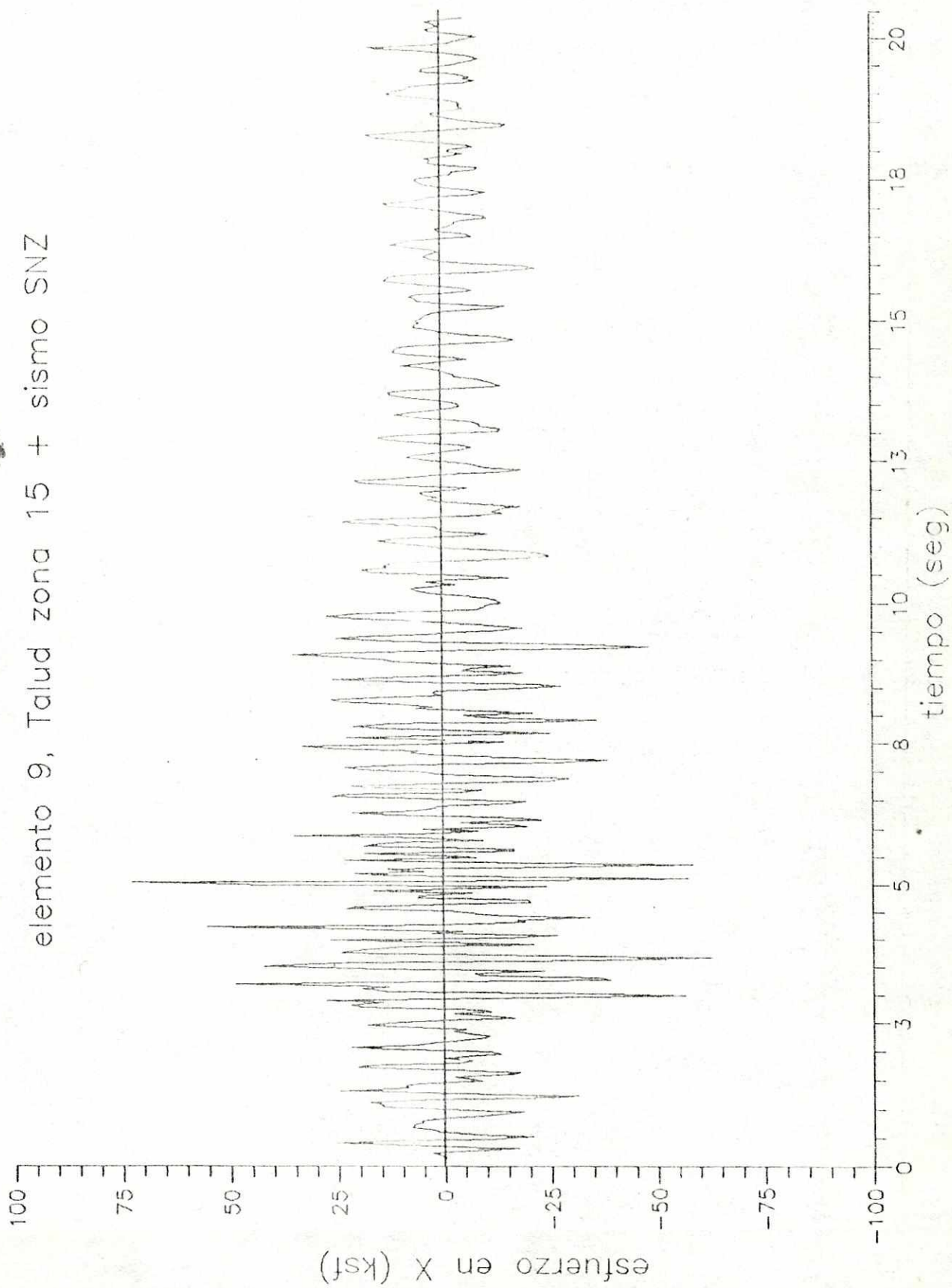
elemento 9, Talud zona 15 + 2° sismo MEX

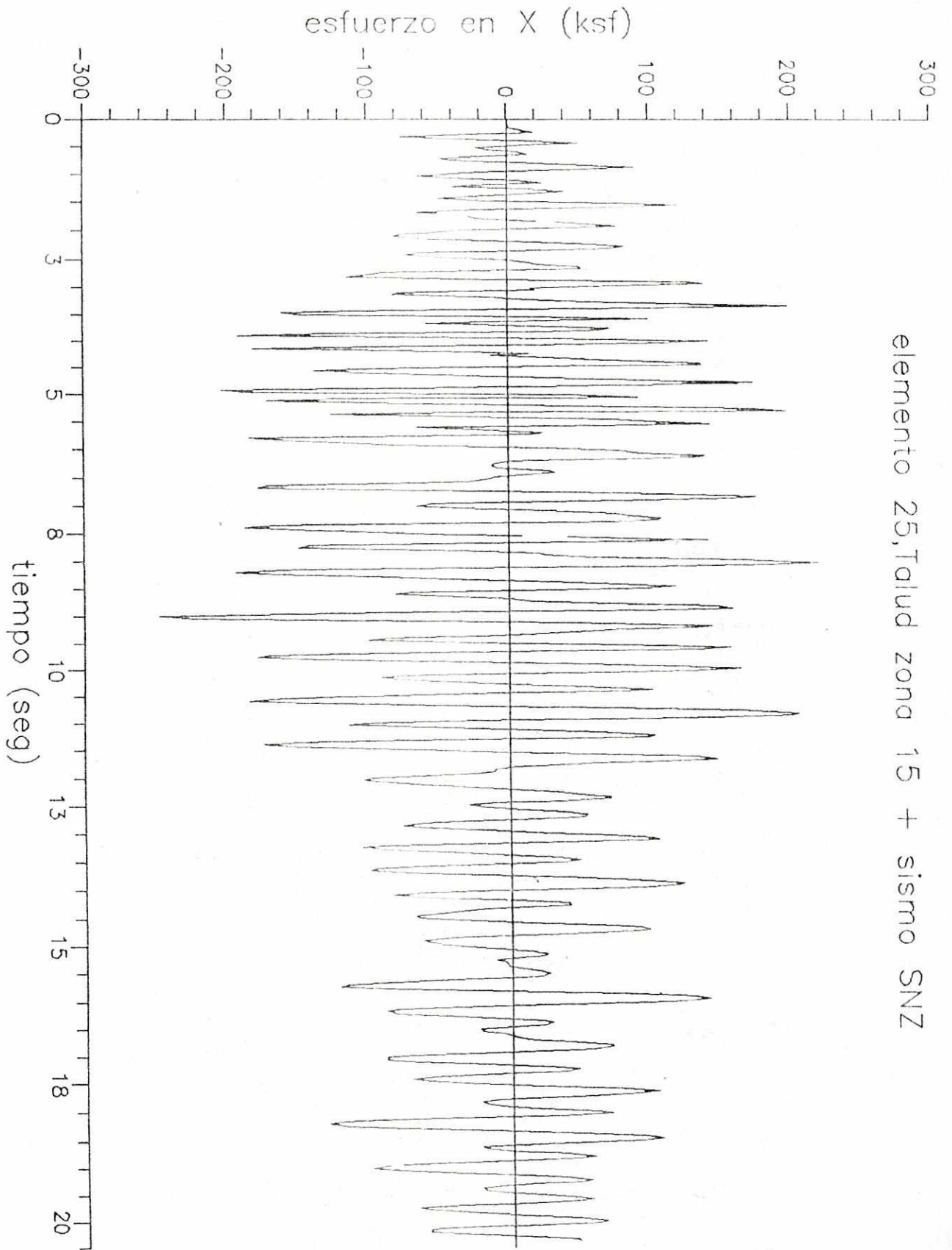


esfuerzo en X (ksf)



elemento 9, Talud zona 15 + sismo SNZ

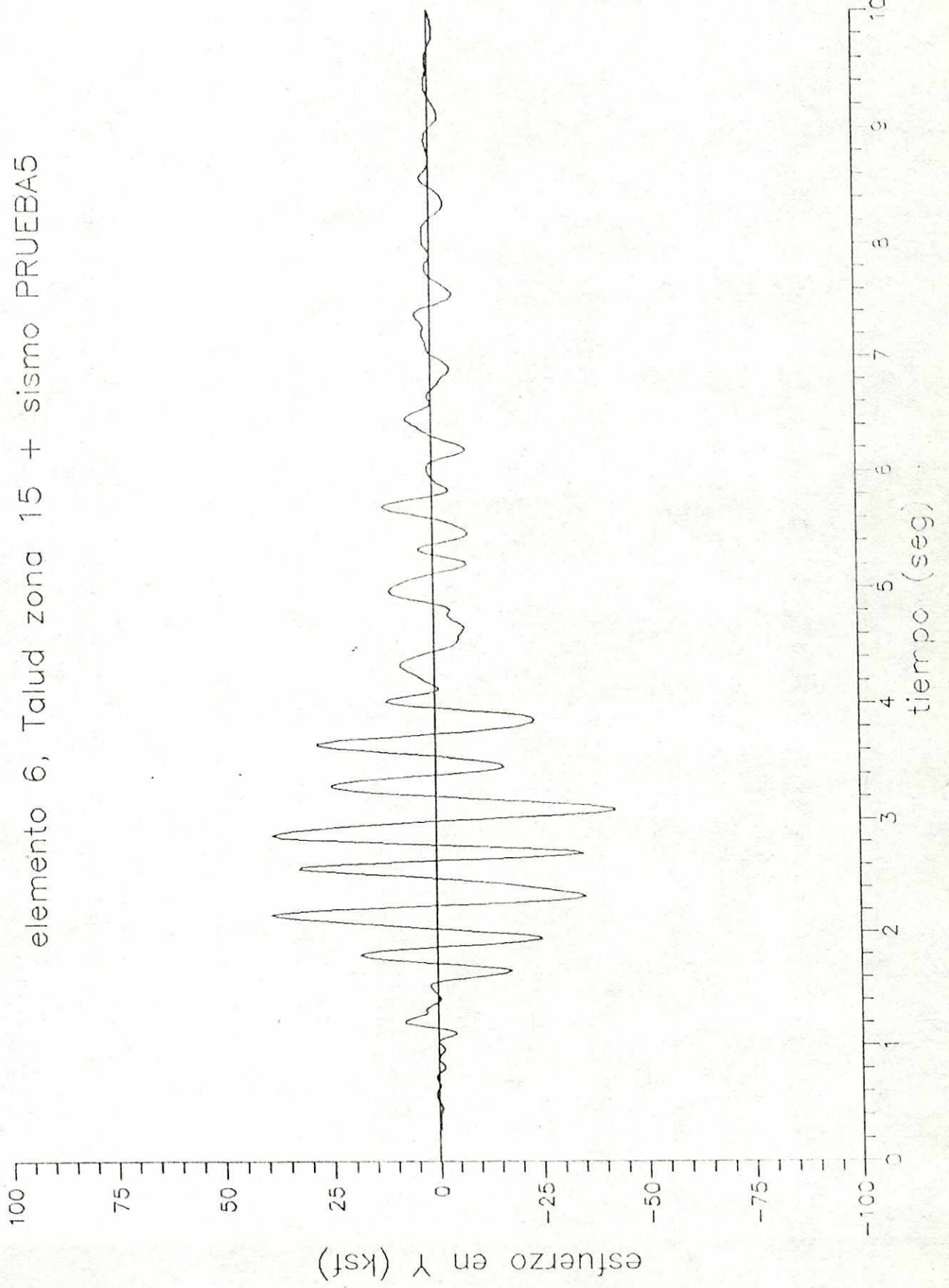




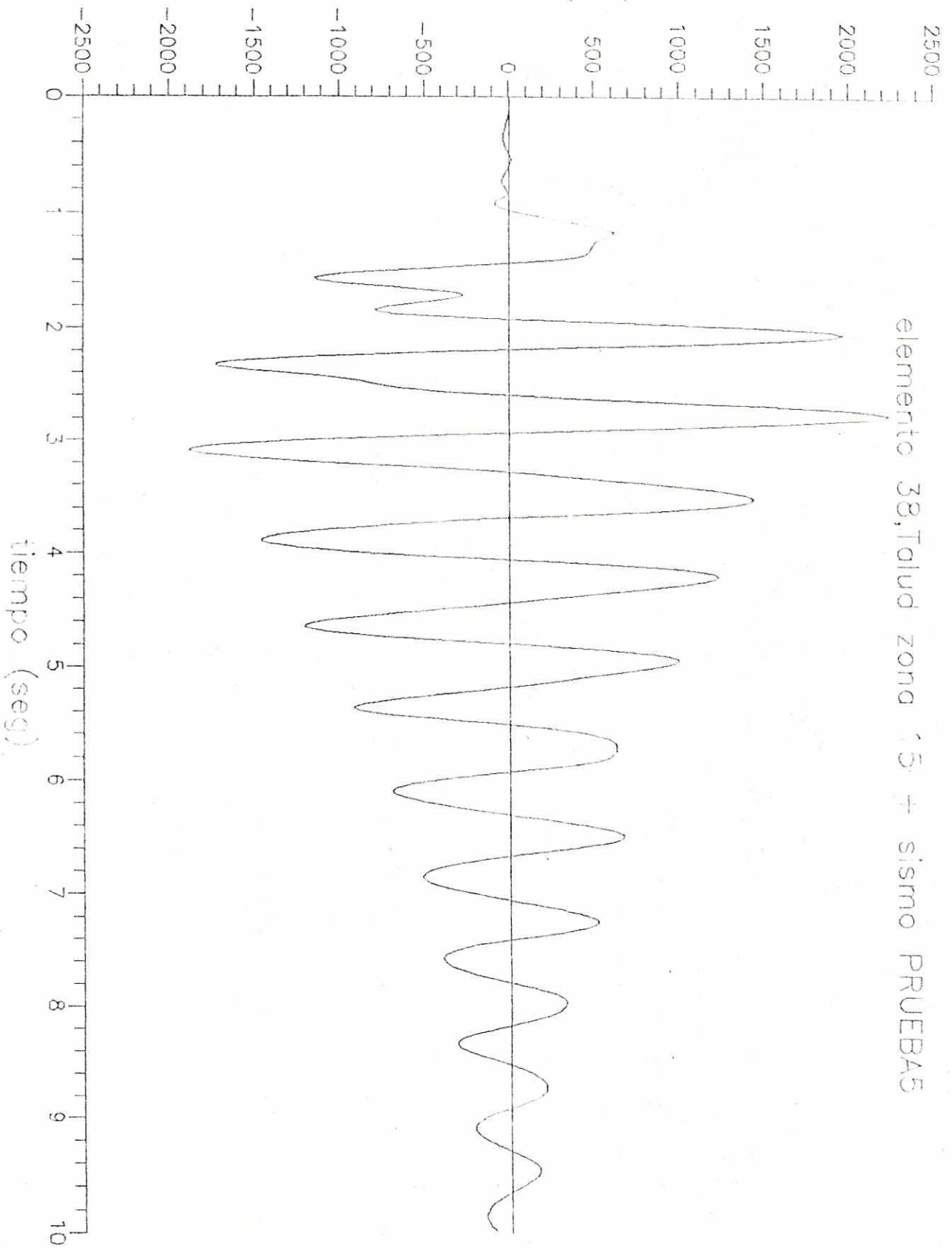
APENDICE II

Gráficas de la historia de esfuerzos en γ .

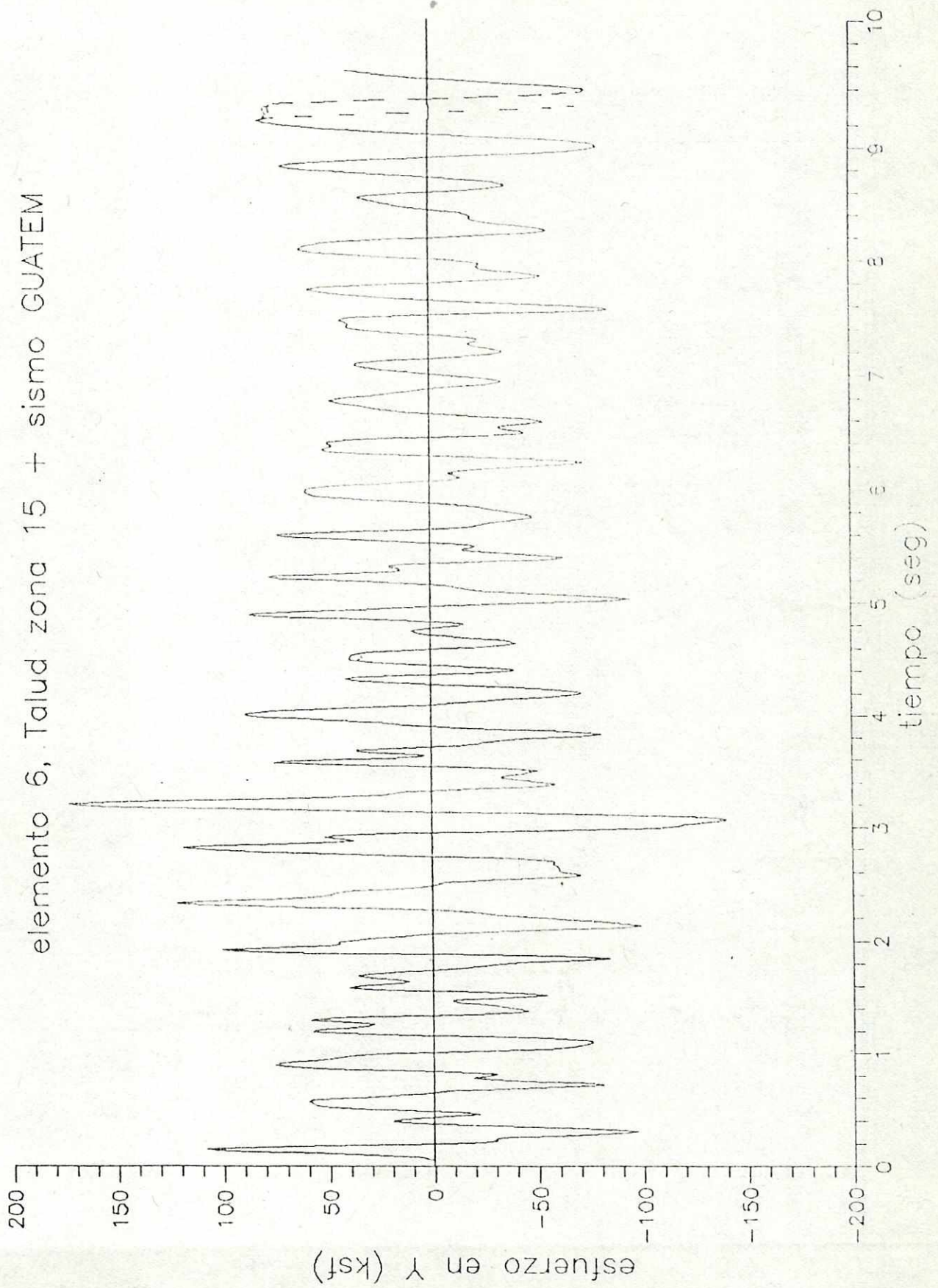
elemento 6, Talud zona 15 + sismo PRUEBA5



esfuerzo en Y (ksf)

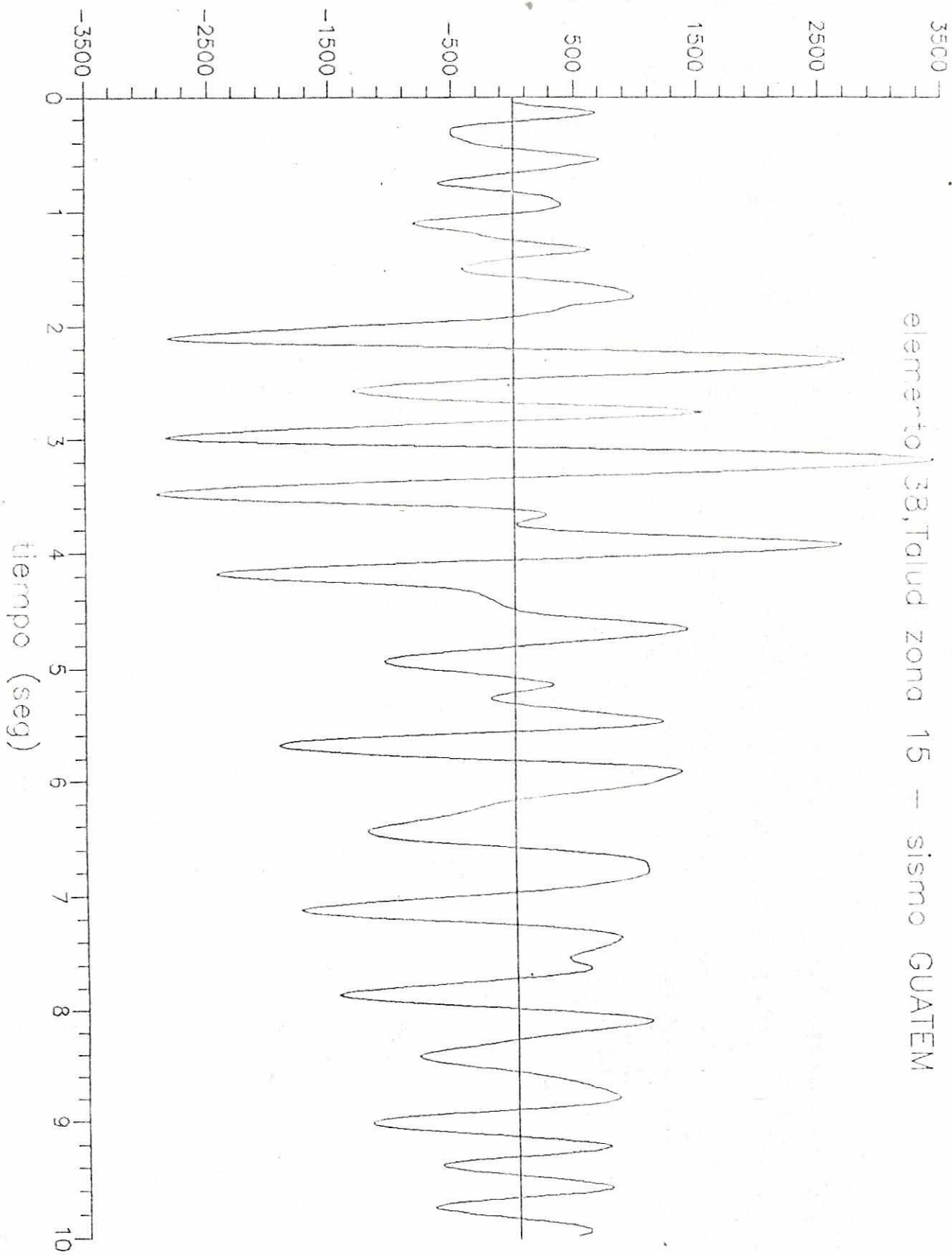


elemento 6, Talud zona 15 + sismo GUATEM

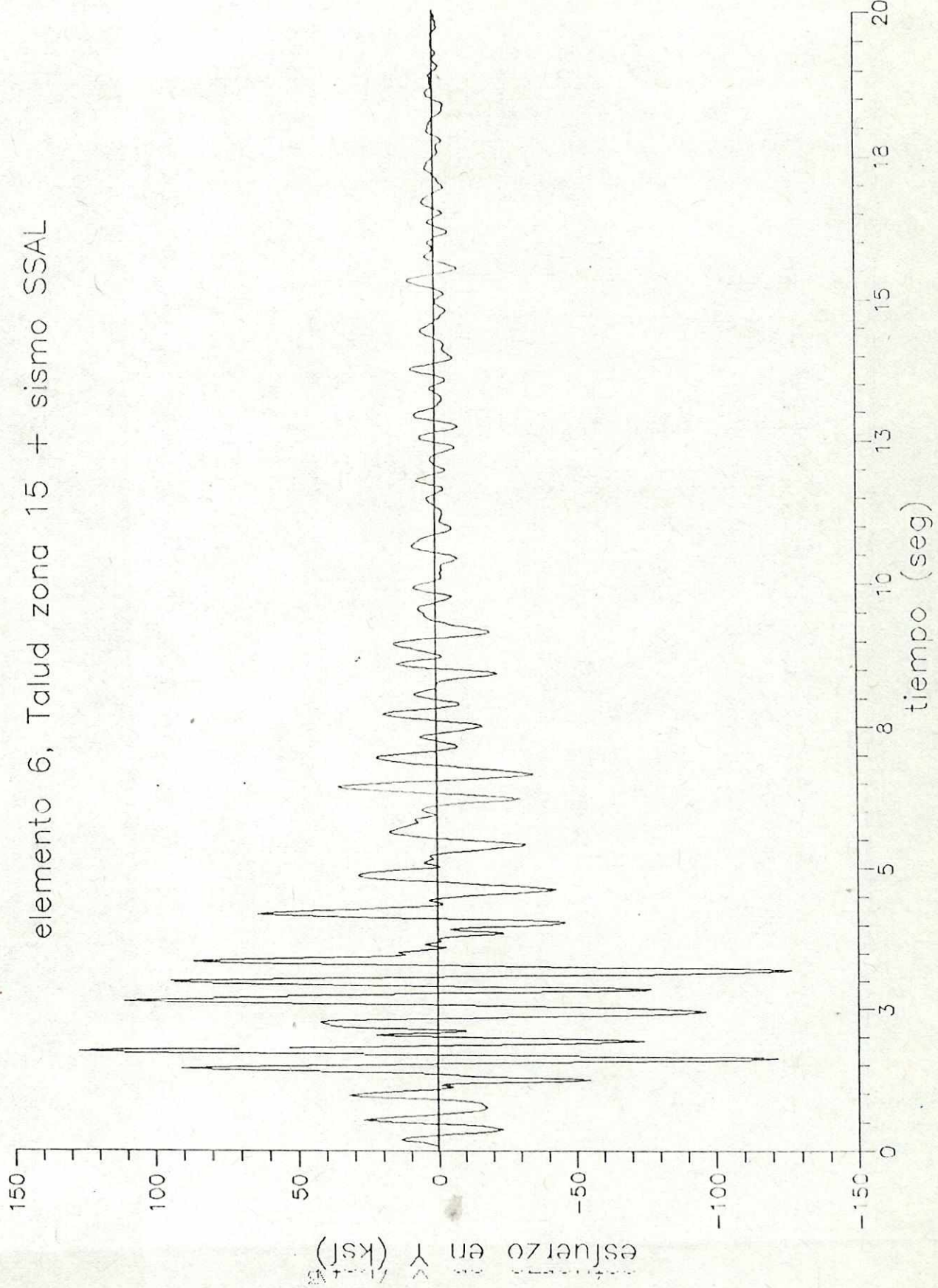


esfuerzo en Y (ksf)

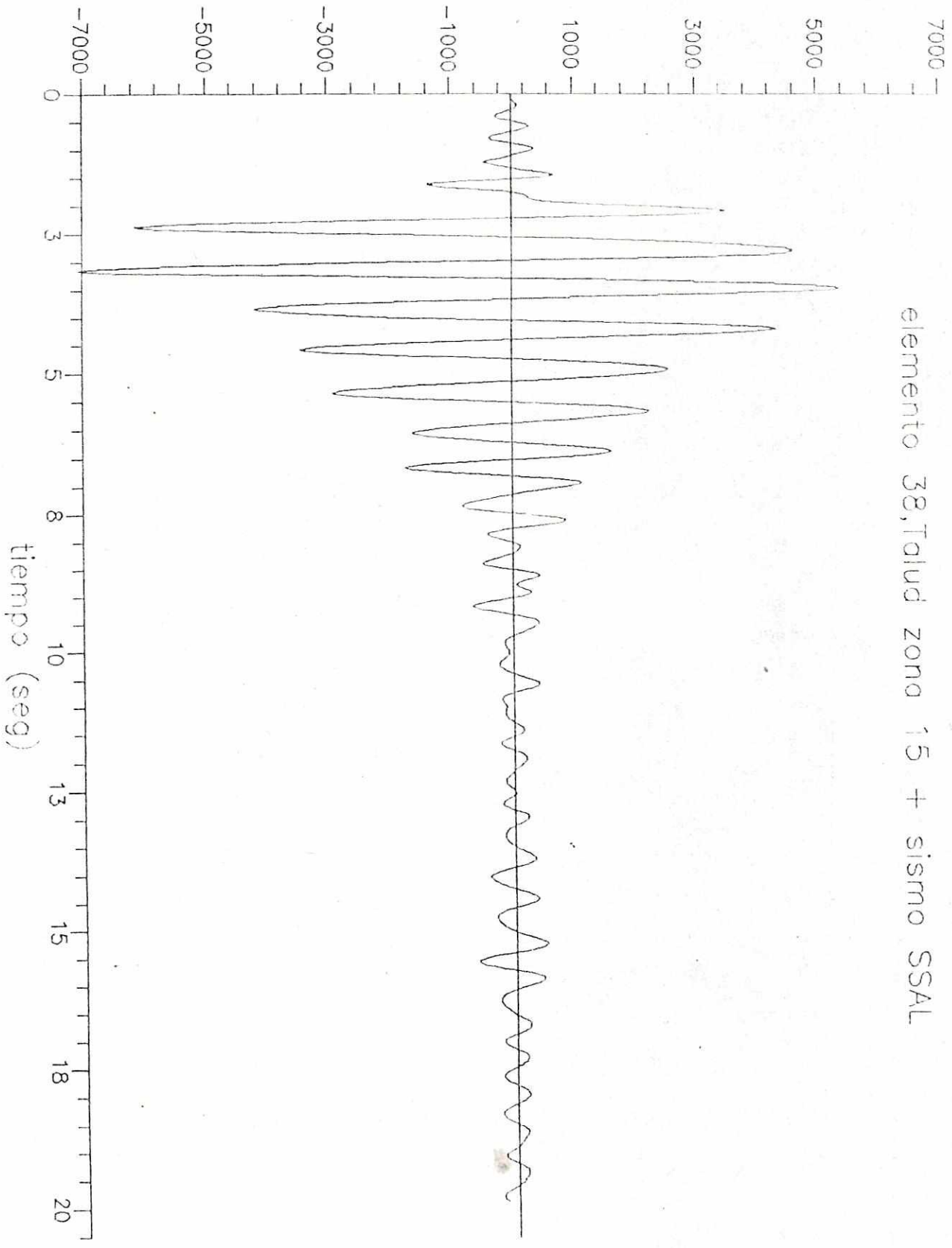
elemento 38, Talud zona 15 -- sismo GUATEM



elemento 6, Talud zona 15 + sismo SSAL

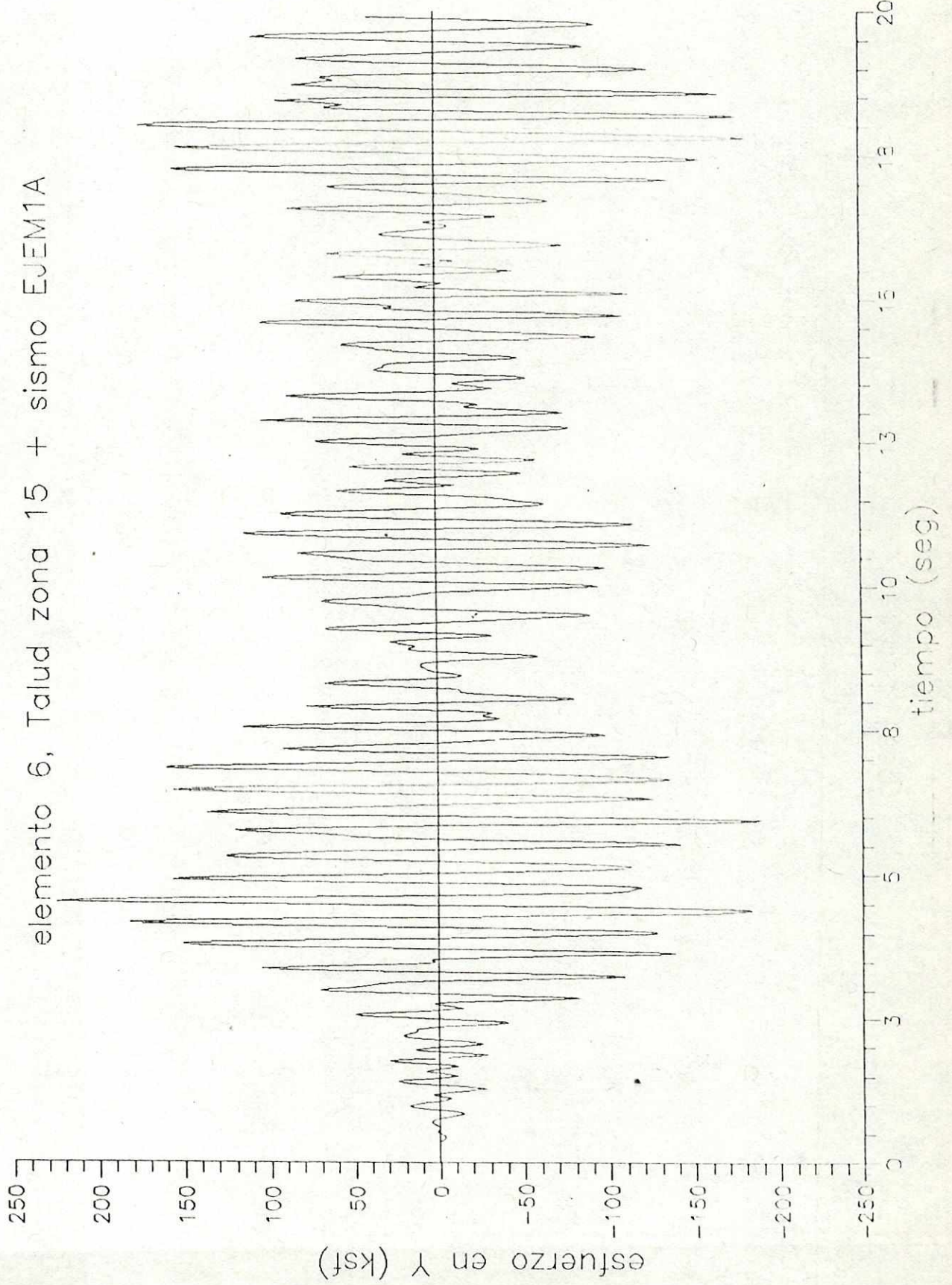


esfuerzo en Y (ksf)

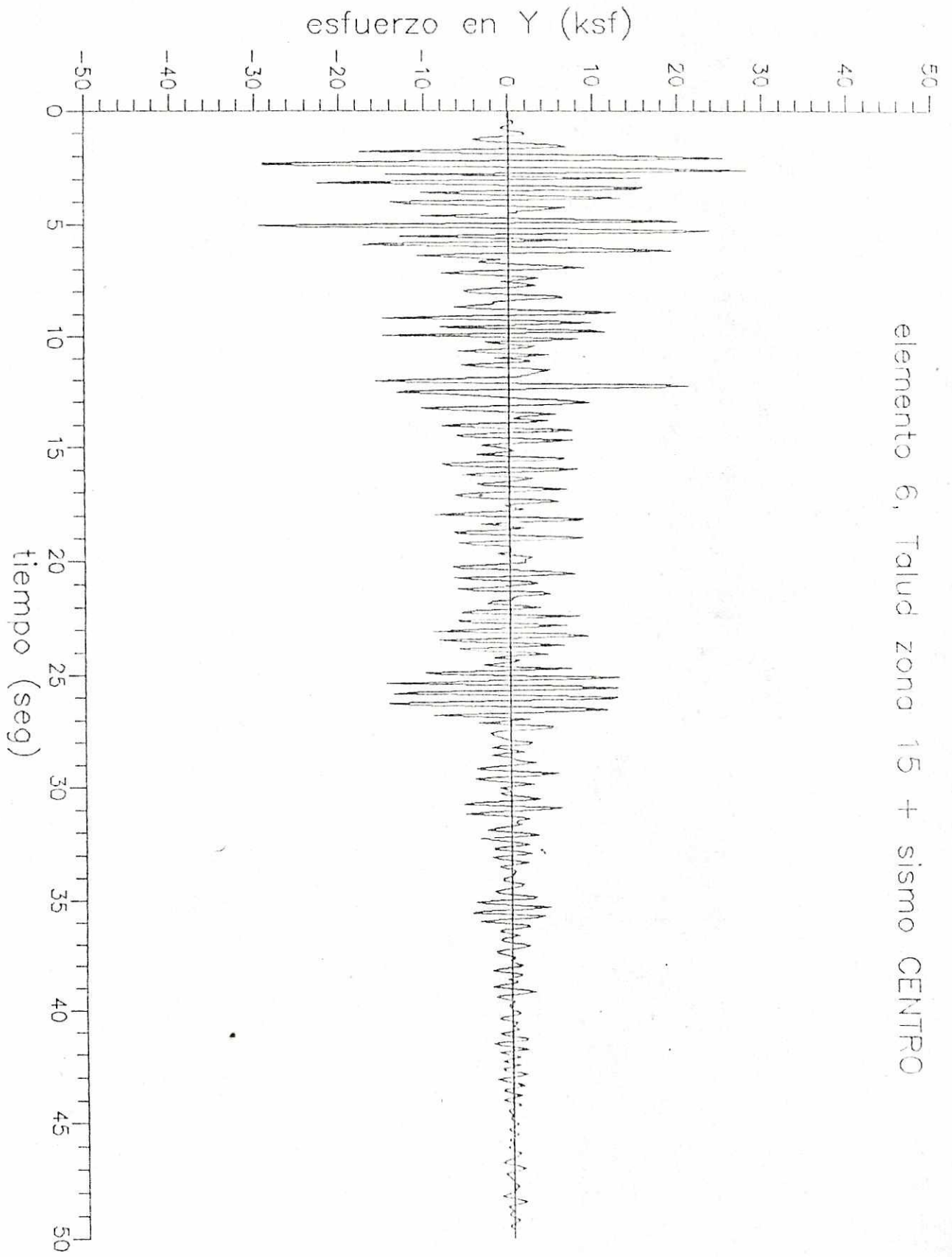


elemento 38, Talud zona 15 + sismo SSAL

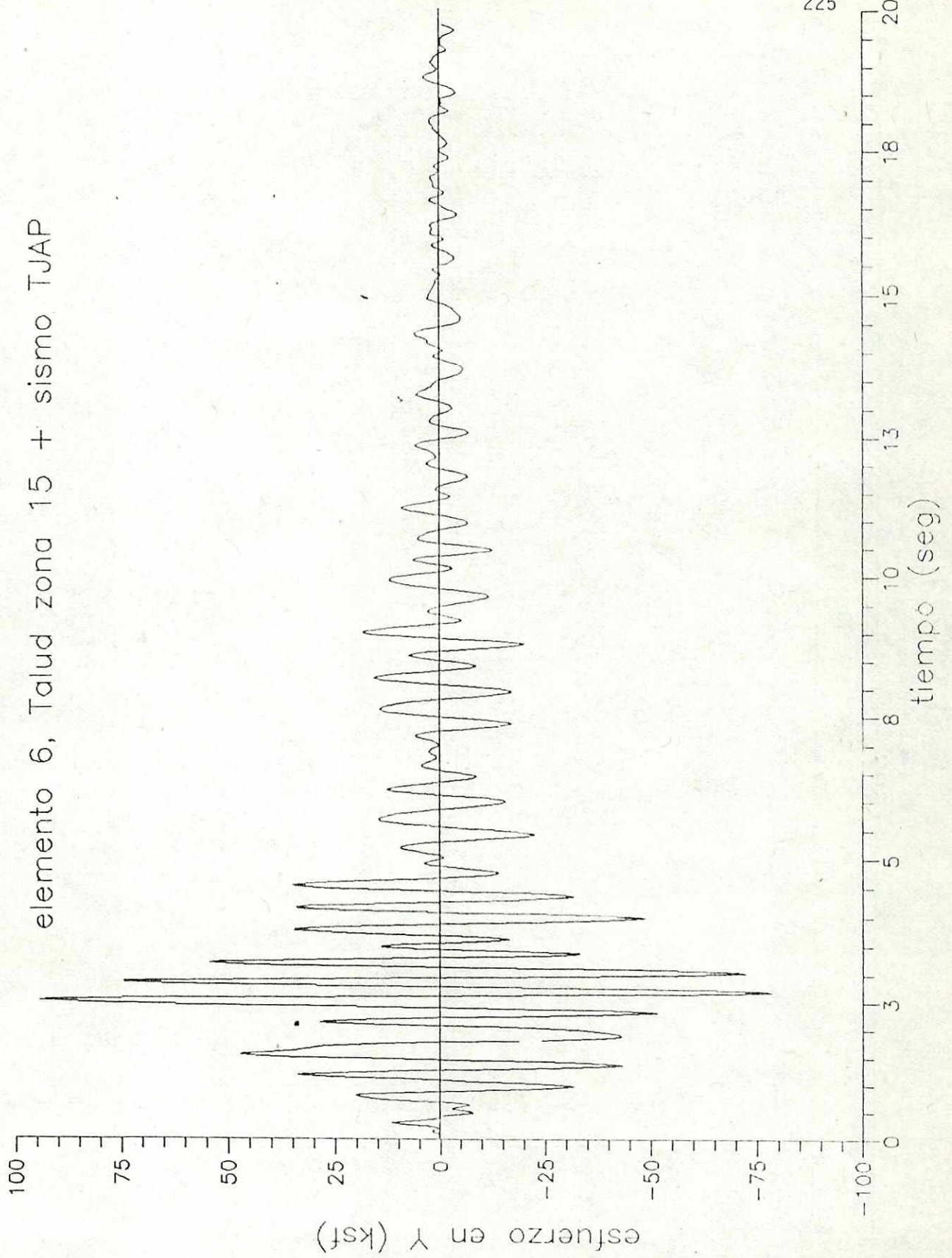
elemento 6, Talud zona 15 + sismo EJE M1A



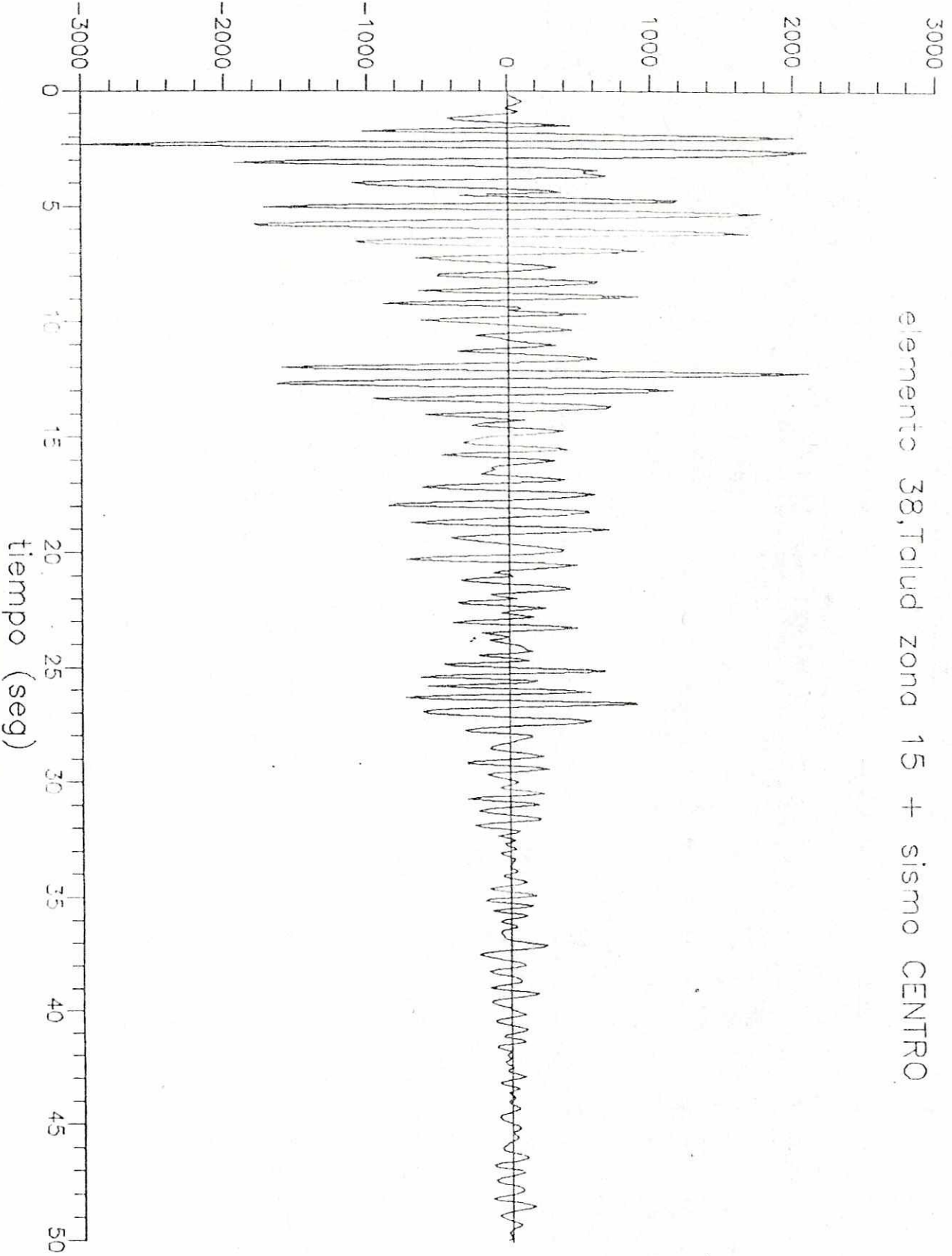
elemento 6, Talud zona 15 + sismo CENTRO



elemento 6, Talud zona 15 + sismo TJAP

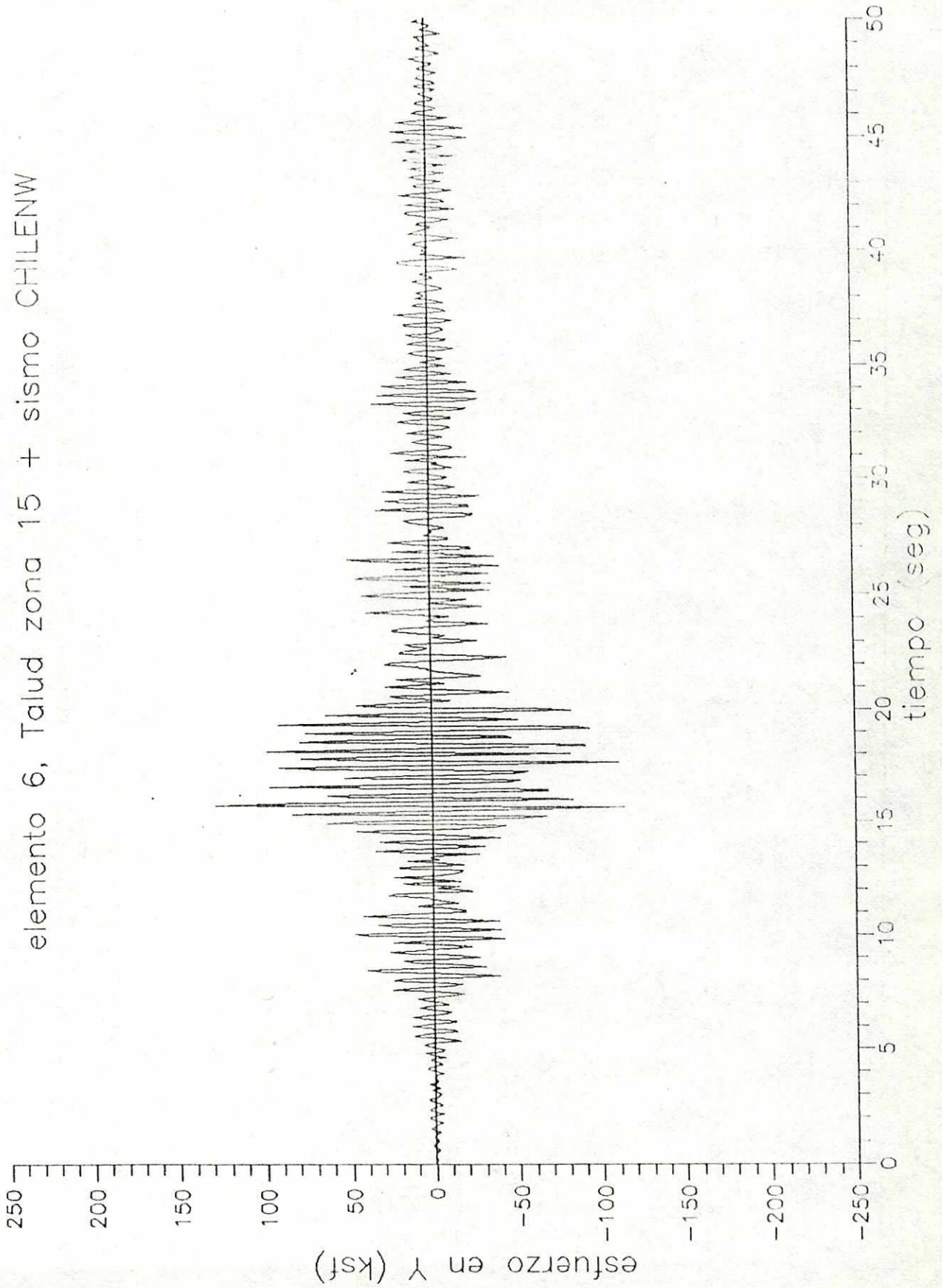


esfuerzo en Y (ksf)

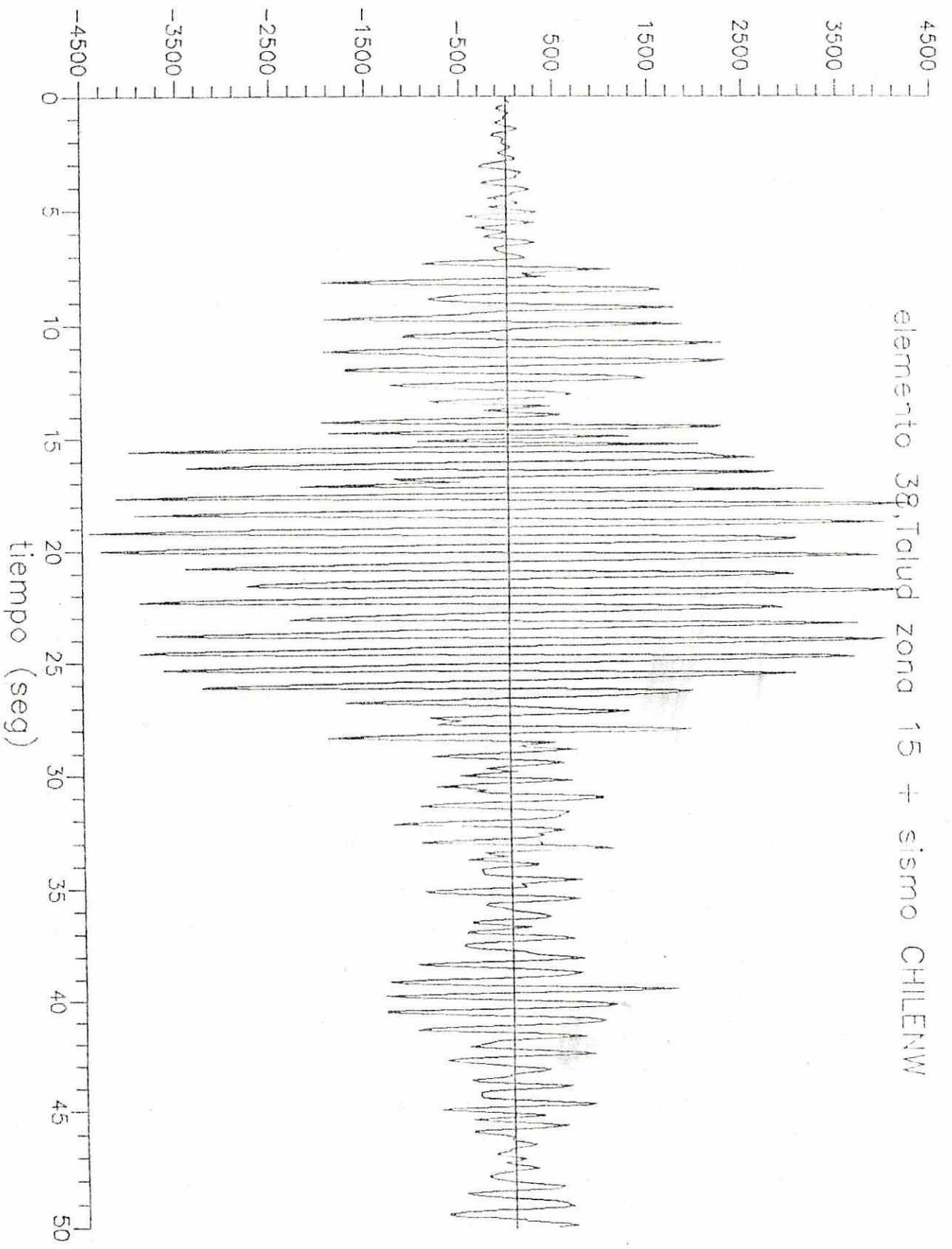


elemento 38, Talud zona 15 + sismo CENTRO

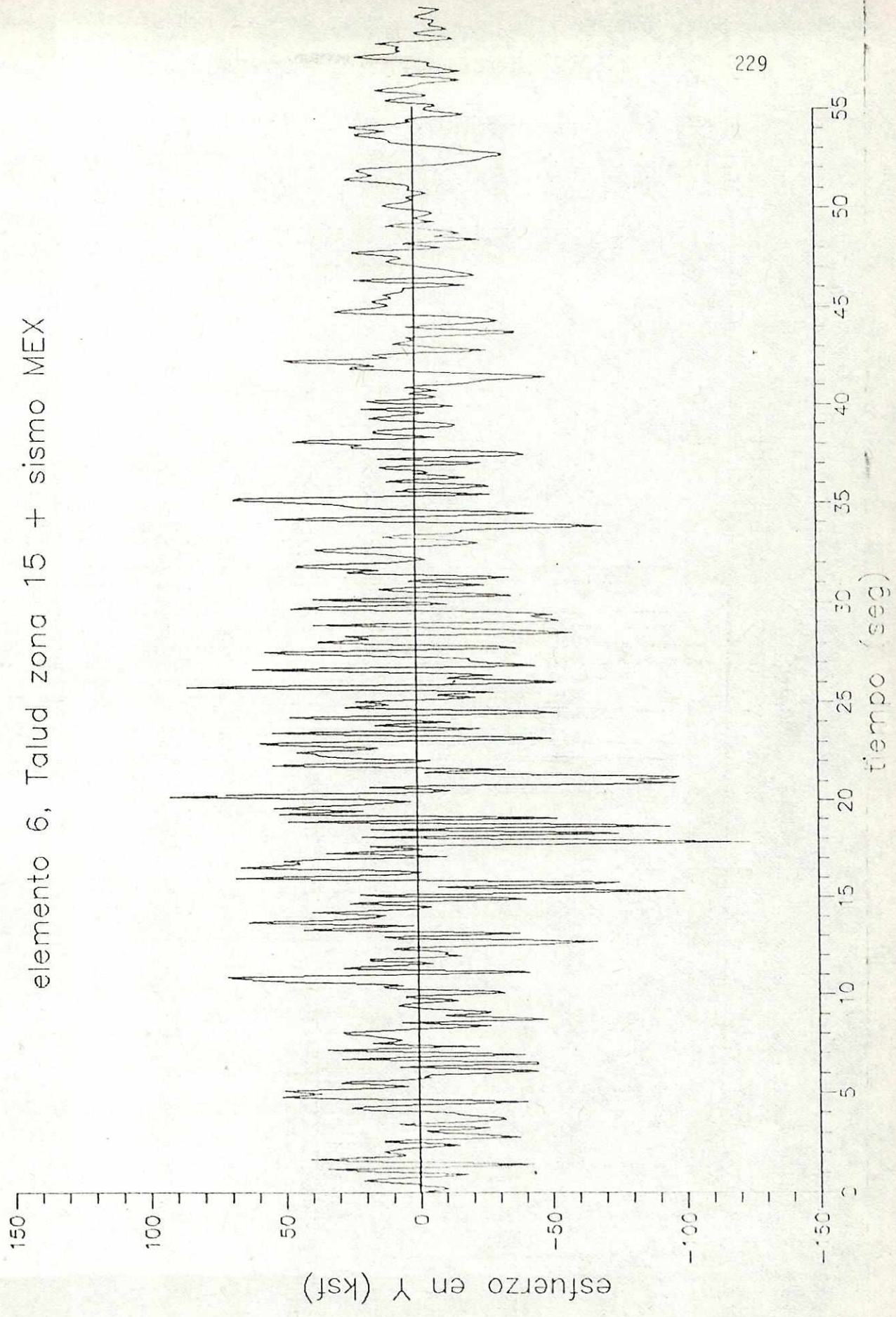
elemento 6, Talud zona 15 + sismo CHILENW

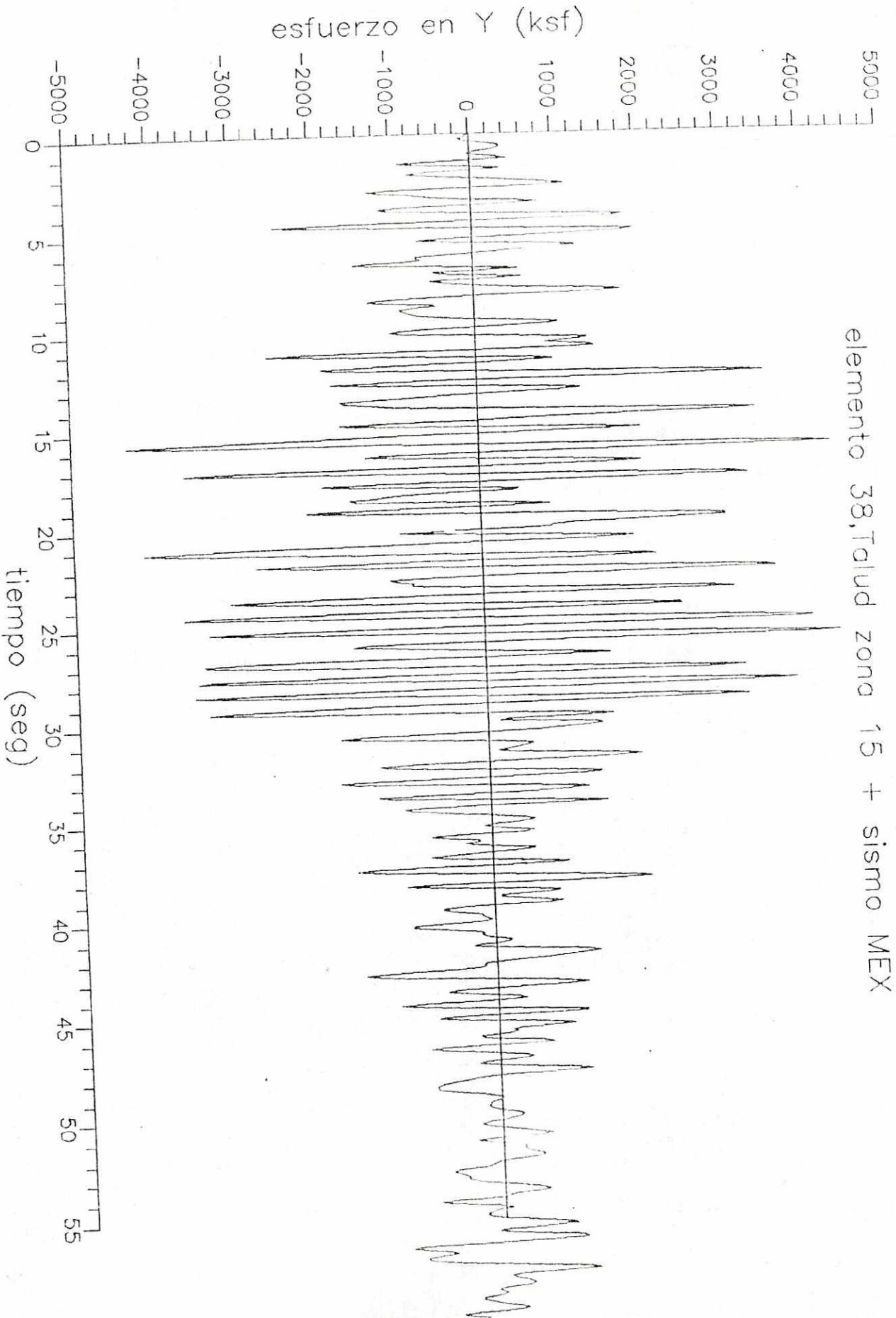


esfuerzo en Y (ksf)

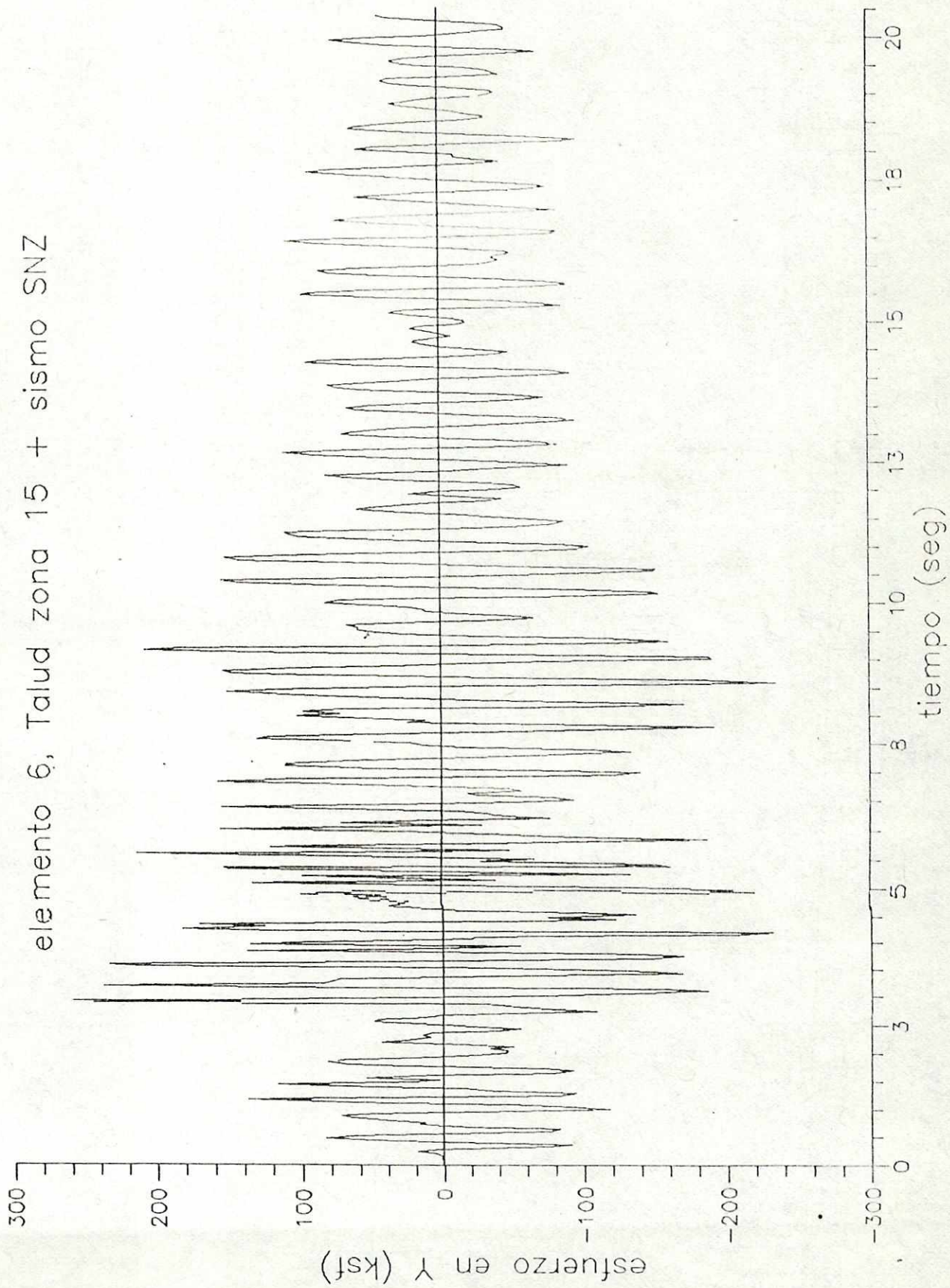


elemento 6, Talud zona 15 + sismo MEX



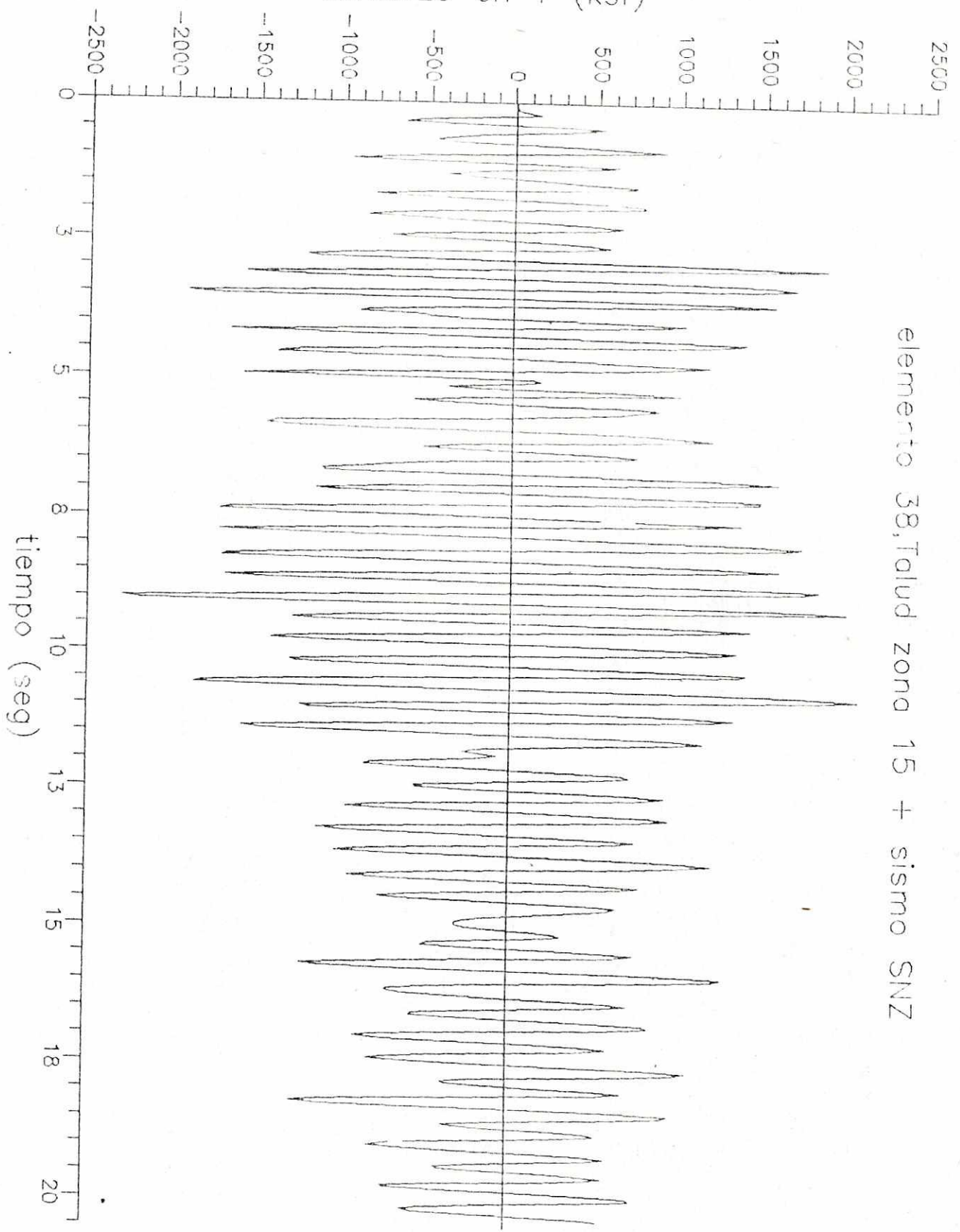


elemento 6, Talud zona 15 + sismo SNZ



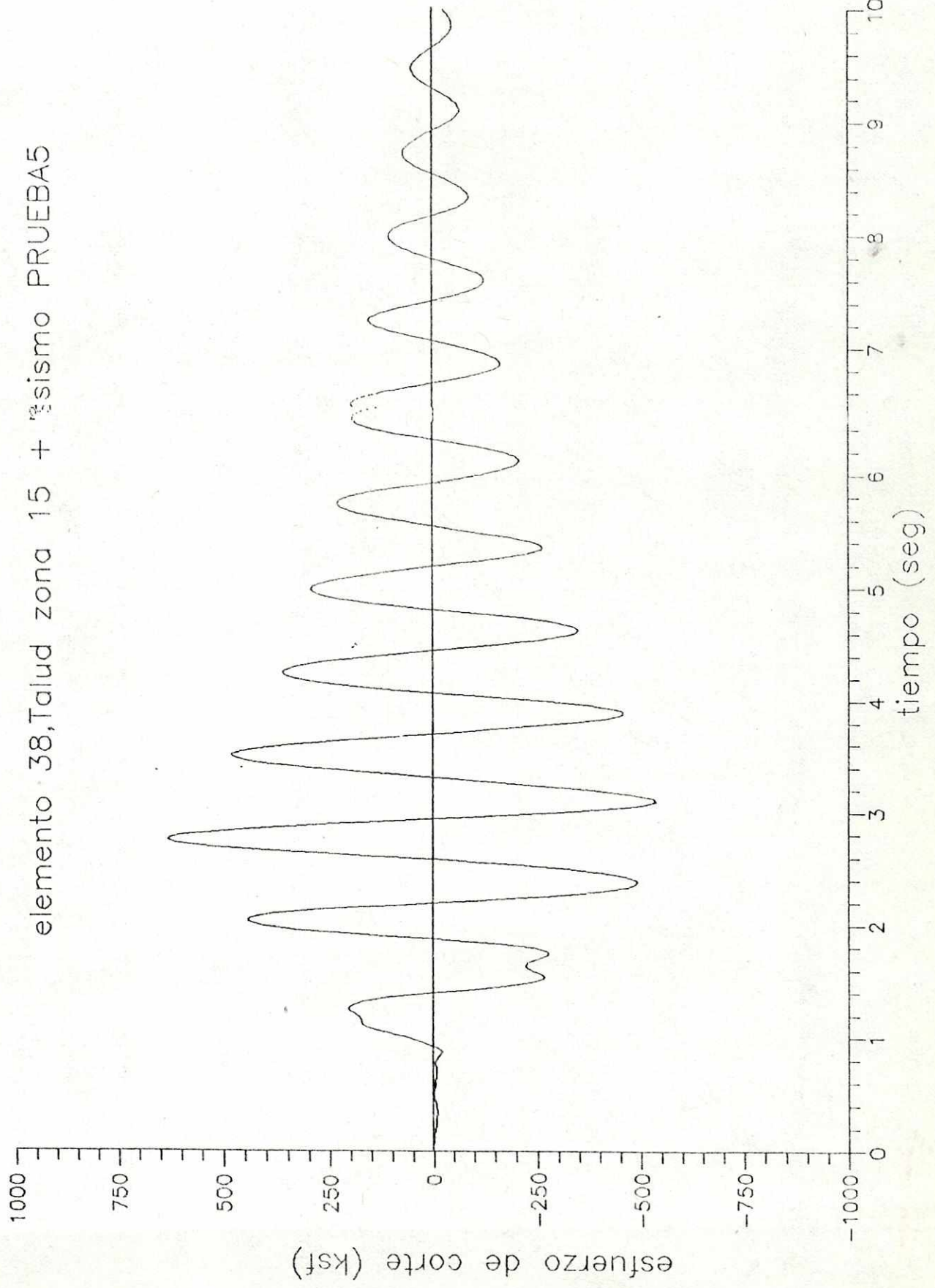
esfuerzo en Y (ksf)

elemento 38, Talud zona 15 + sismo SNZ

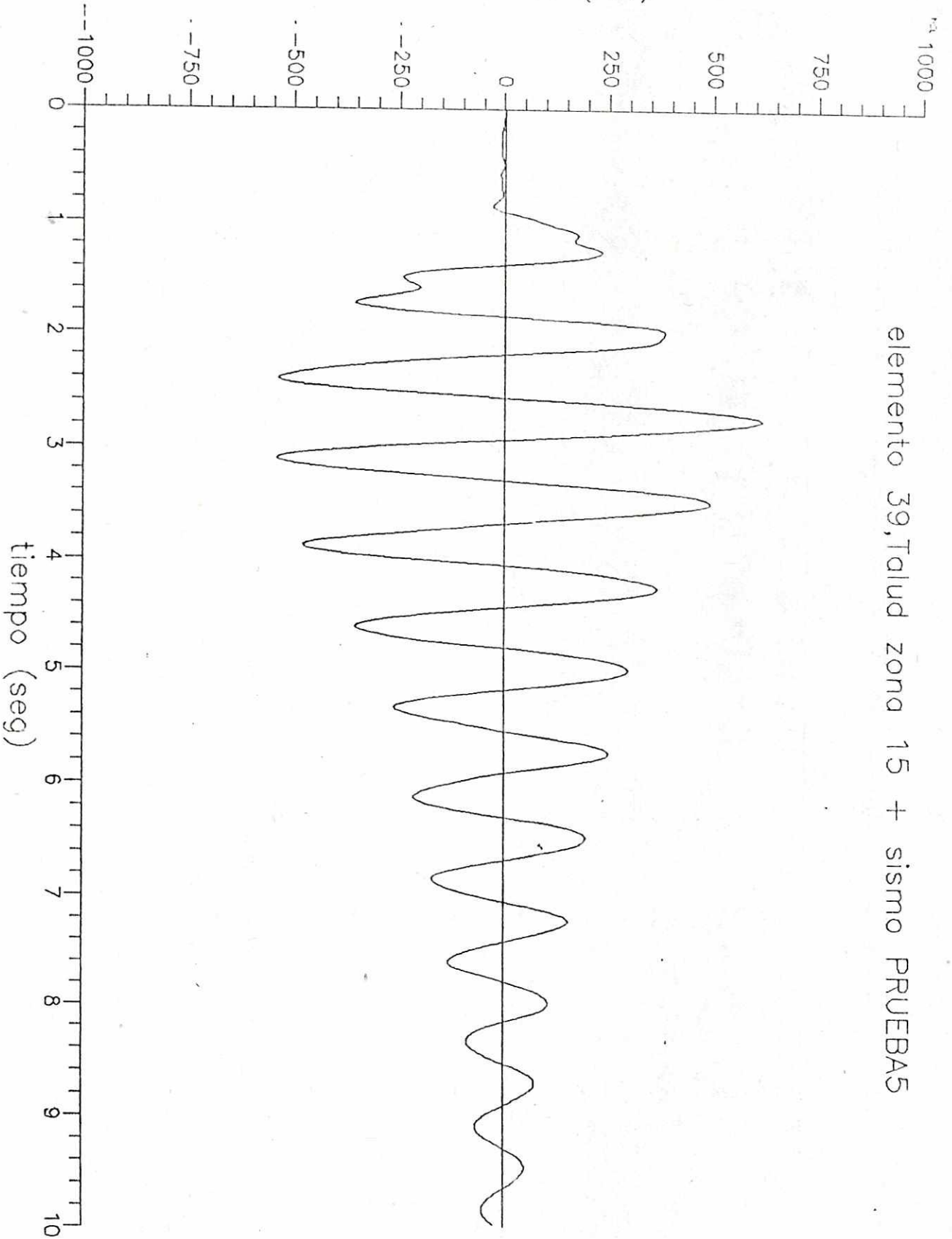


Gráficas de la historia de los esfuerzos de corte.

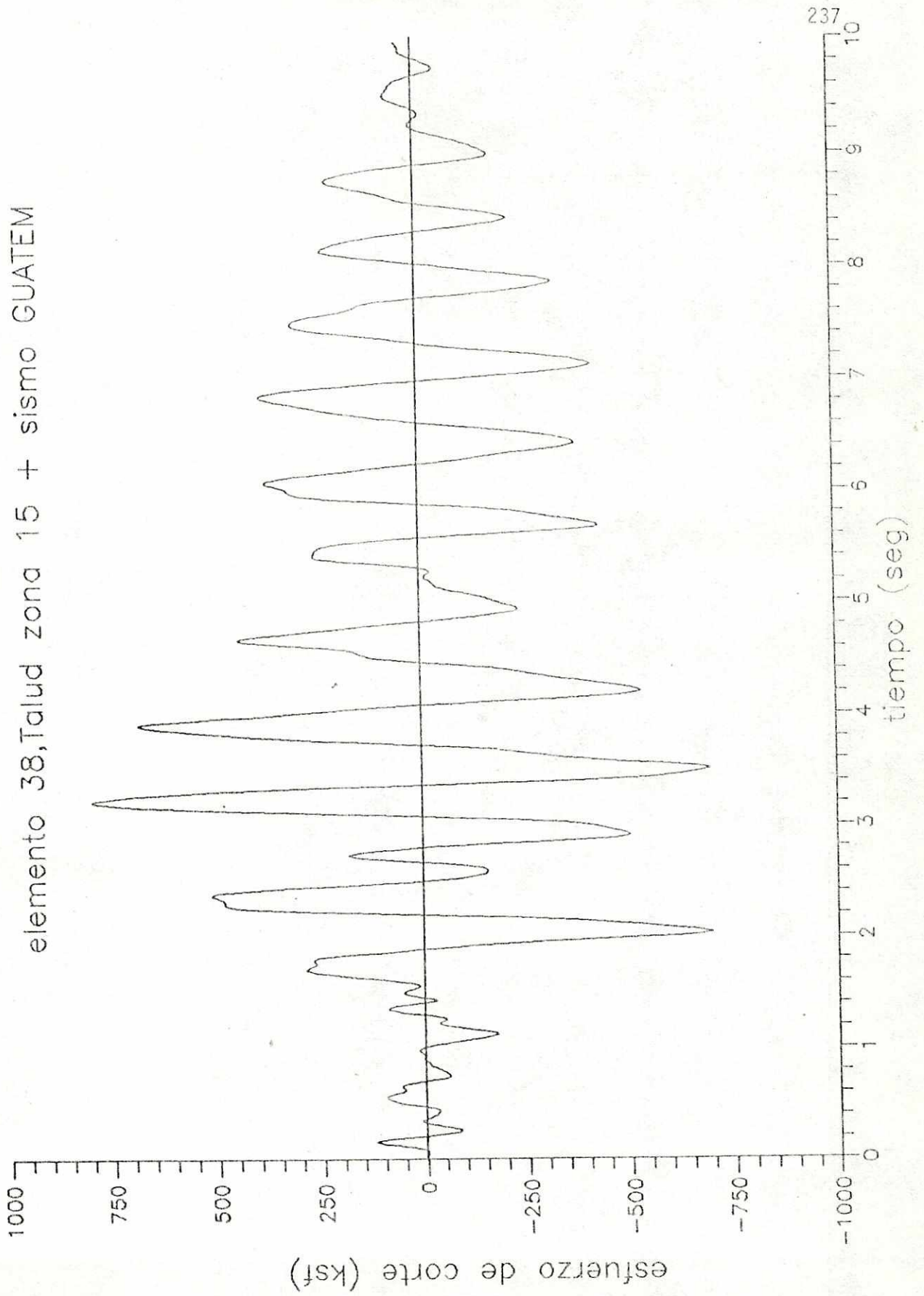
elemento 38, Talud zona 15 + sismo PRUEBA5



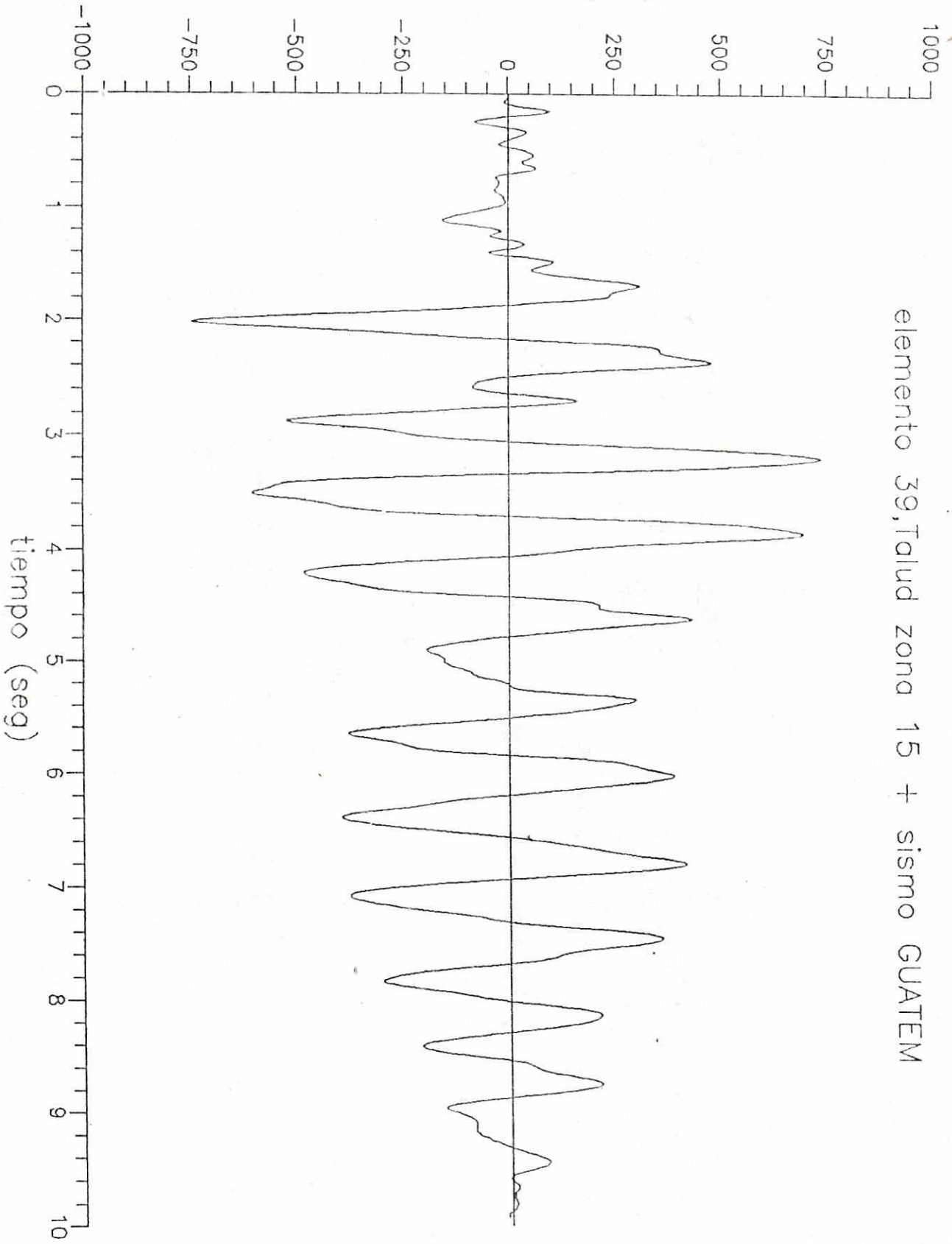
esfuerzo de corte (ksf)



elemento 38, Talud zona 15 + sismo GUATEM

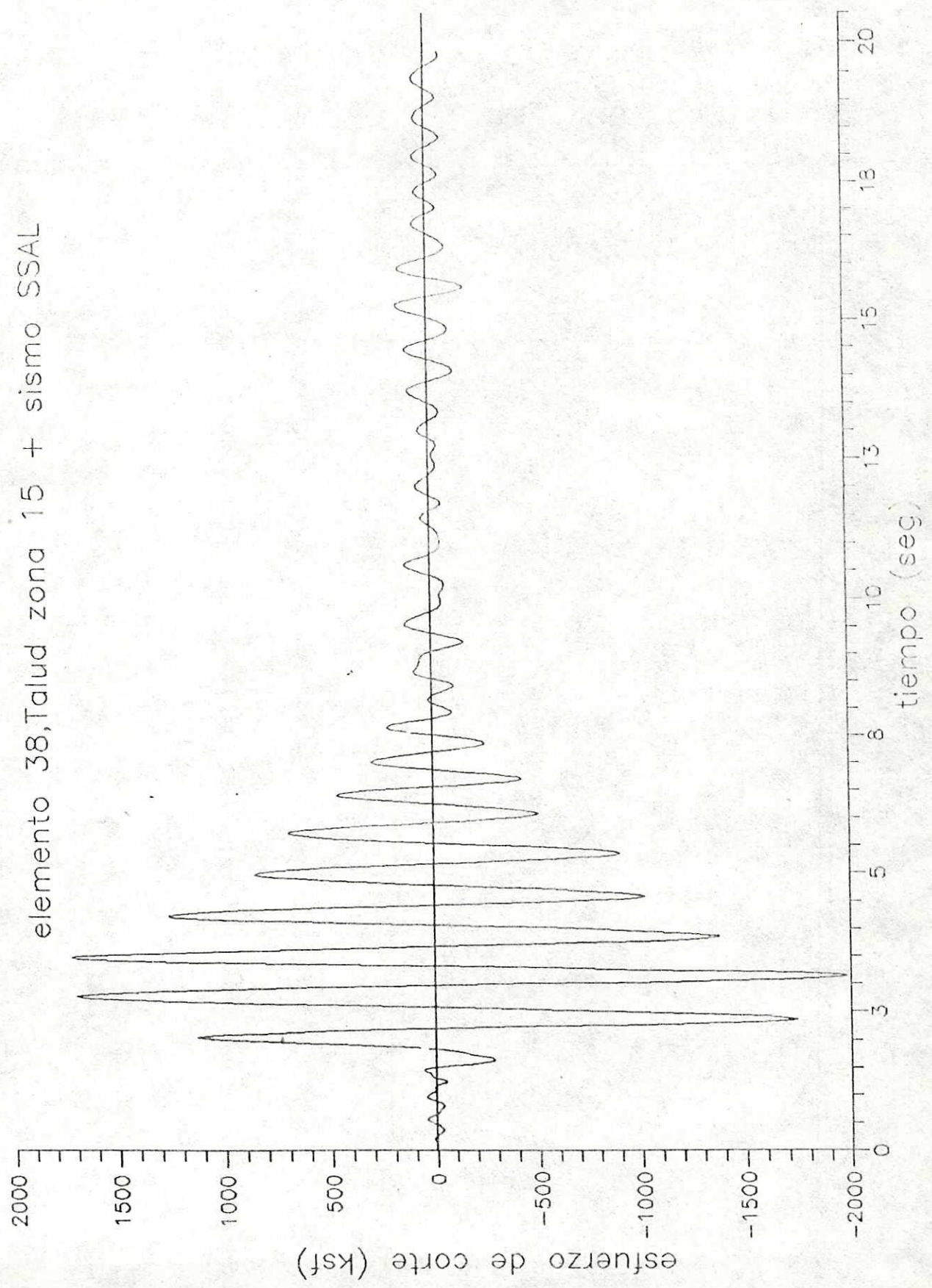


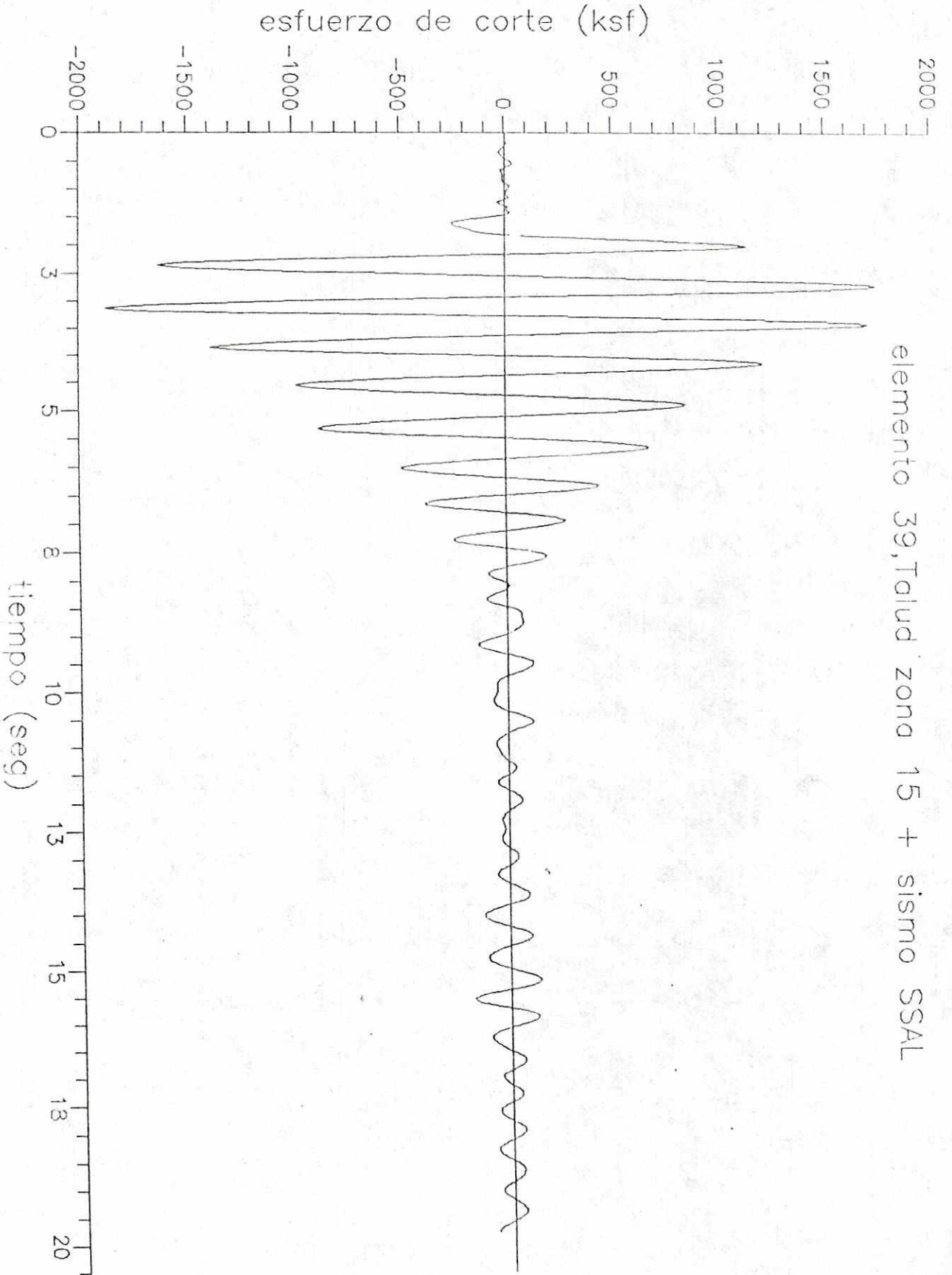
esfuerzo de corte (ksf)



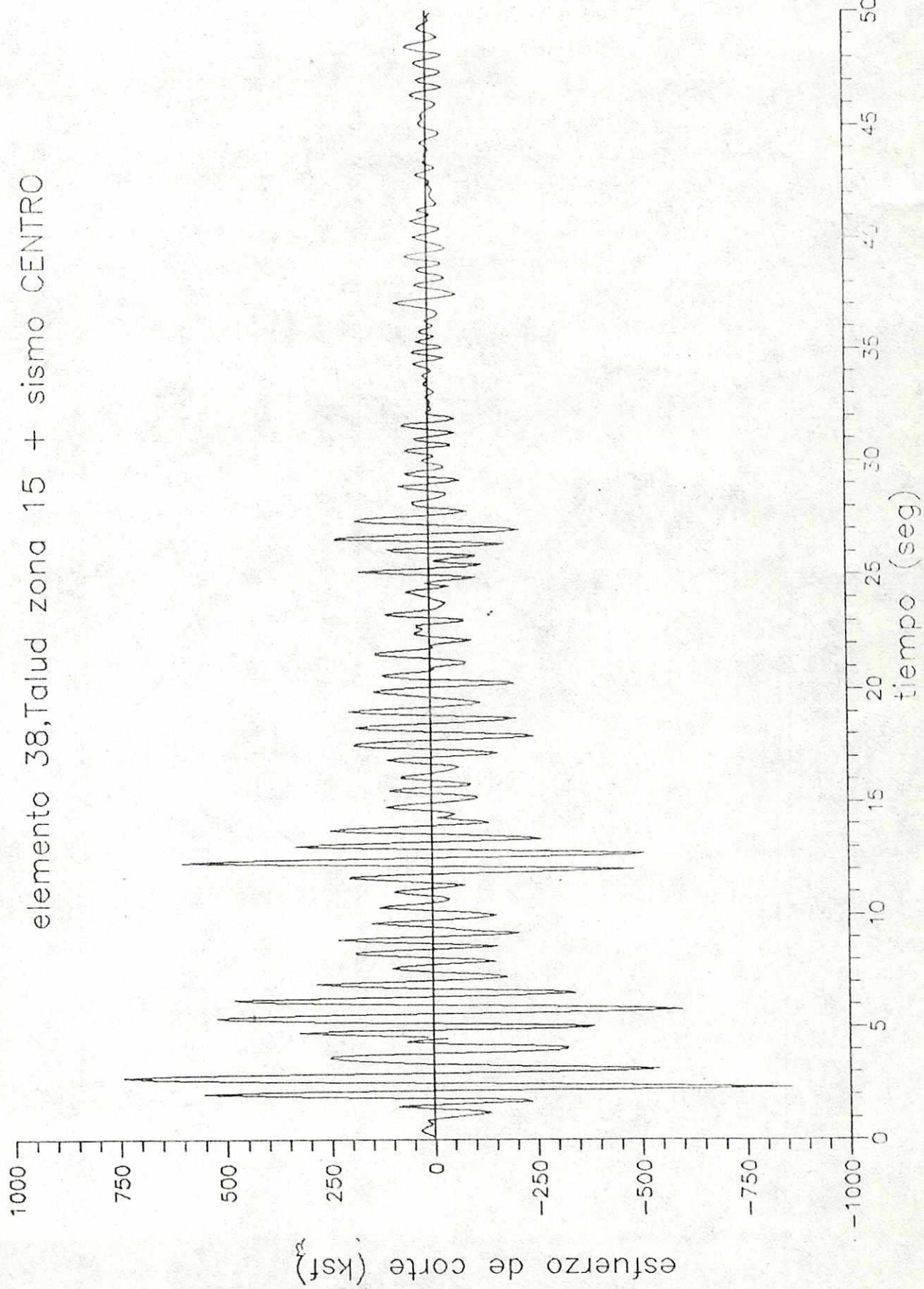
elemento 39, Talud zona 15 + sismo GUATEM

elemento 38, Talud zona 15 + sismo SSAL

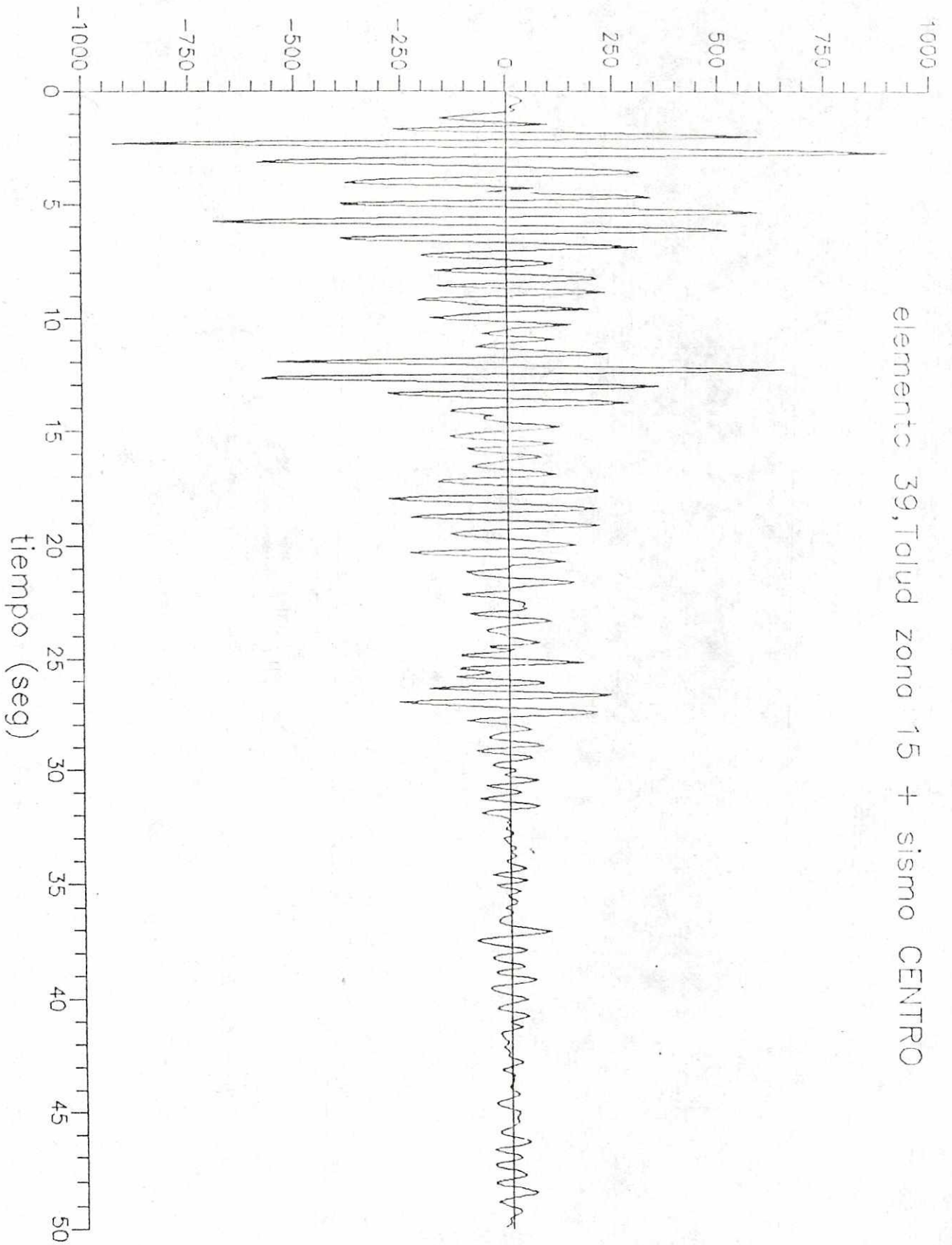




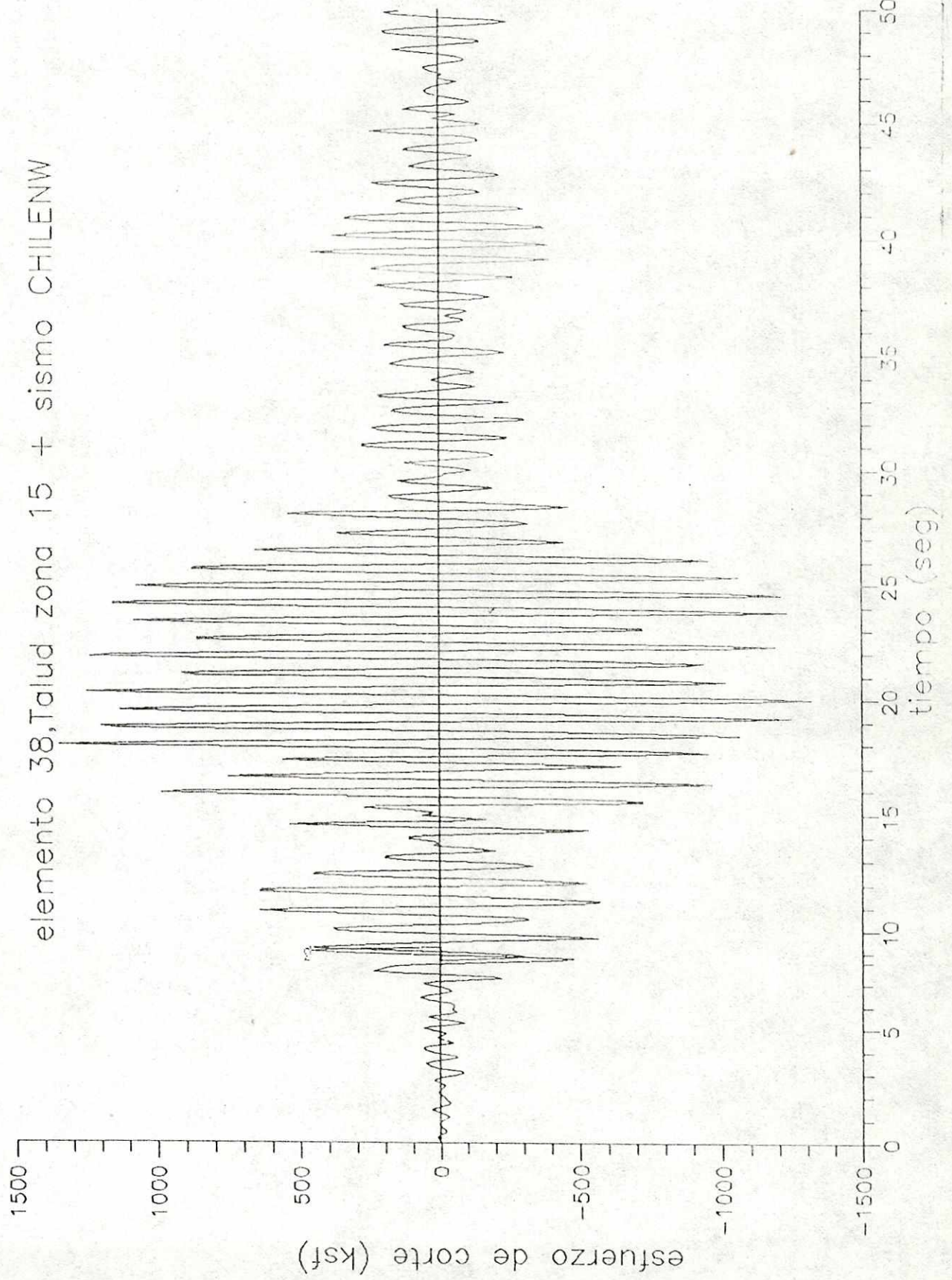
elemento 38, Talud zona 15 + sismo CENTRO



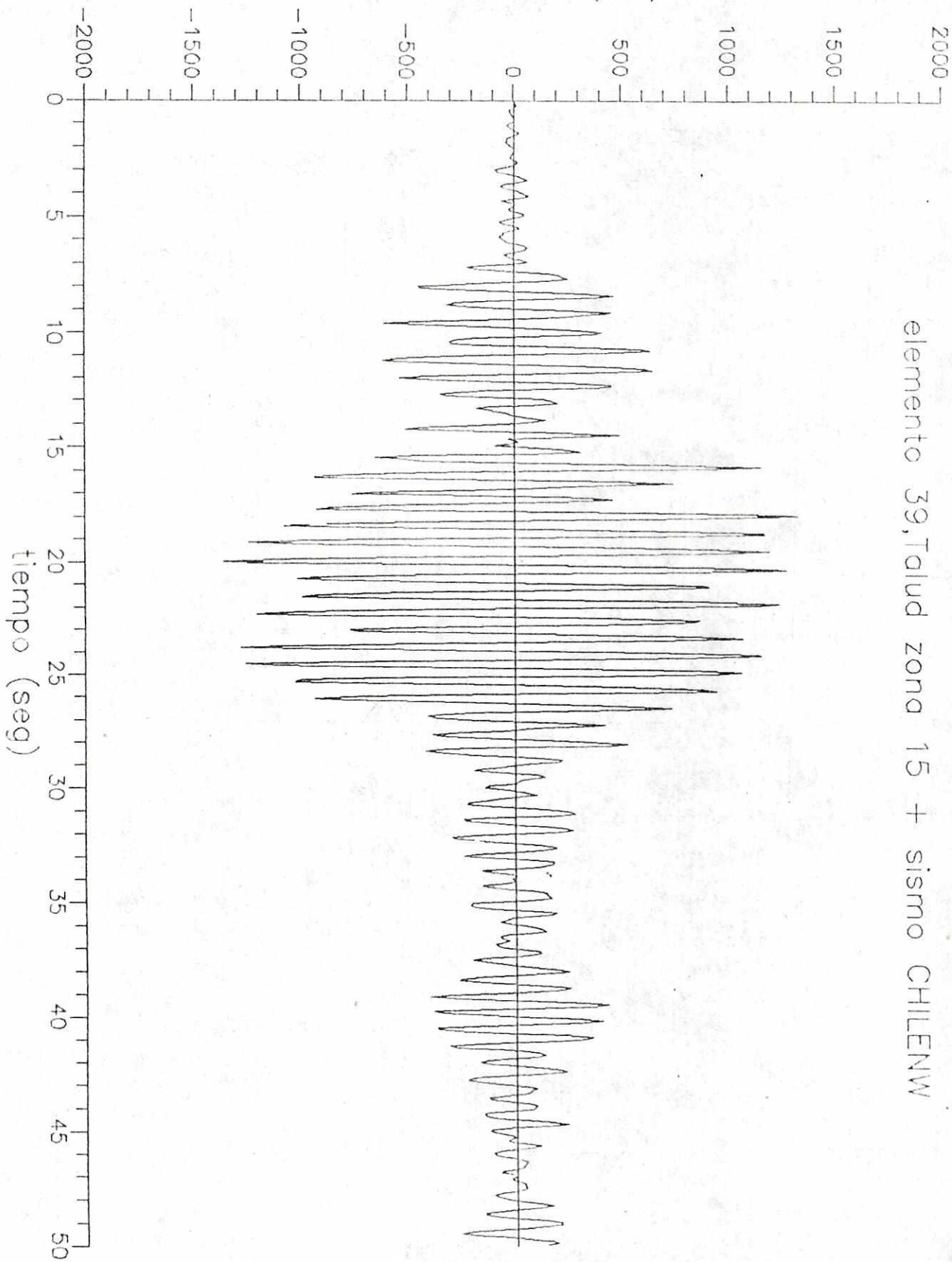
esfuerzo de corte (ksf)



elemento 38, Talud zona 15 + sismo CHILENW

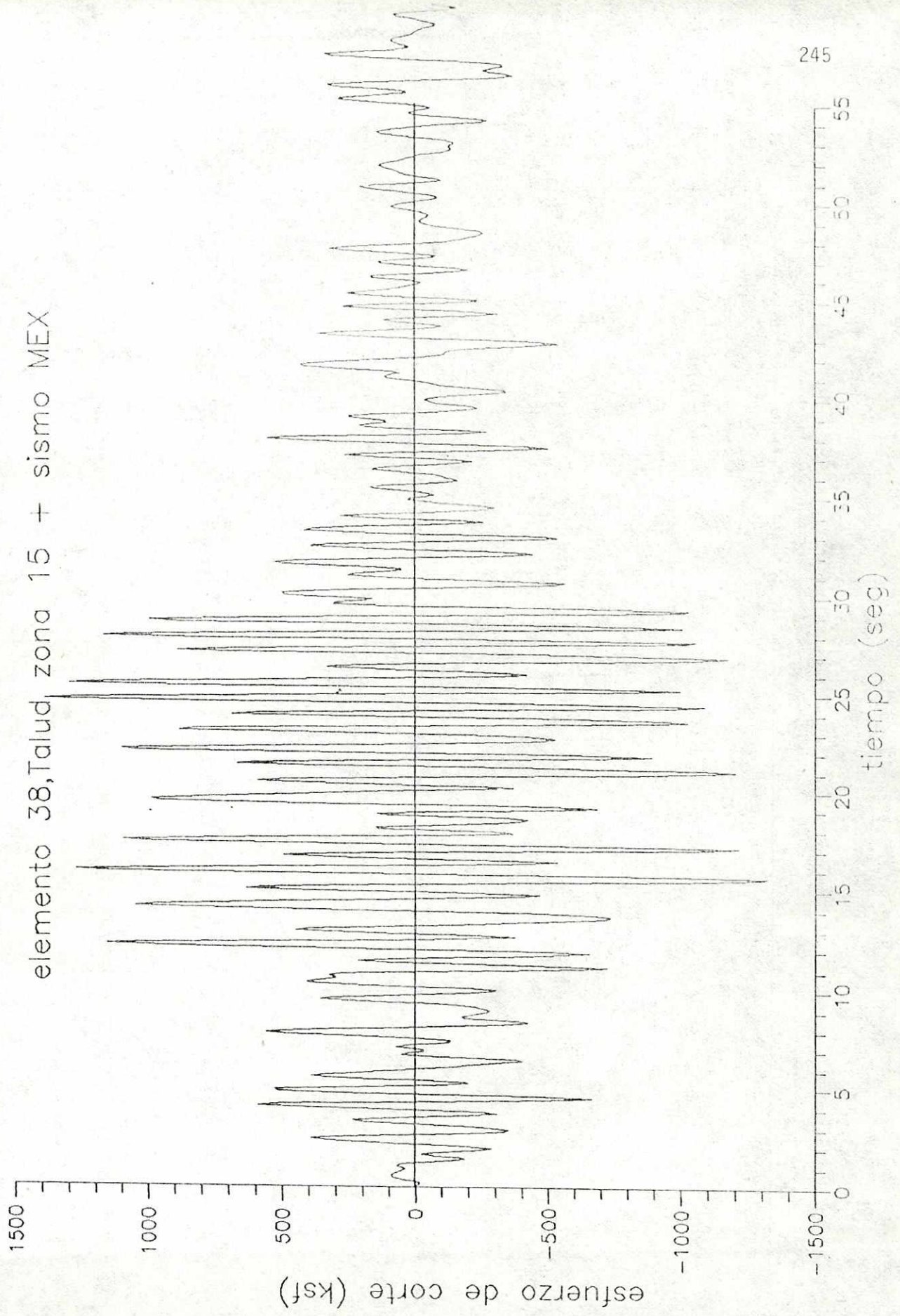


esfuerzo de corte (ksf):

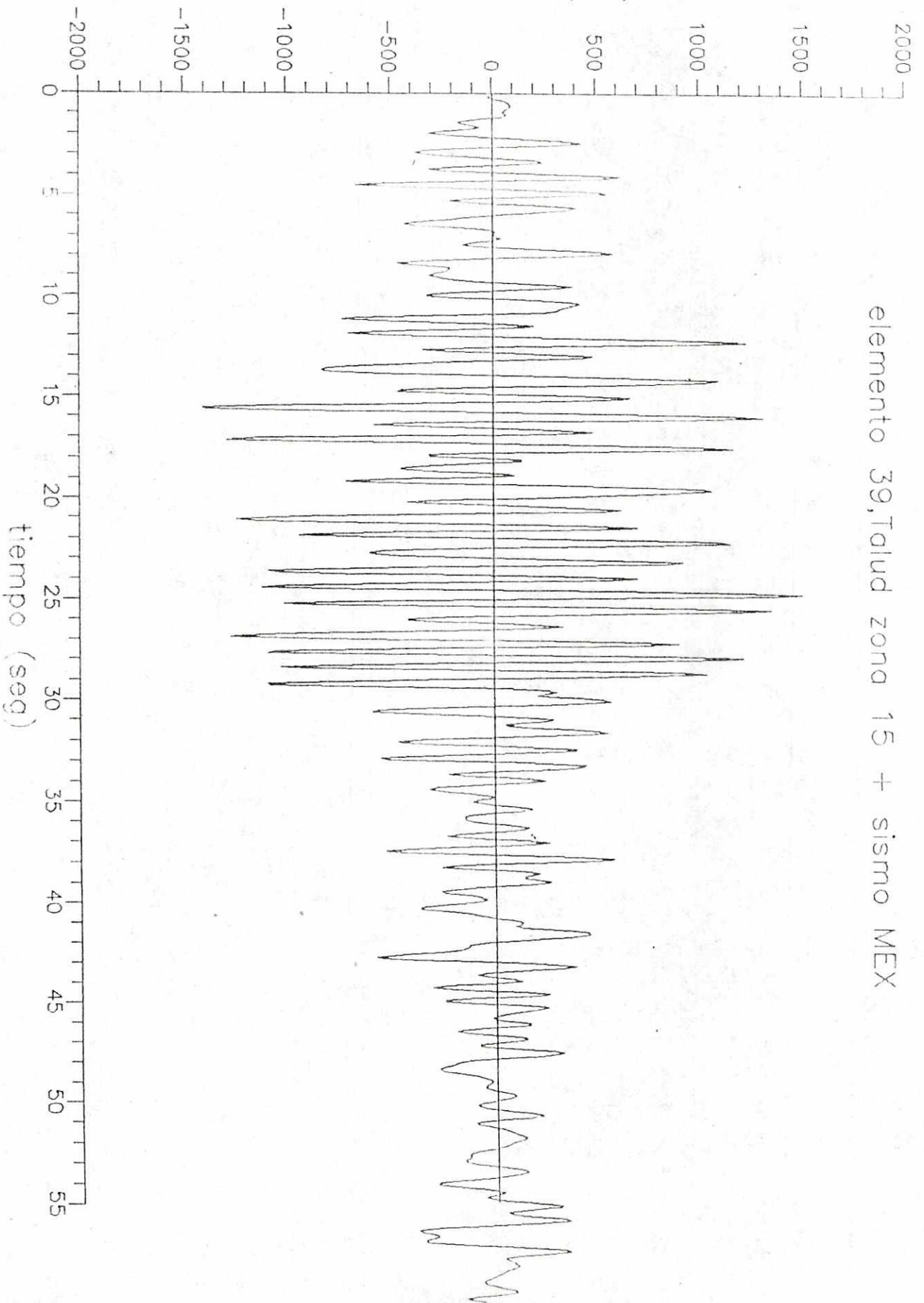


elemento 39, Talud zona 15 + sismo CHILENW

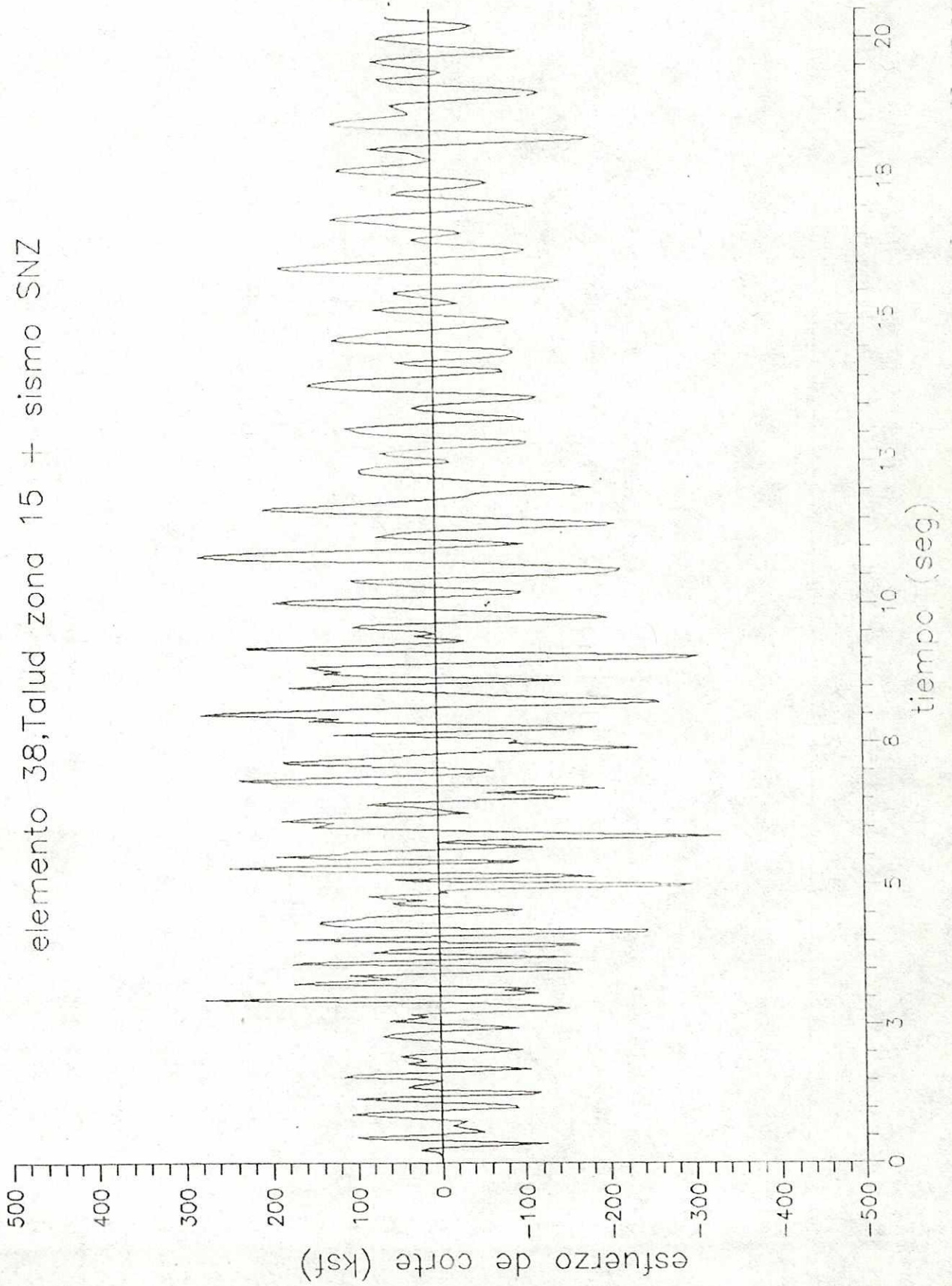
elemento 38, Talud zona 15 + sismo MEX



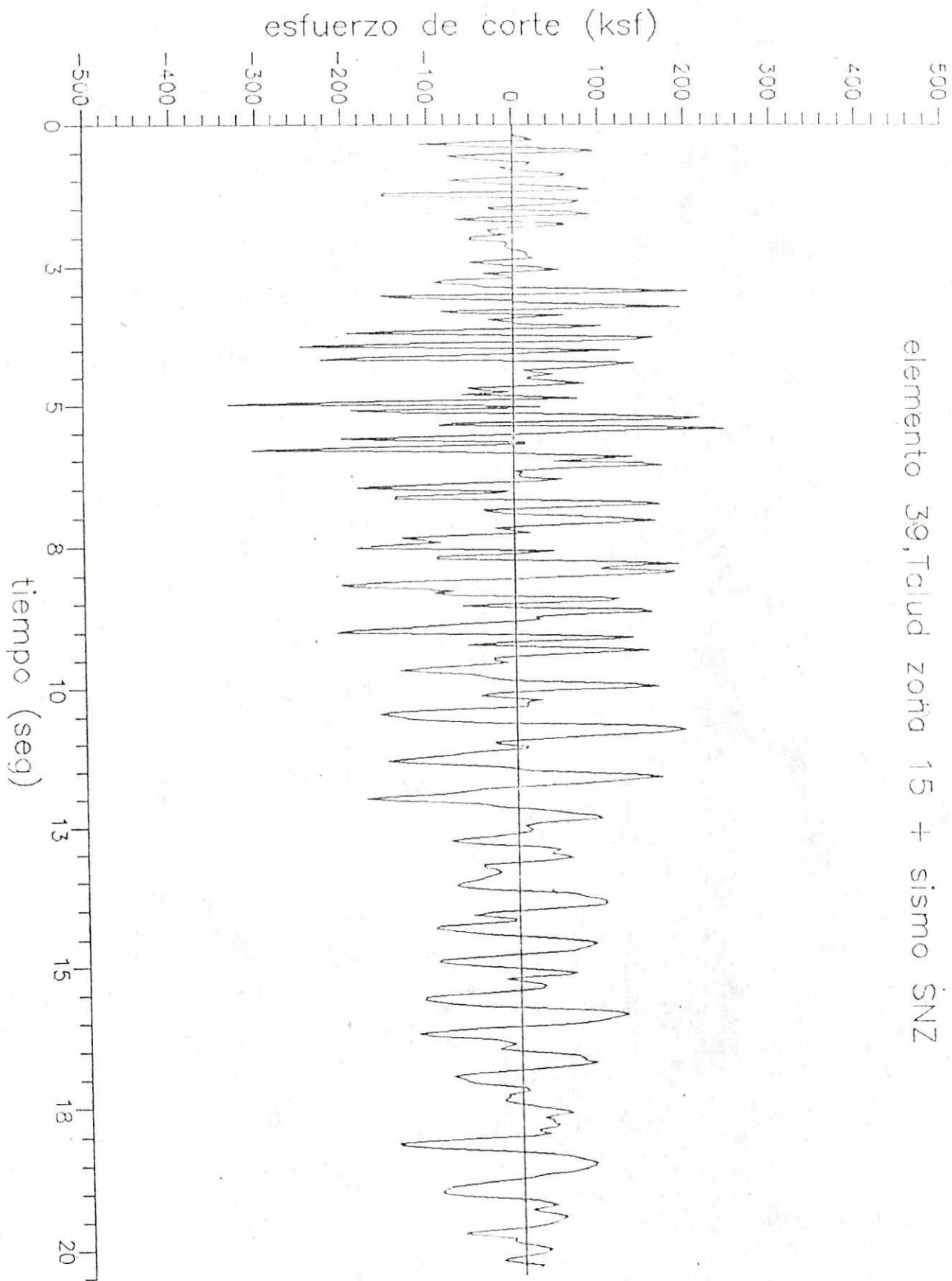
esfuerzo de corte (ksf)



elemento 38, Talud zona 15 + sismo SNZ



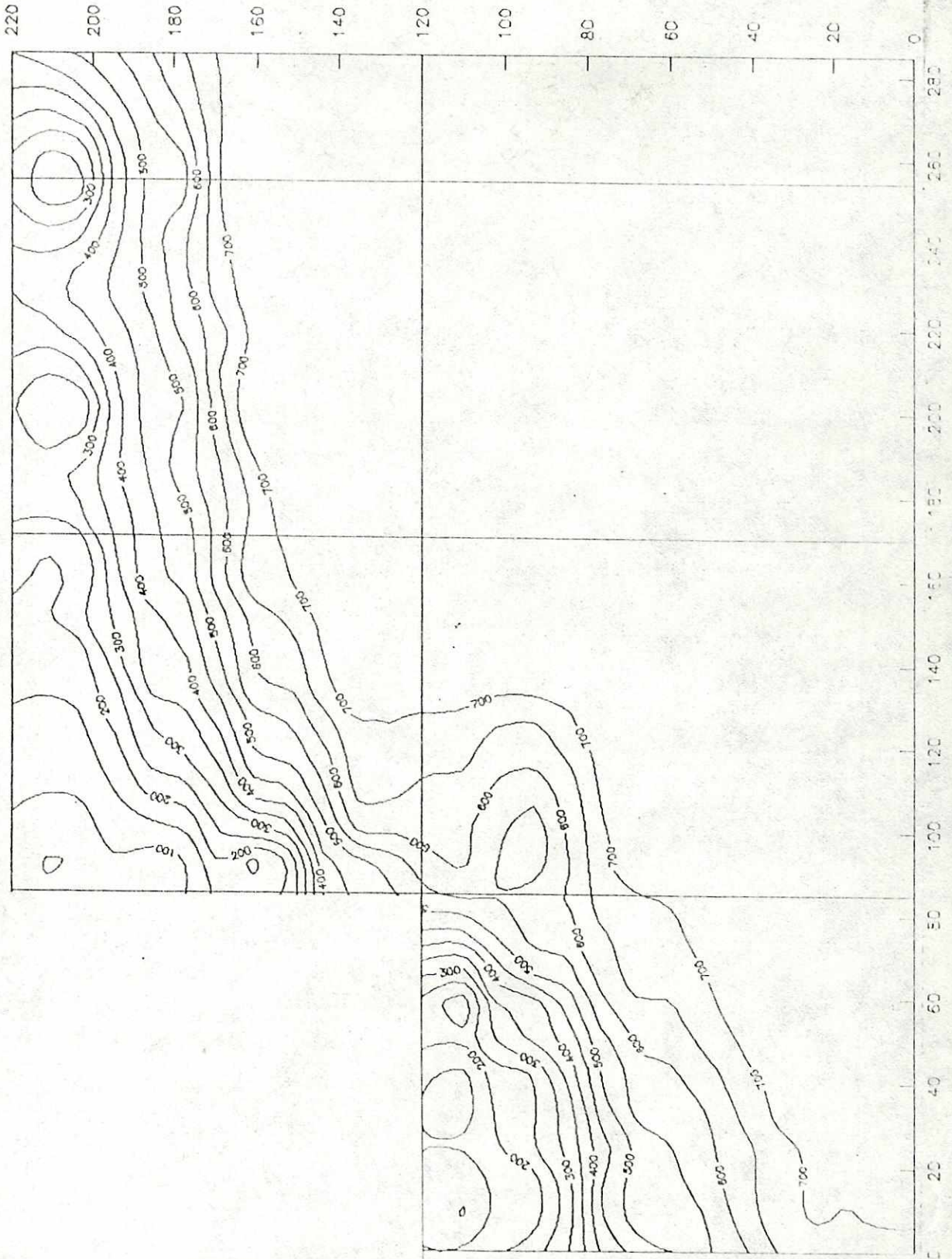
elemento 39, Talud zona 15 + sismo SNZ

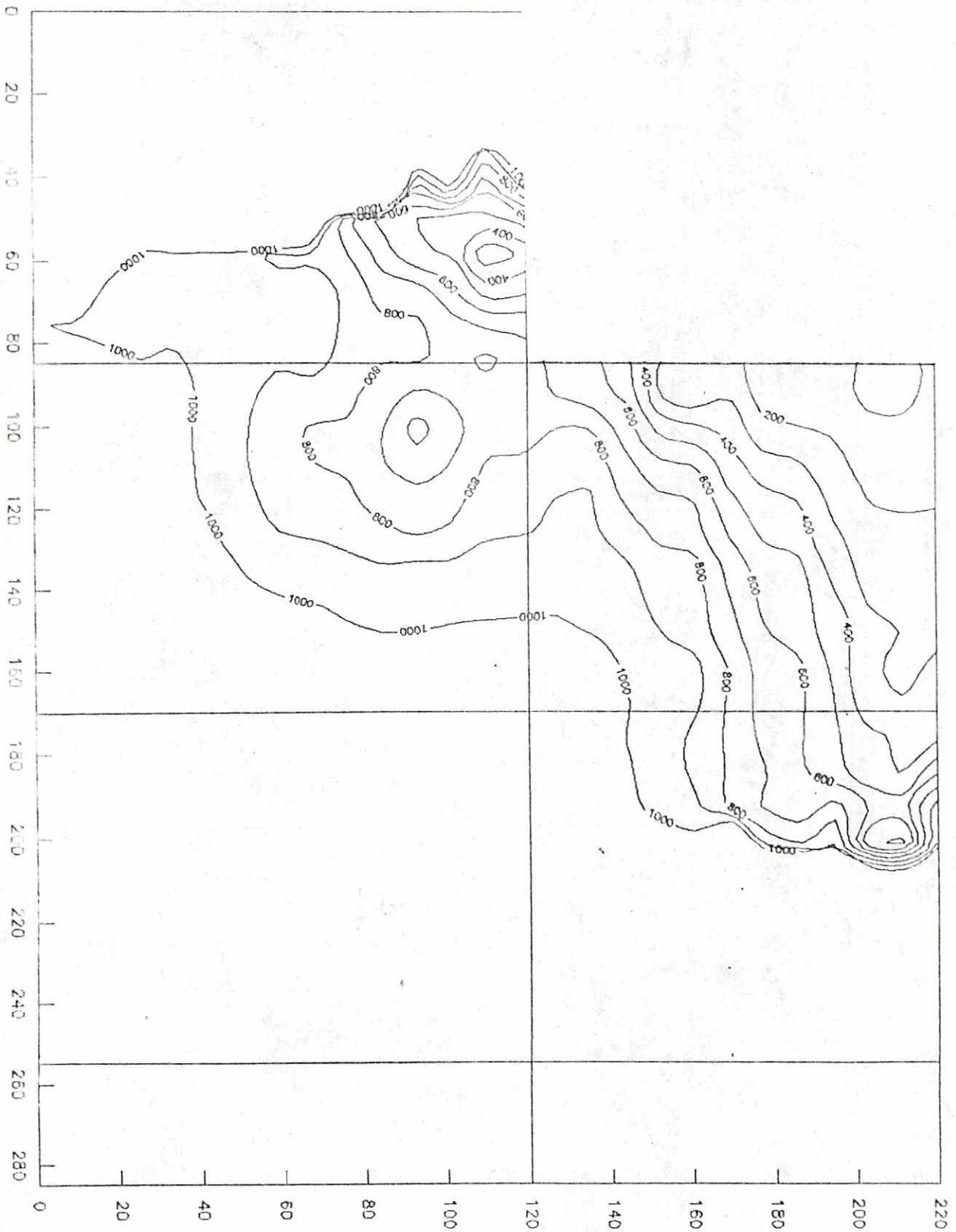


APENDICE J

Gráficas de isoesfuerzos de corte.

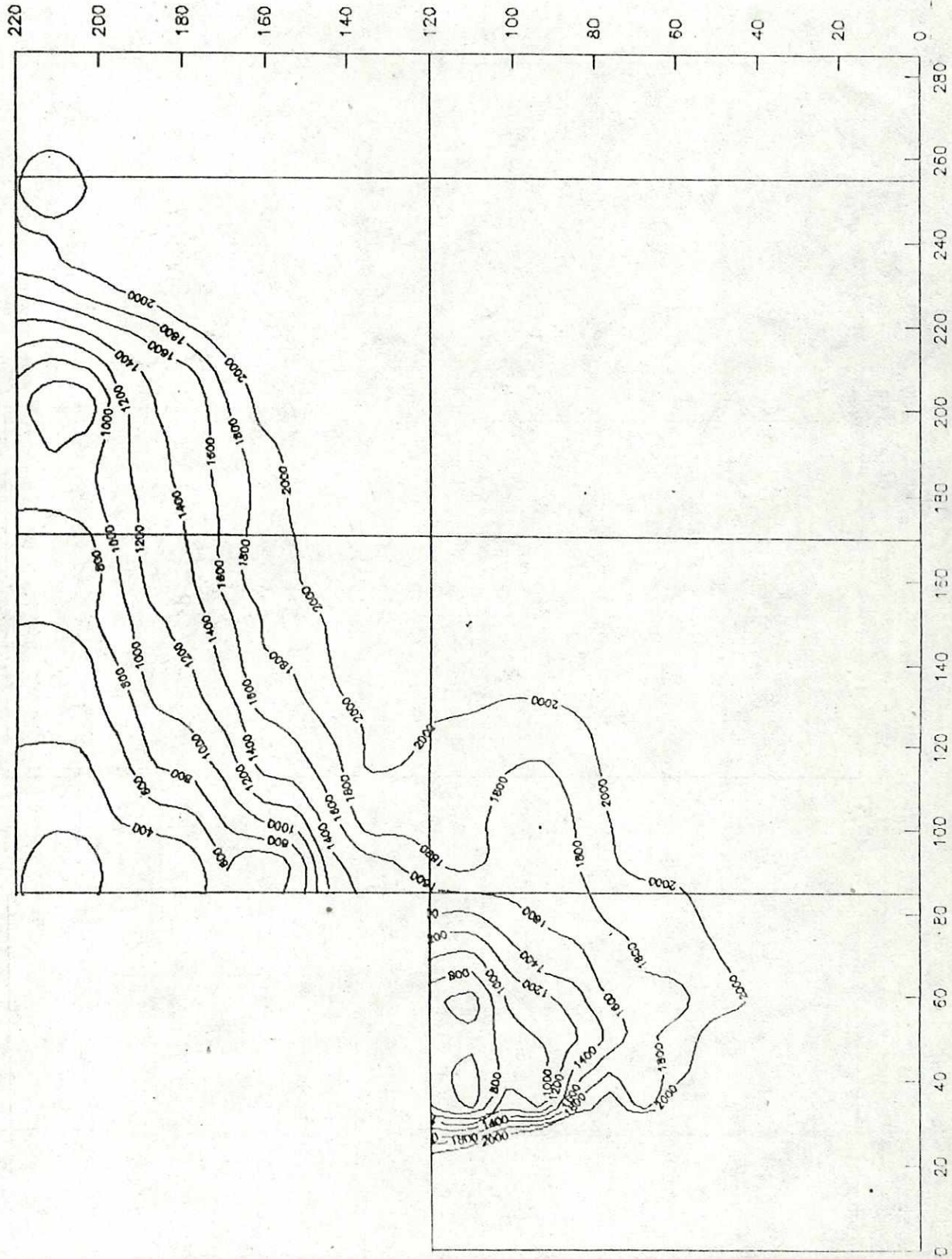
Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 1

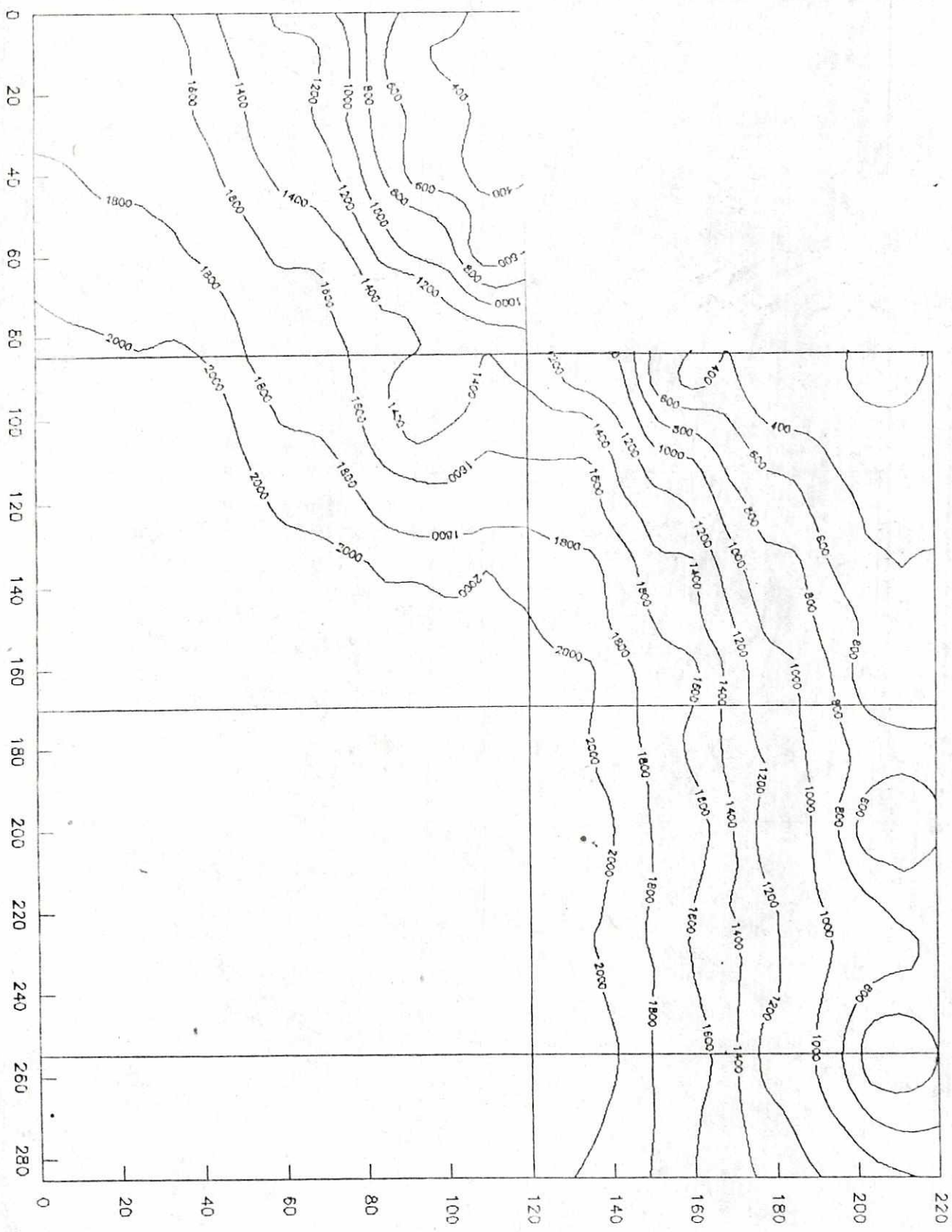




Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 2

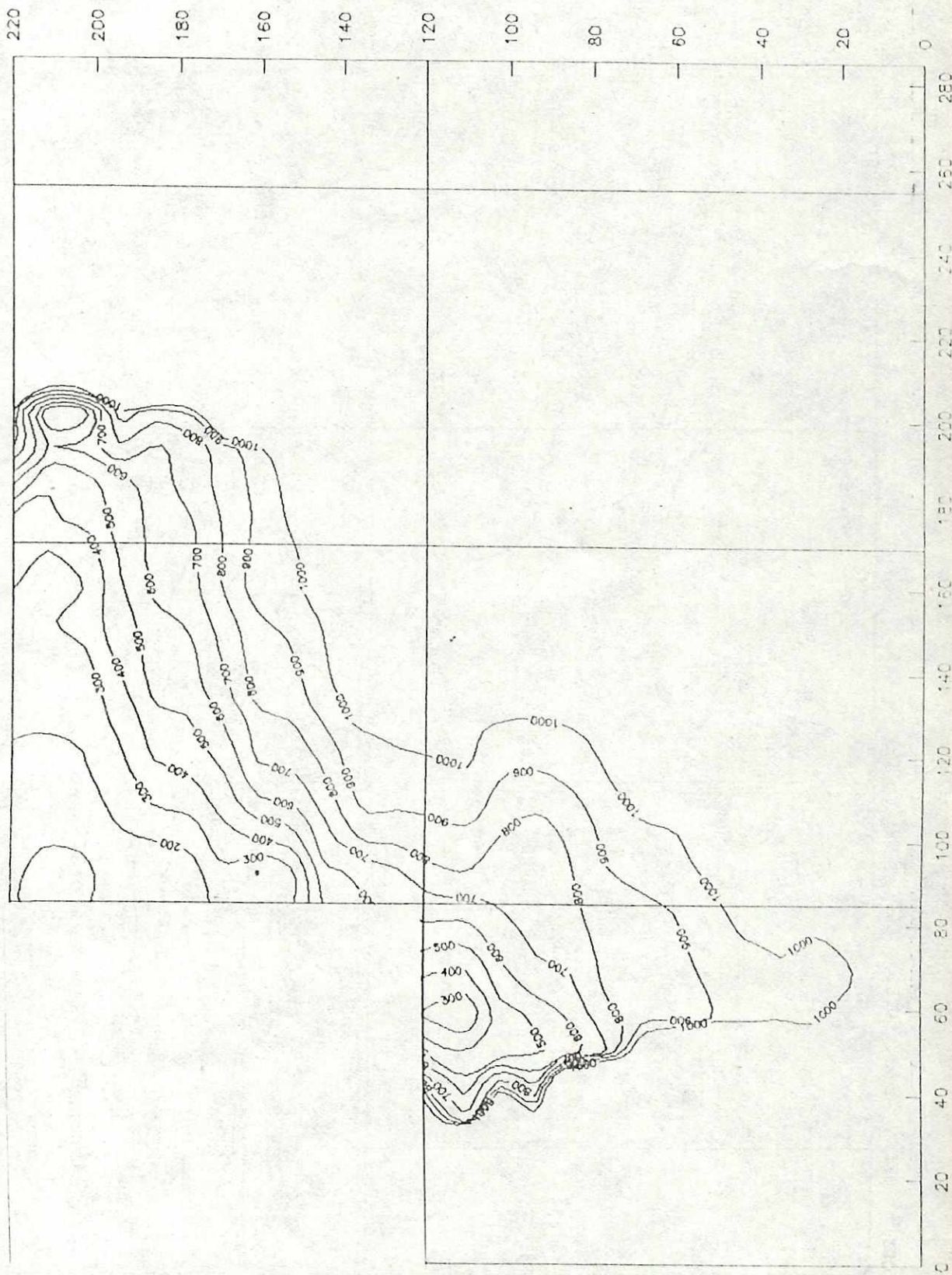
Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 3

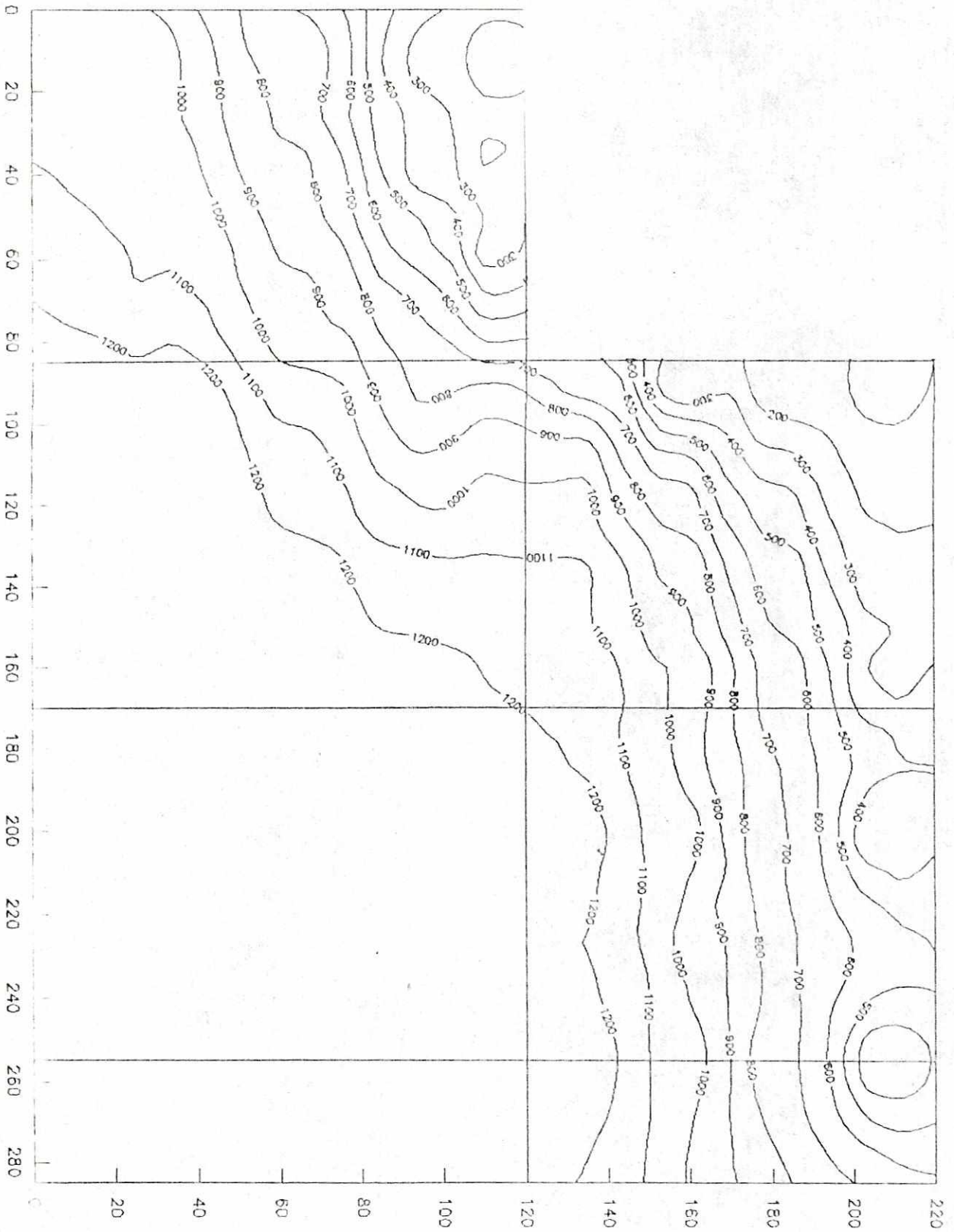




Esfuerzo de corte (lb/pie2), Tolud 1, Sismo 4

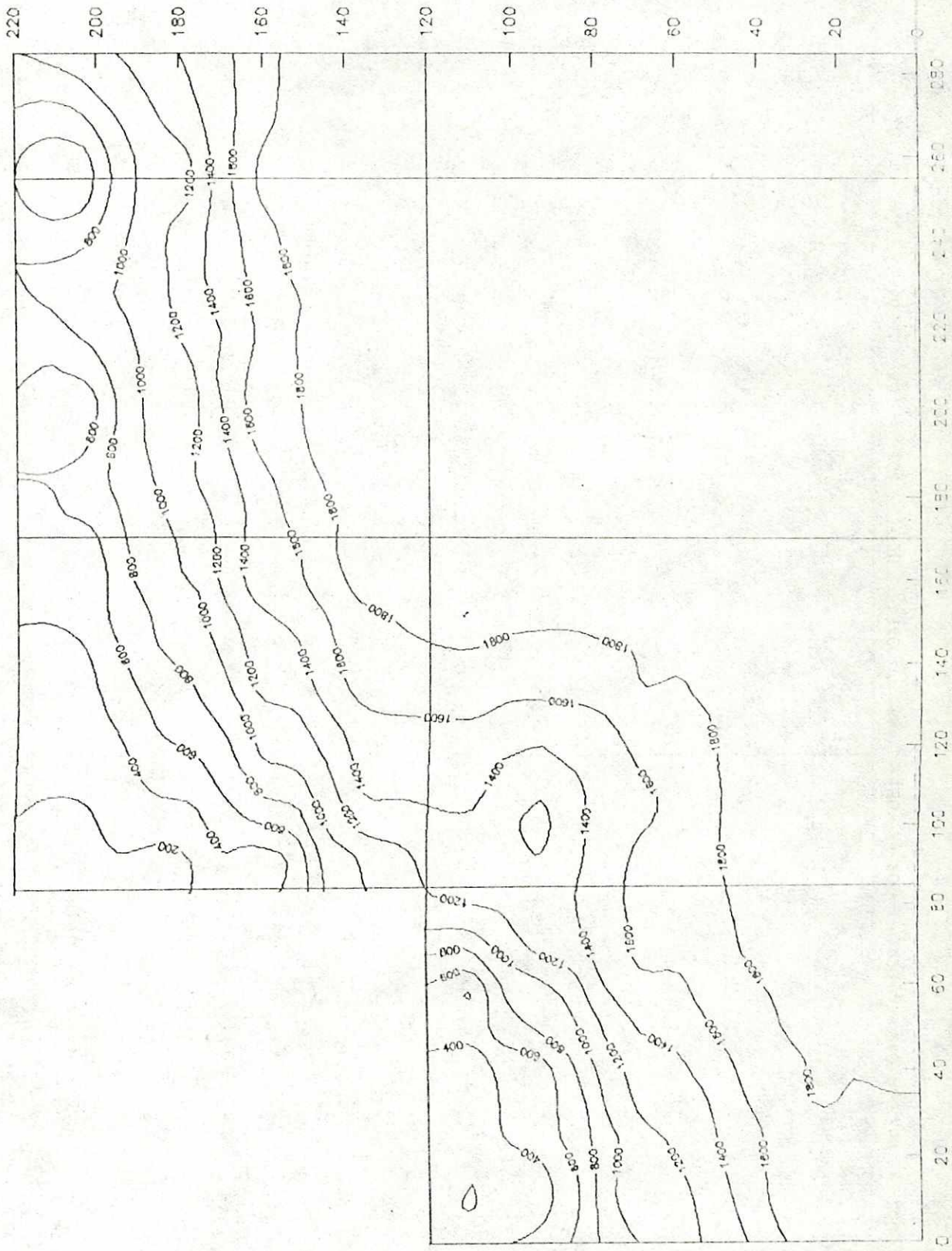
Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 5

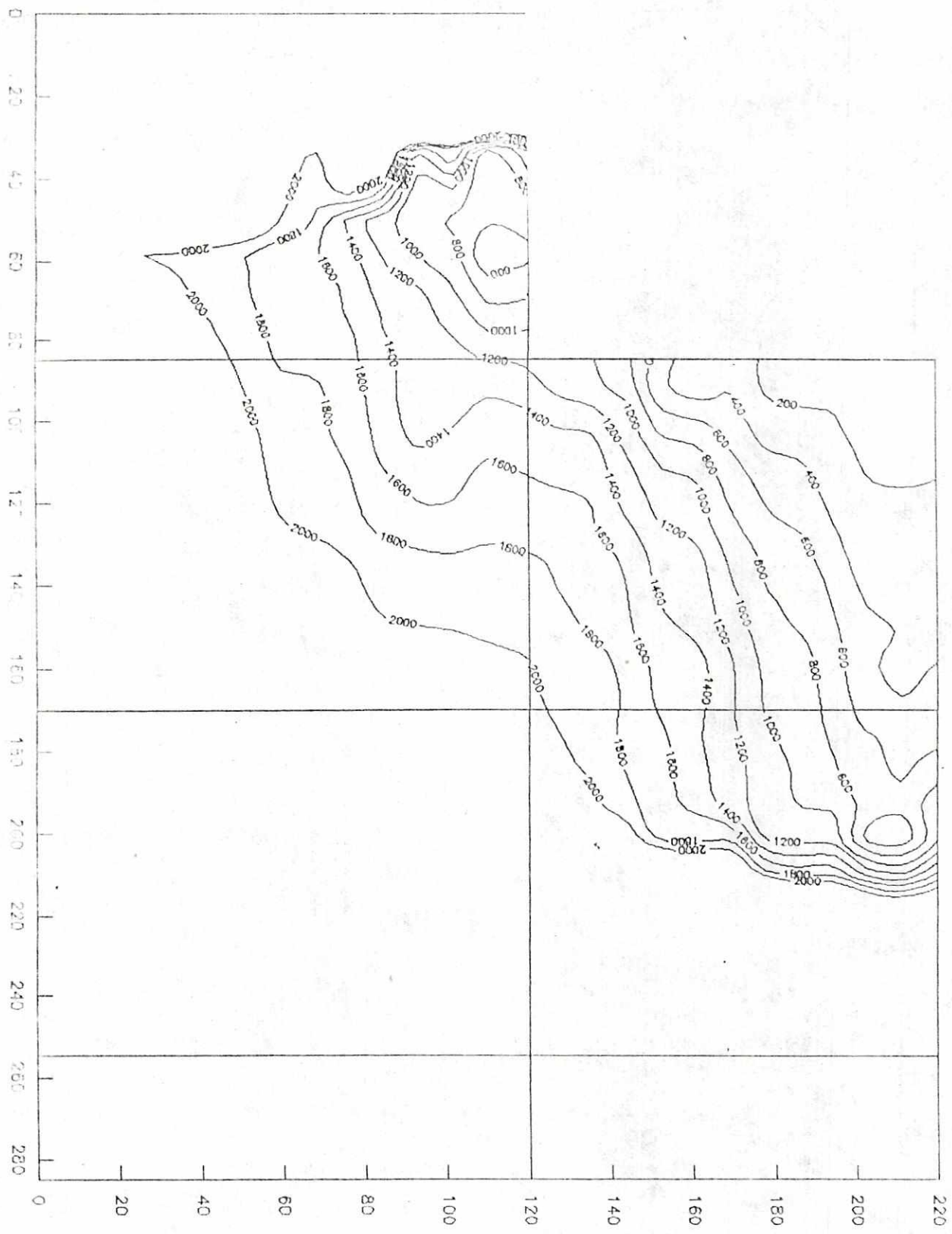




Esfuerzo de corte (lb/pie²), Tolud 1, Sismo 6

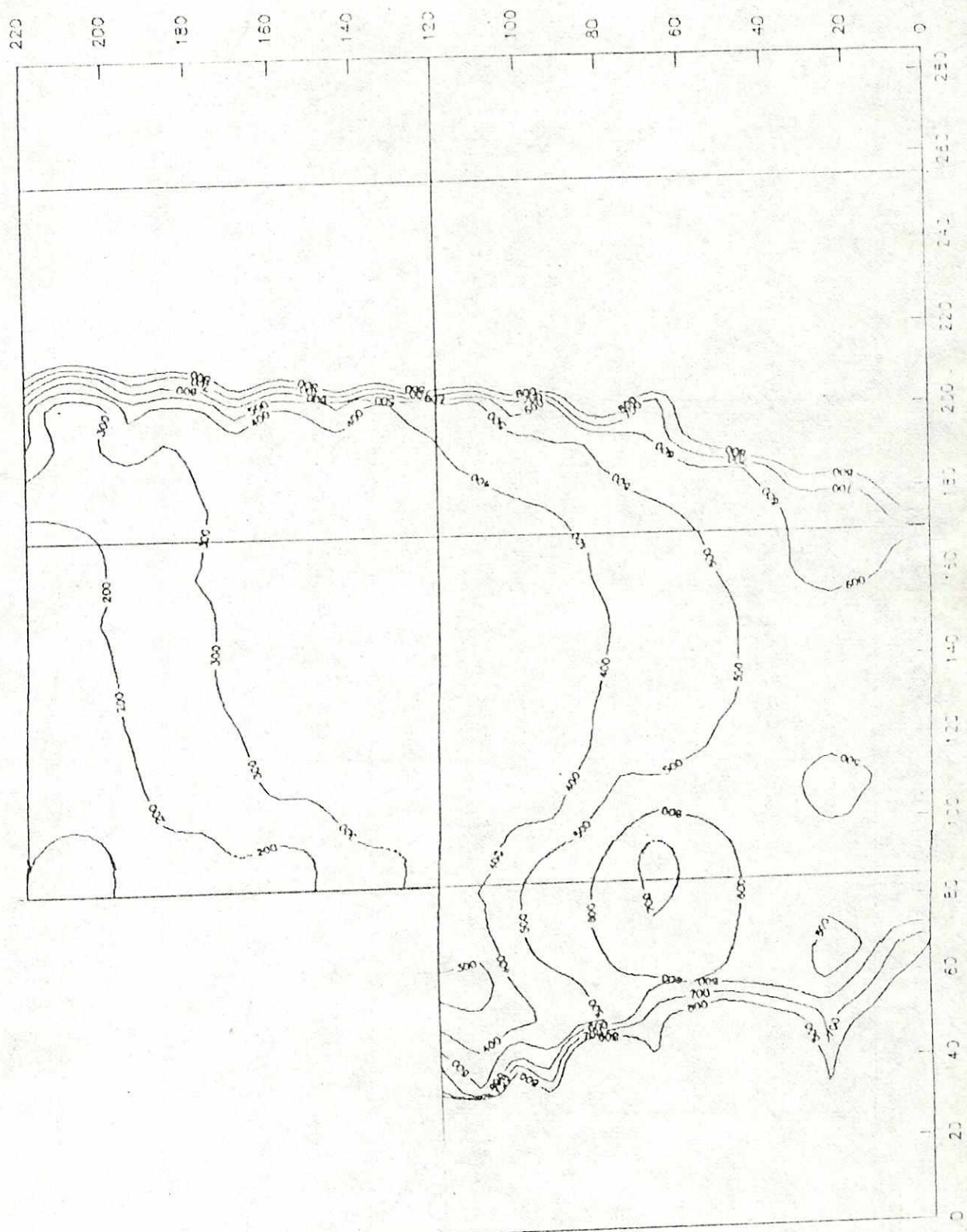
Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 7





Esfuerzo de corte (lb/pie²), Tolud 1, Sismo 8

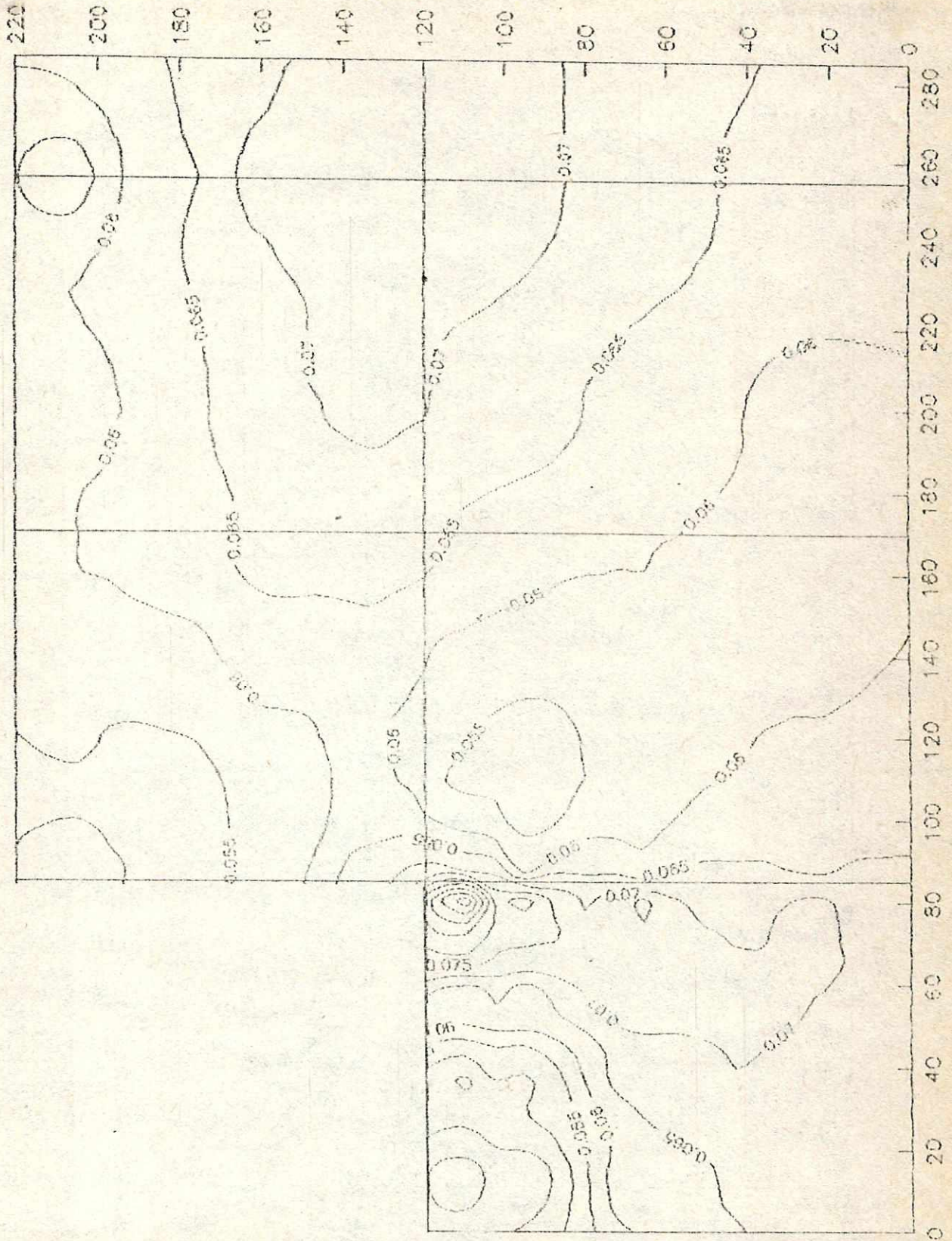
Esfuerzo de corte (lb/pie²), Talud 1, Sismo 9

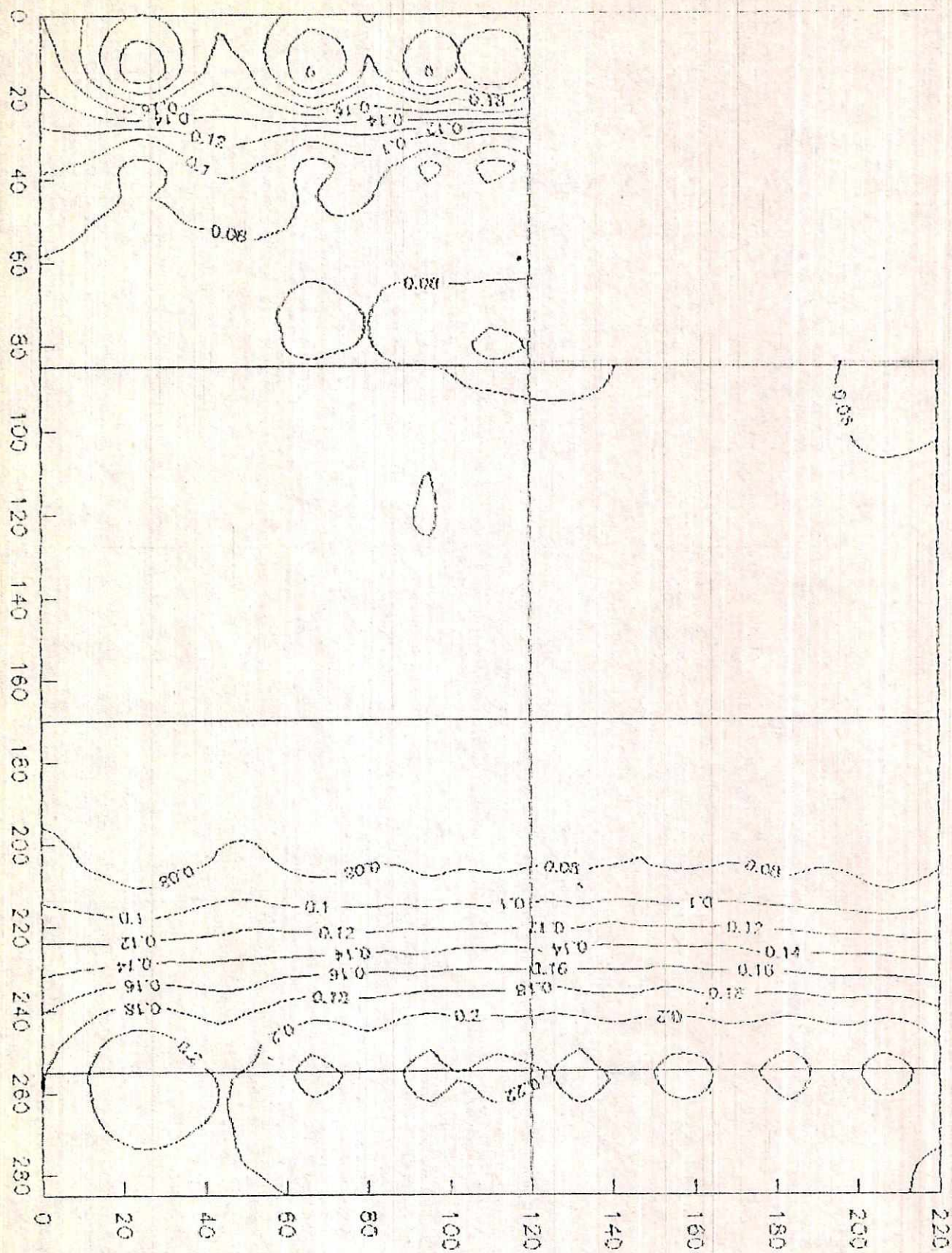


APENDICE K

Gráficas de la variación de
amortiguamiento.

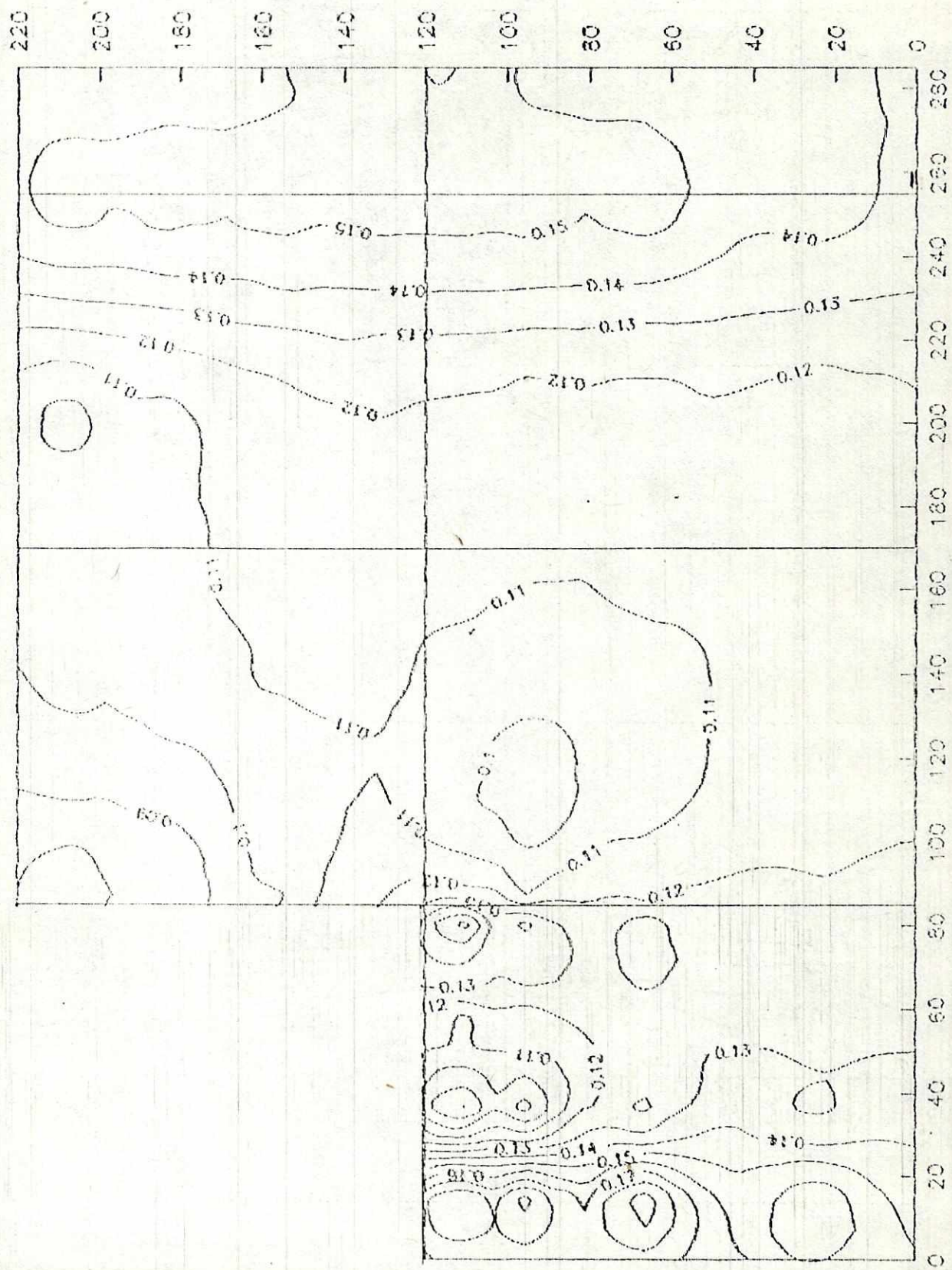
Amortiguamiento: Talud 1; Sismo 1



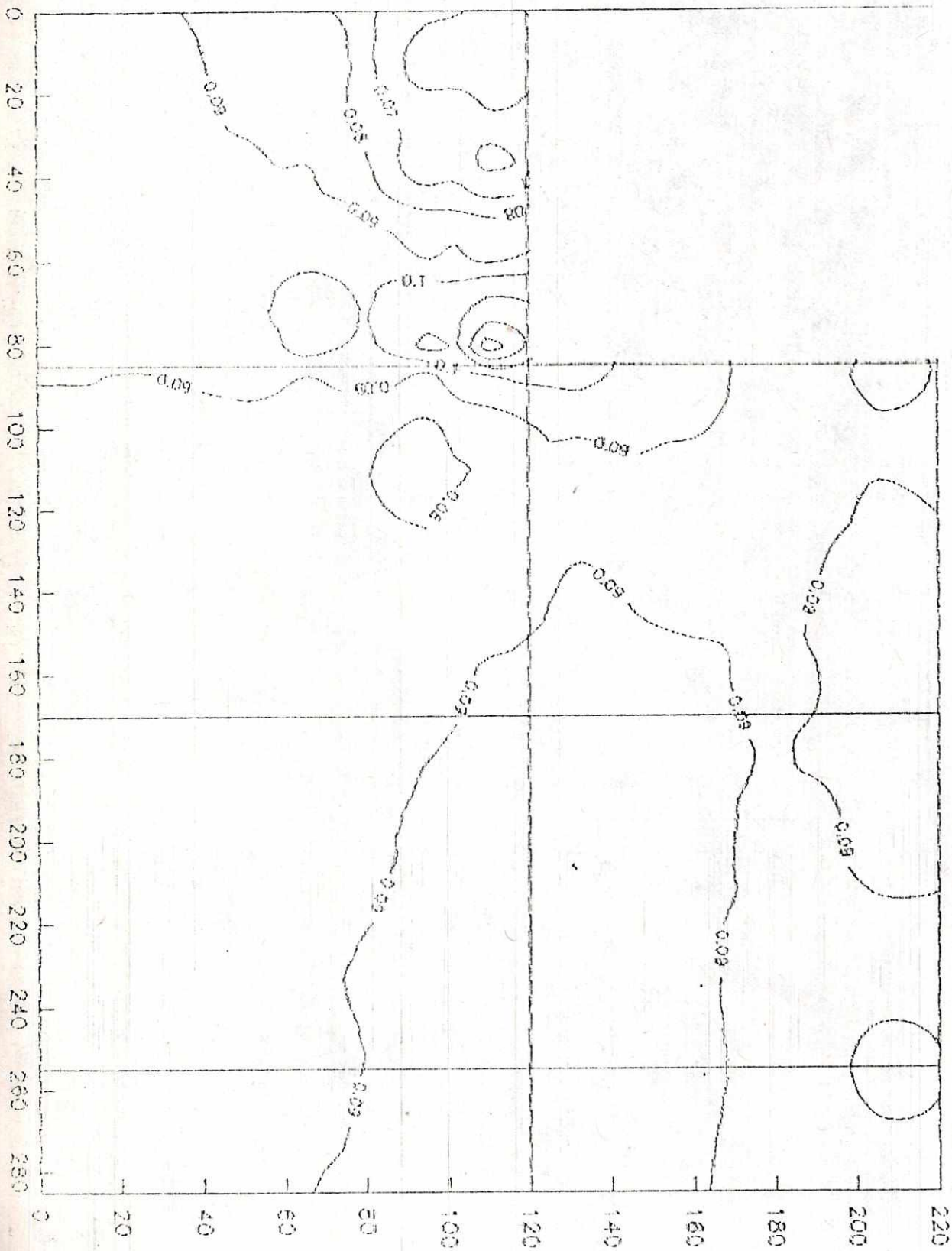


Amortiguamiento, Tolud 1, Sismo 2

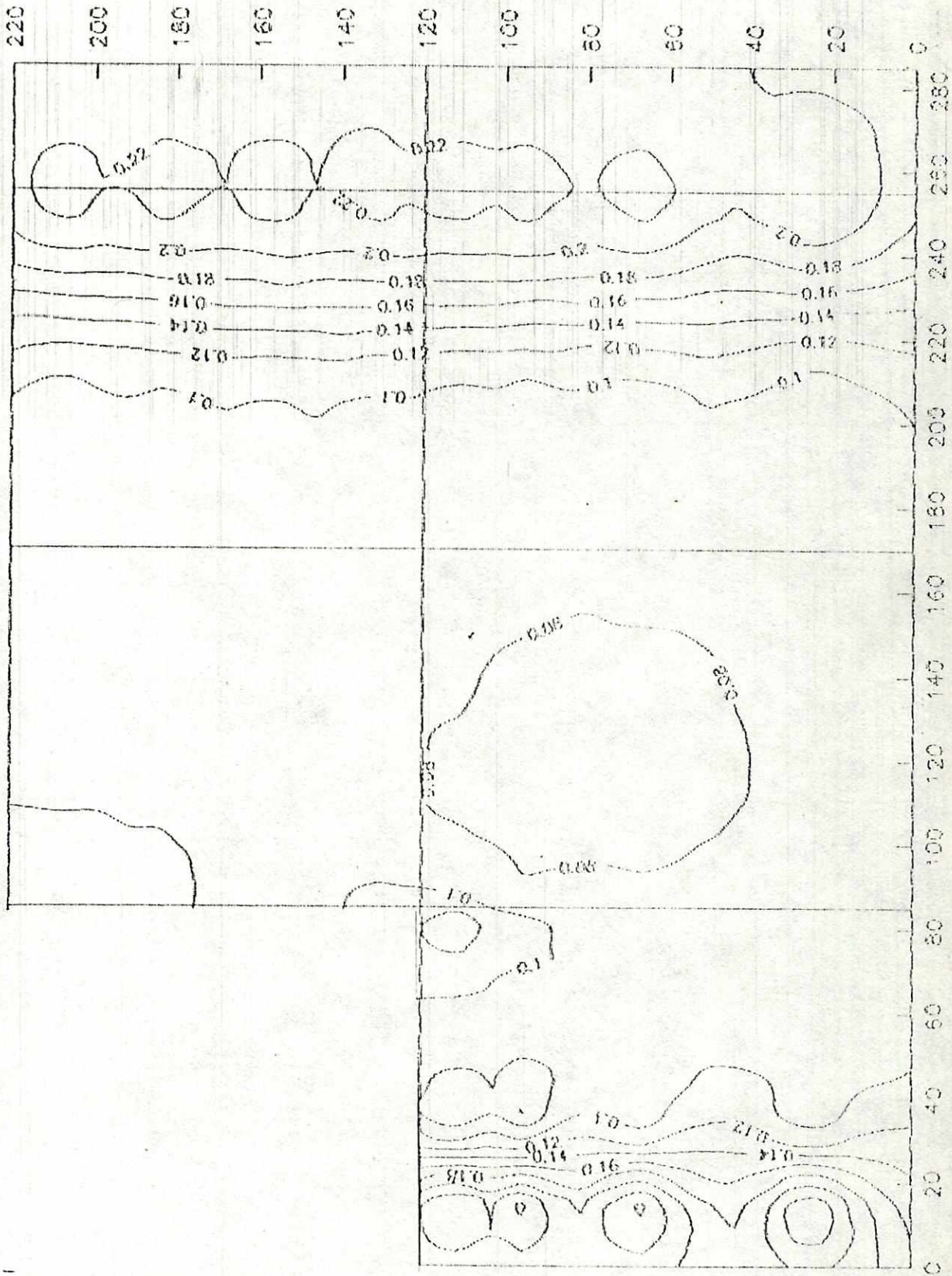
Amortiguamiento. Tolud 1. Sismo 3

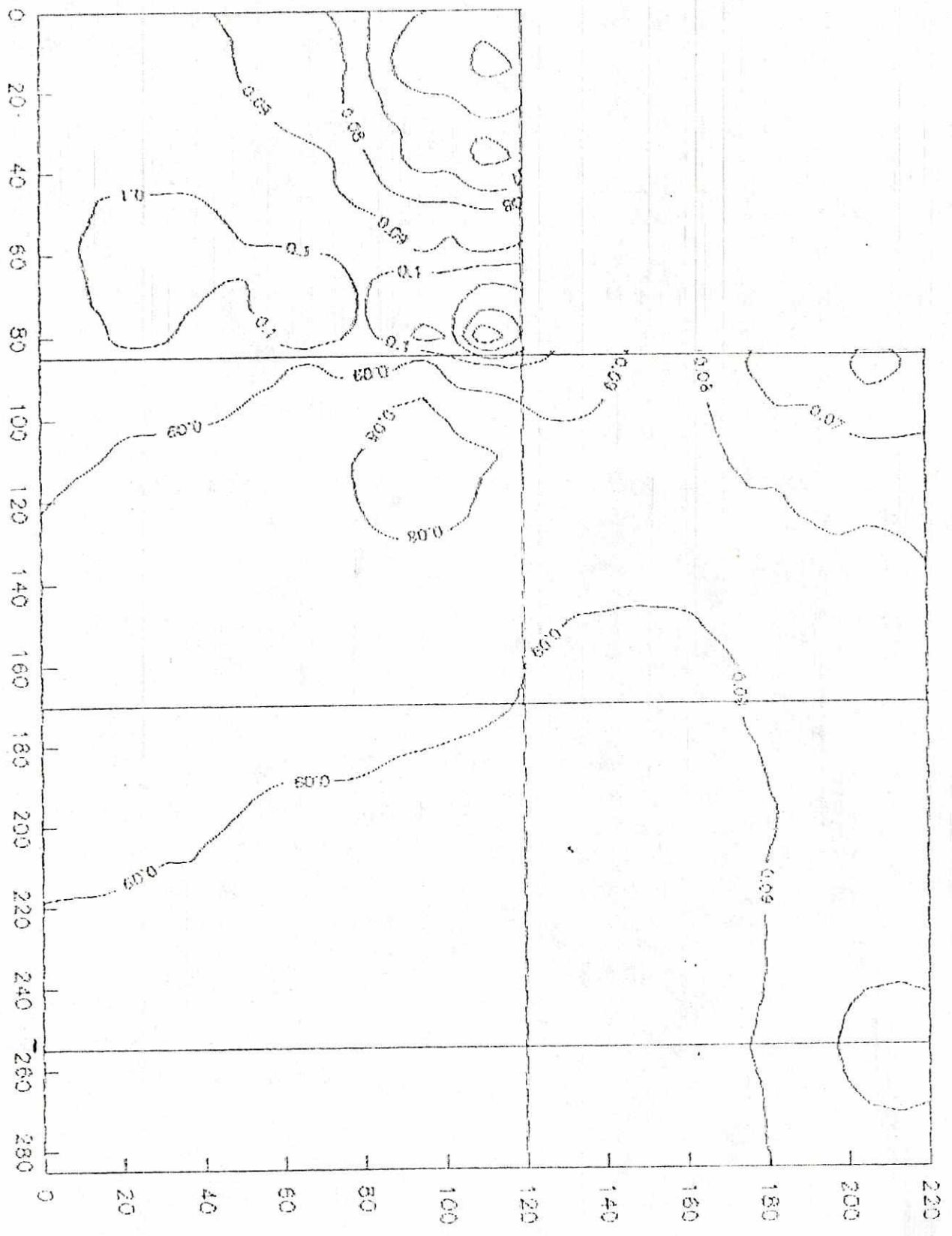


Amortiguamiento, Toluca 1, Sismo 4

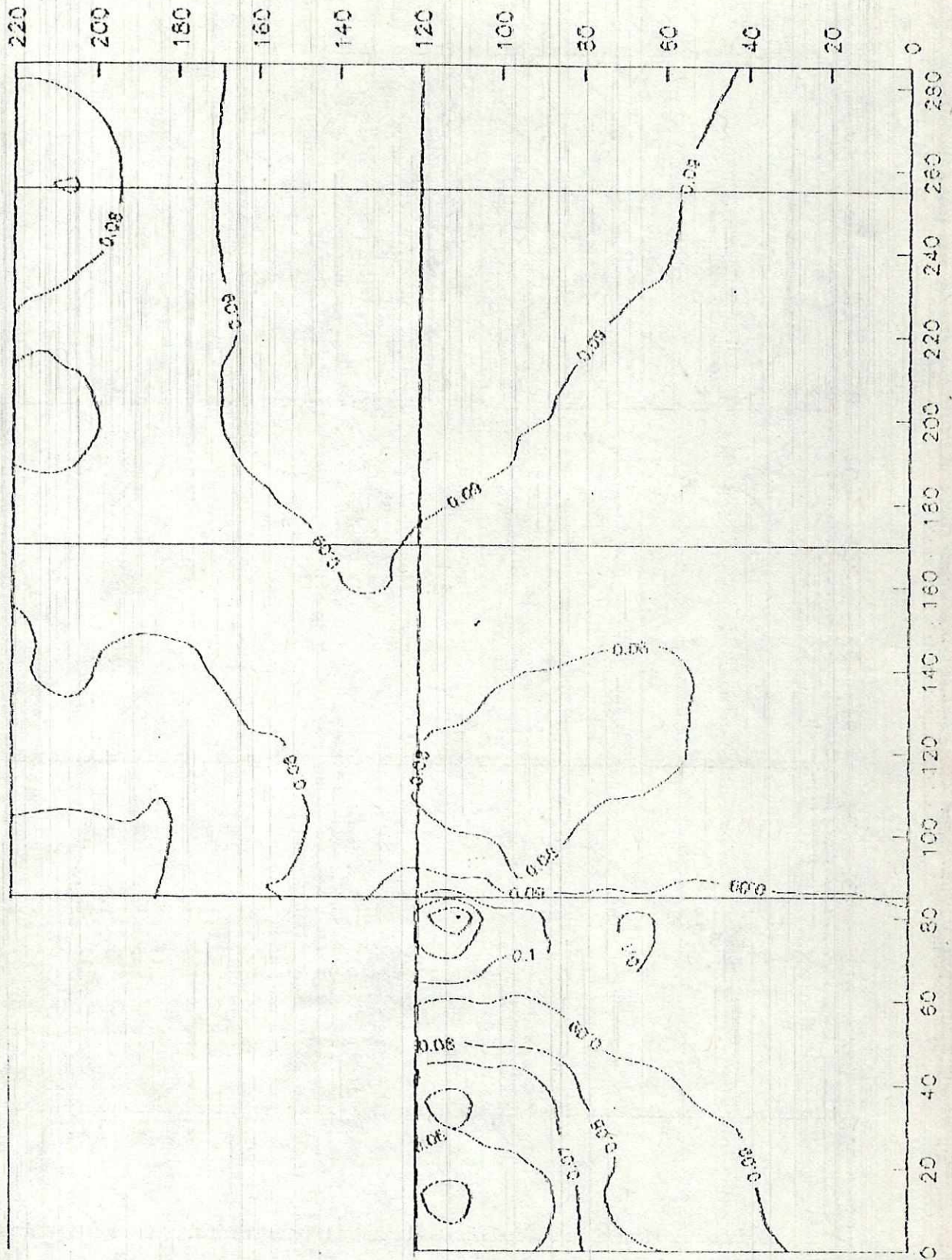


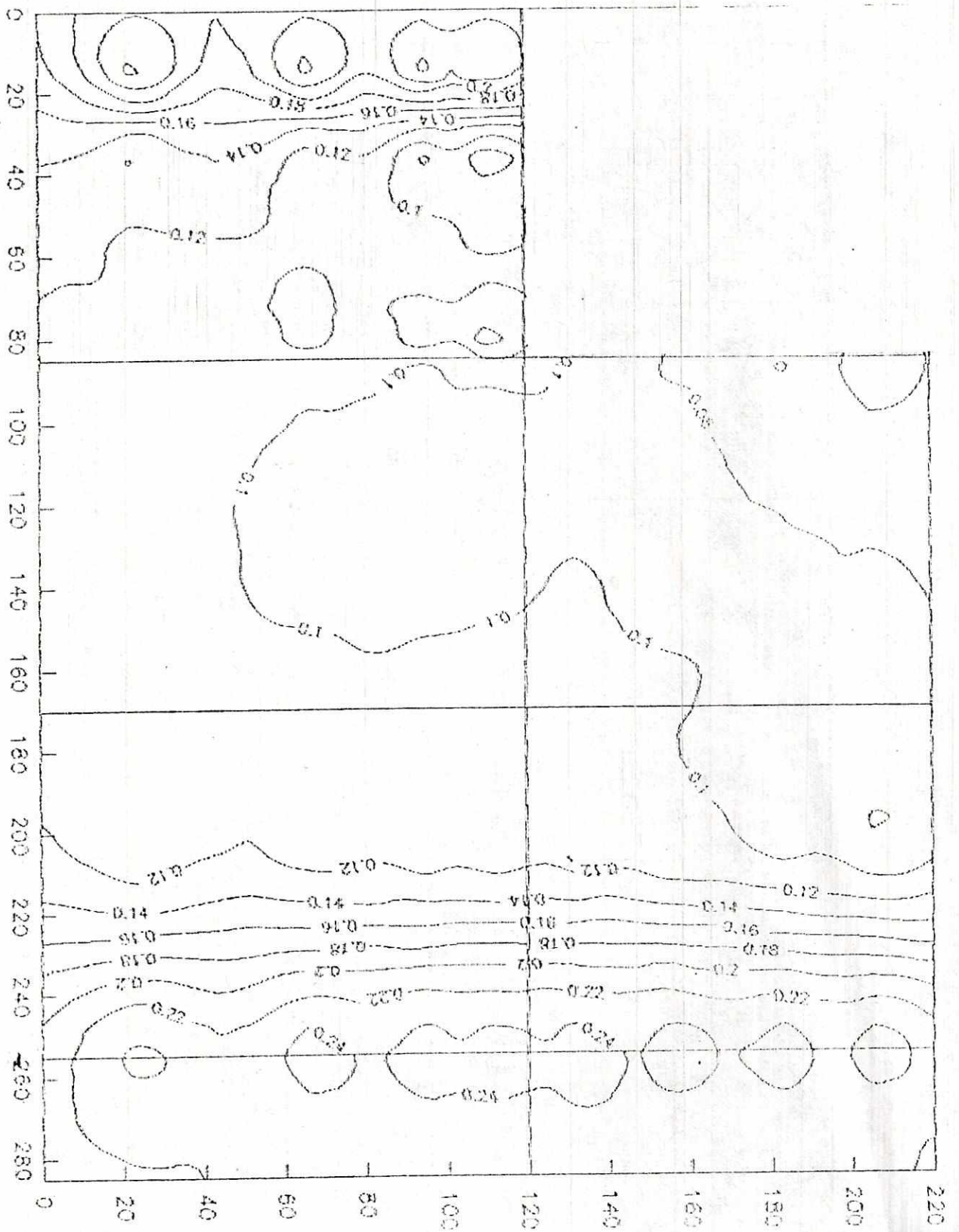
Amortiguamiento. Talud 1, Sismo 5



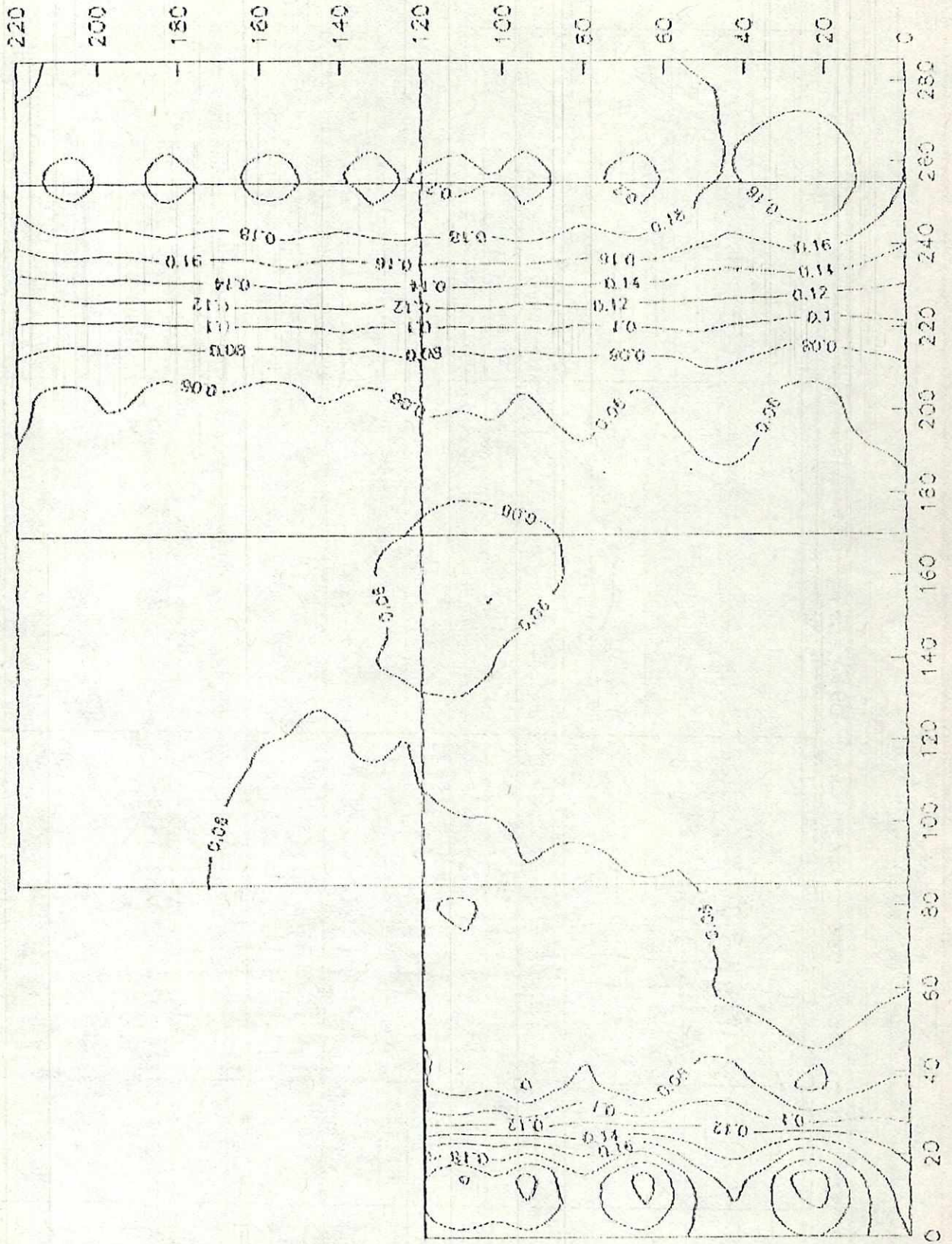


Amortiguamiento, Talud 1, Sismo 7





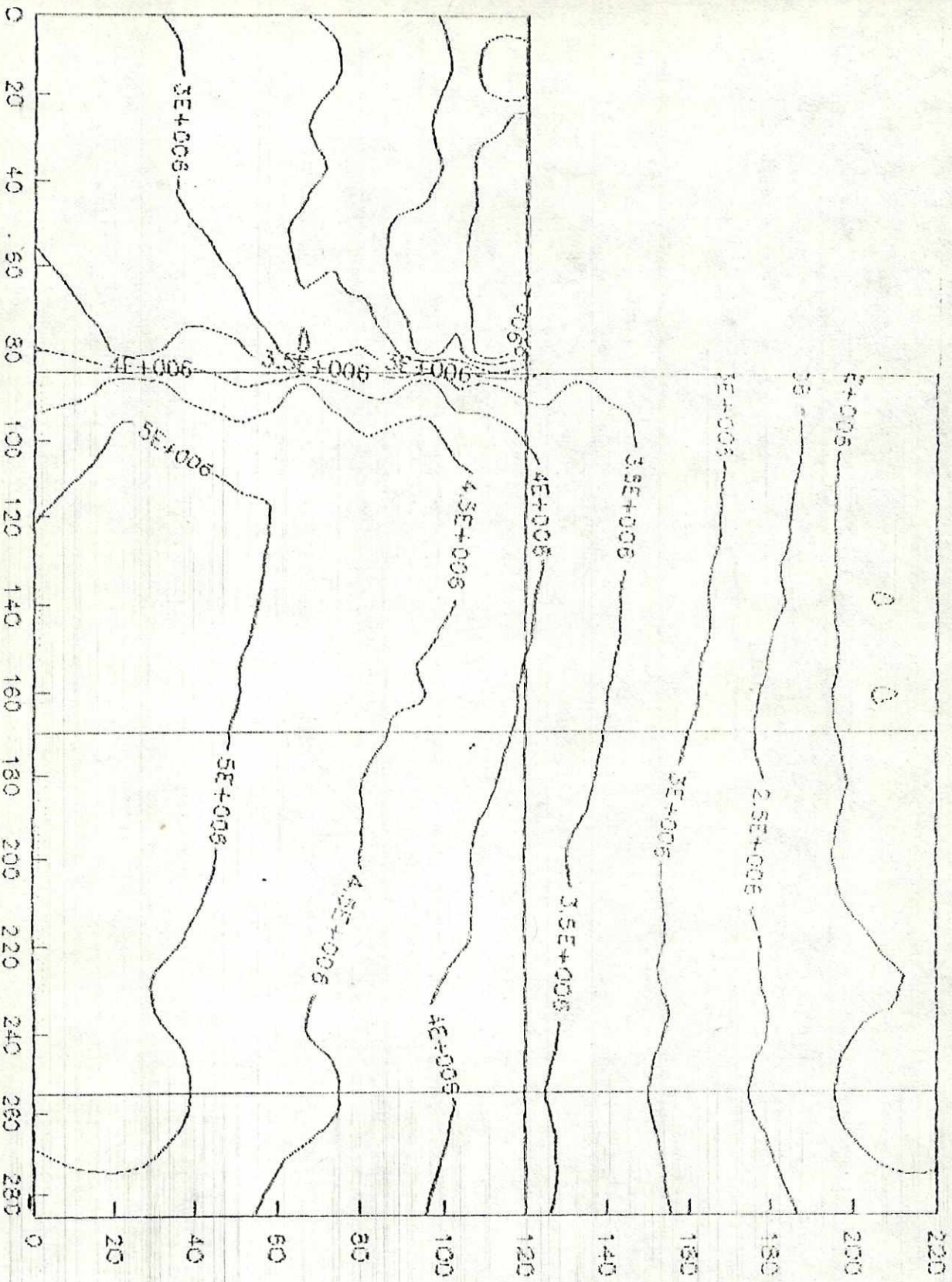
Amortiguamiento, Tolud 1, Siemo 9



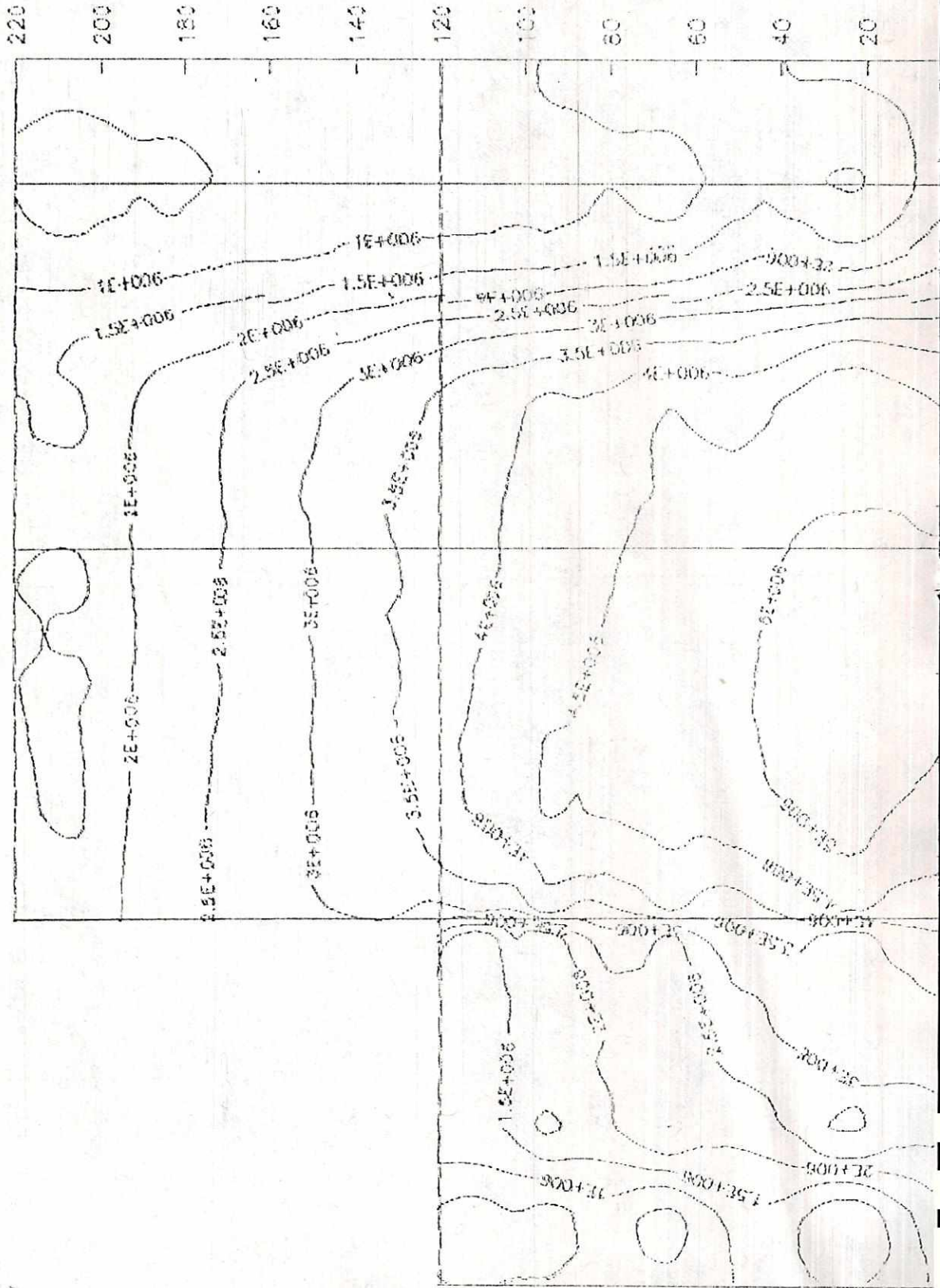
APENDICE L

Gráficas de la variación del módulo de corte.

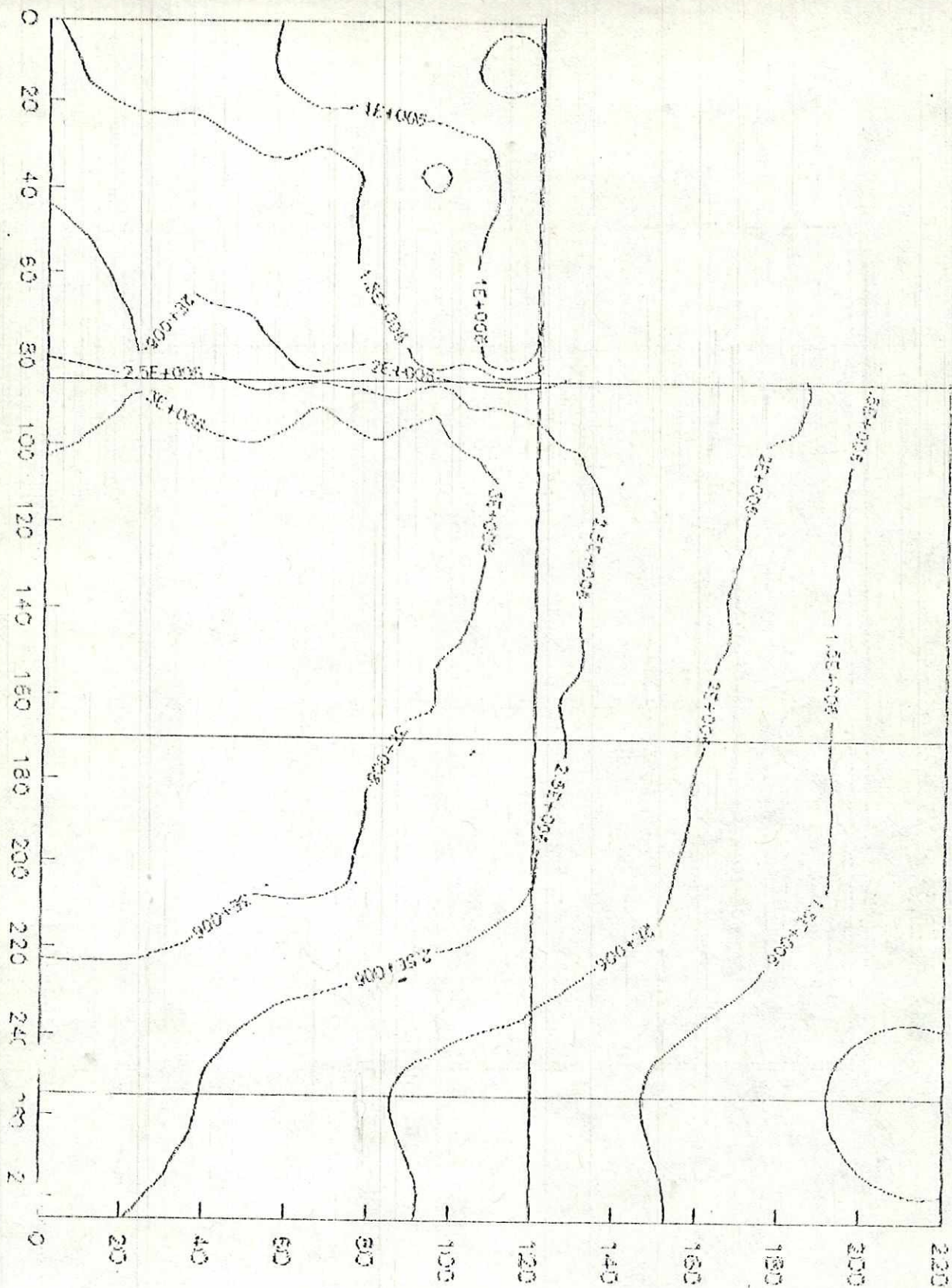
Residual contour map (b) (ft) Talud 11 Sierra



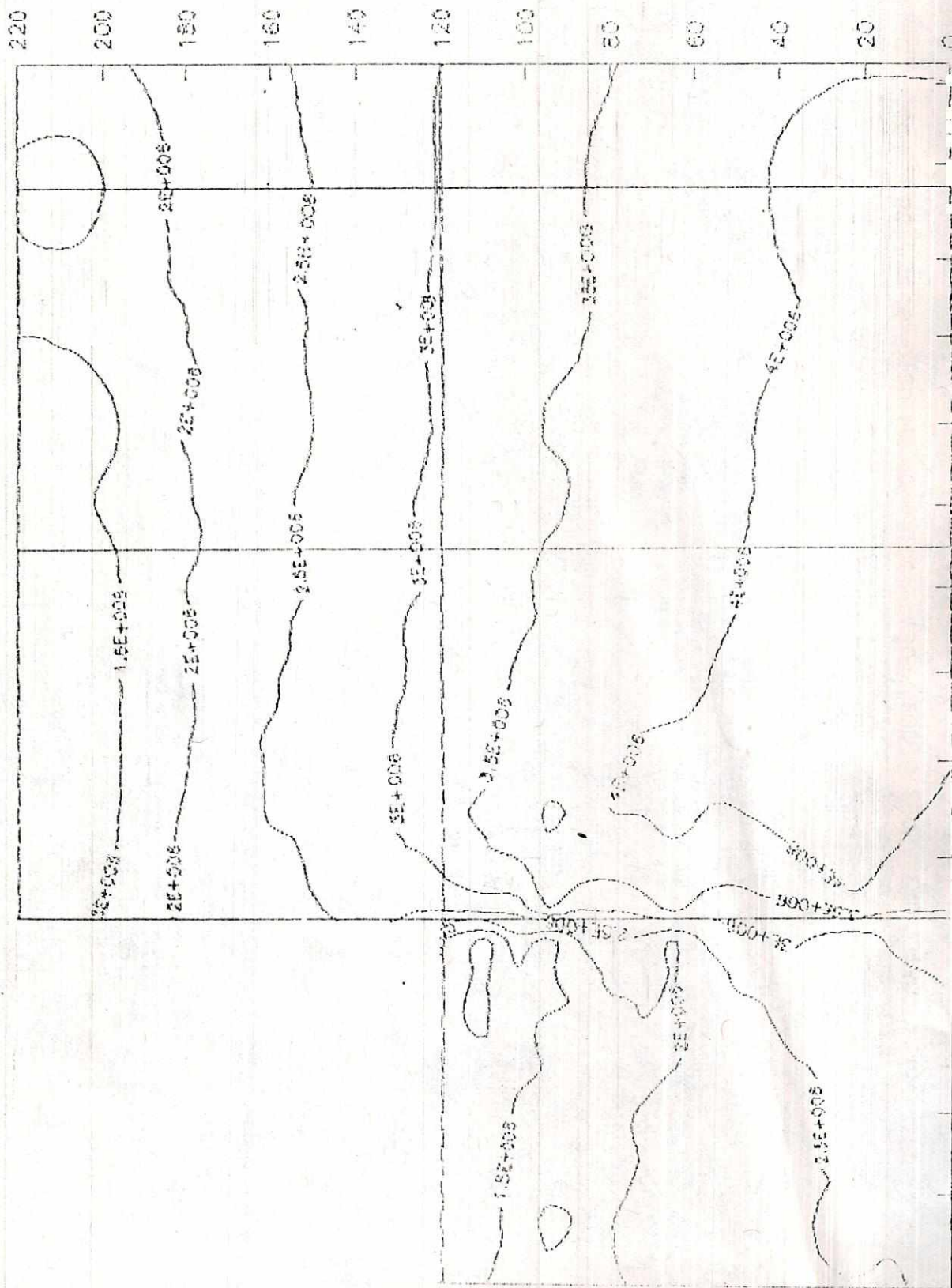
Modulo cortante G (lb/pie²) , Tabul 1, Sismo 2



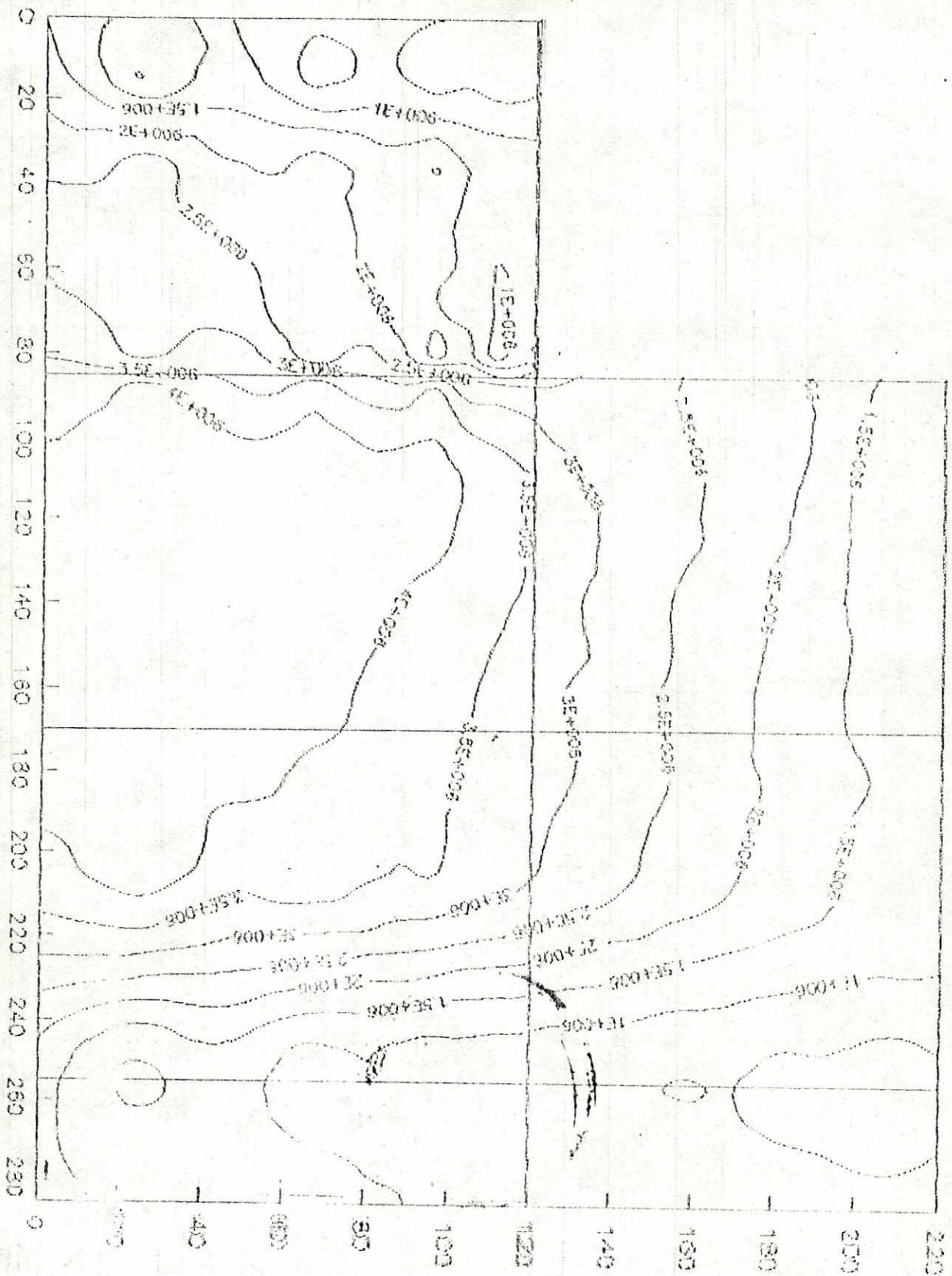
Modulo portante G (lb/ft²) . Talud 1. Sismo 3



Module cortante G (lb/pie2) , Tabul 1, Sismo 4



Mapa de contorno G (lb/pie²) , Talud 1, Sitio 5



Module de fonte G (lb/pie2) , Talud 1. Sismo 6

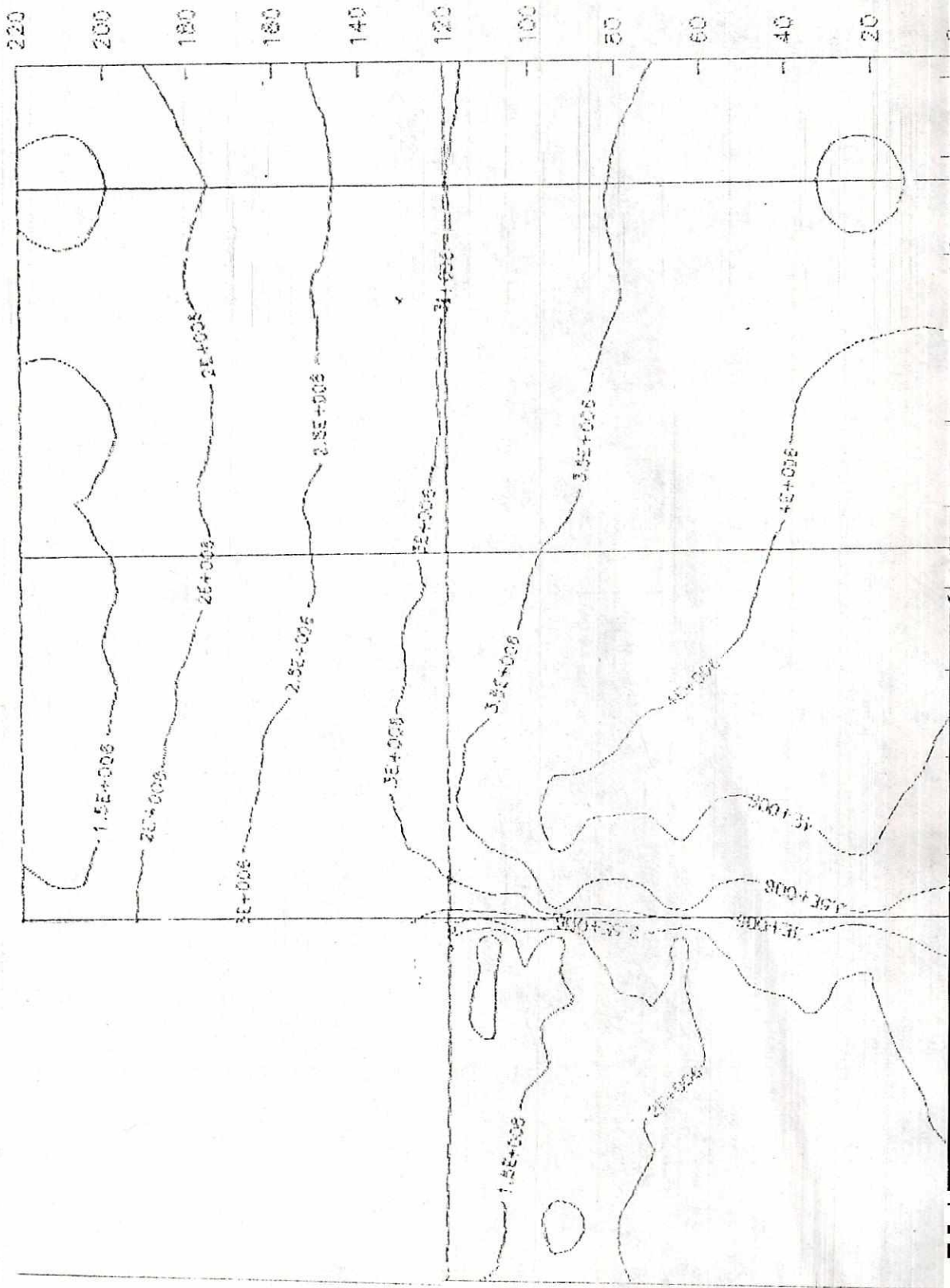
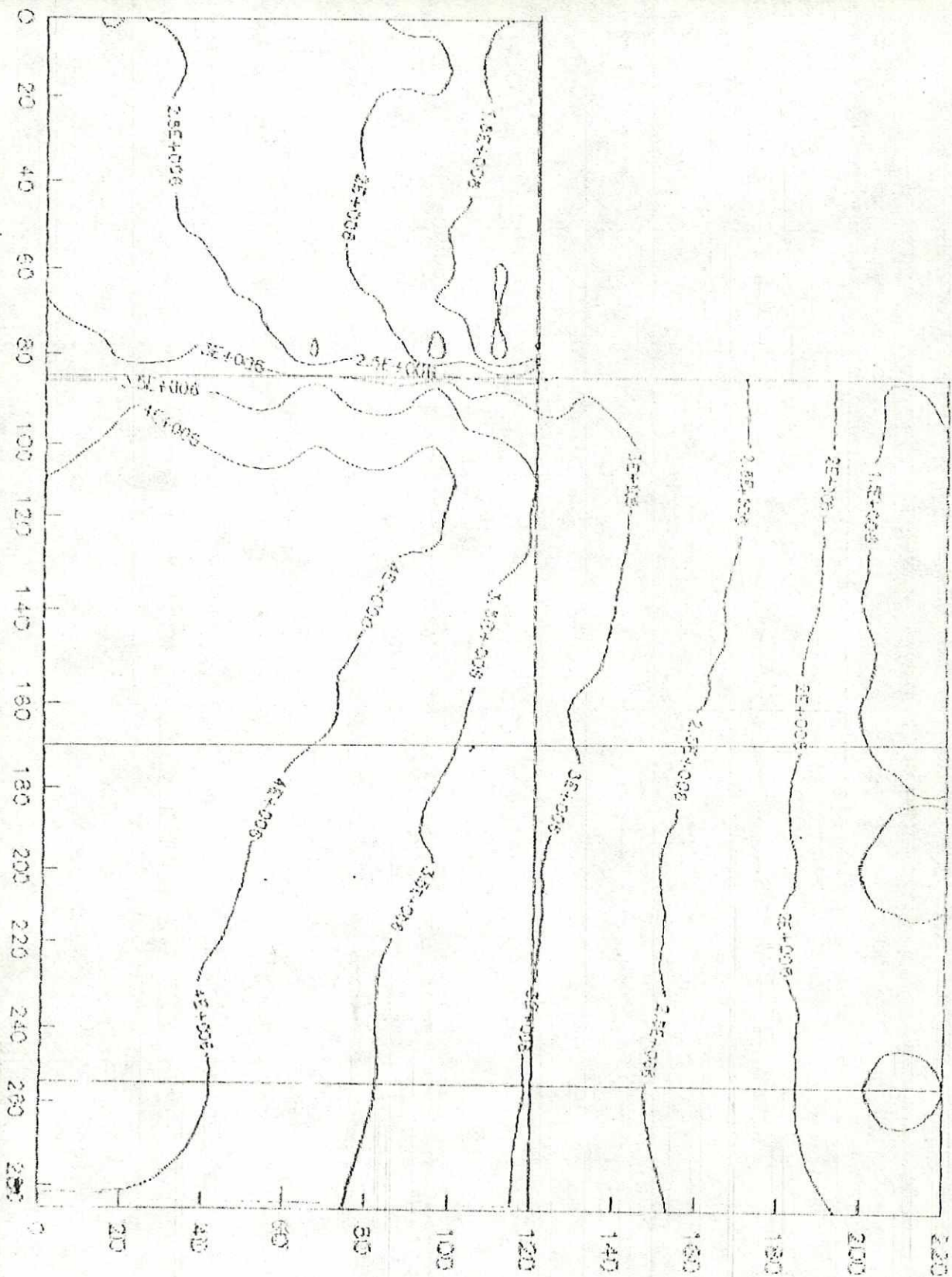
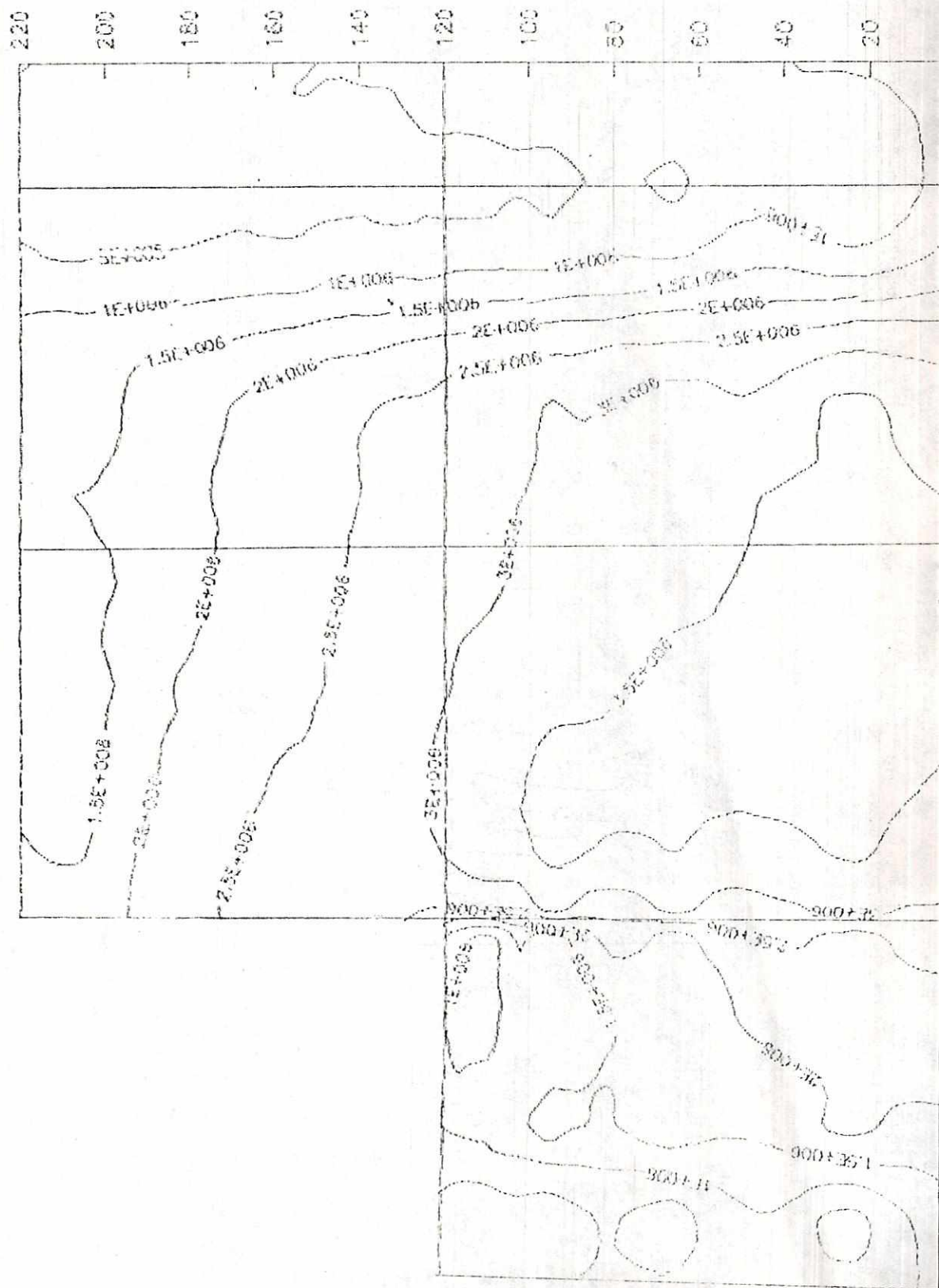


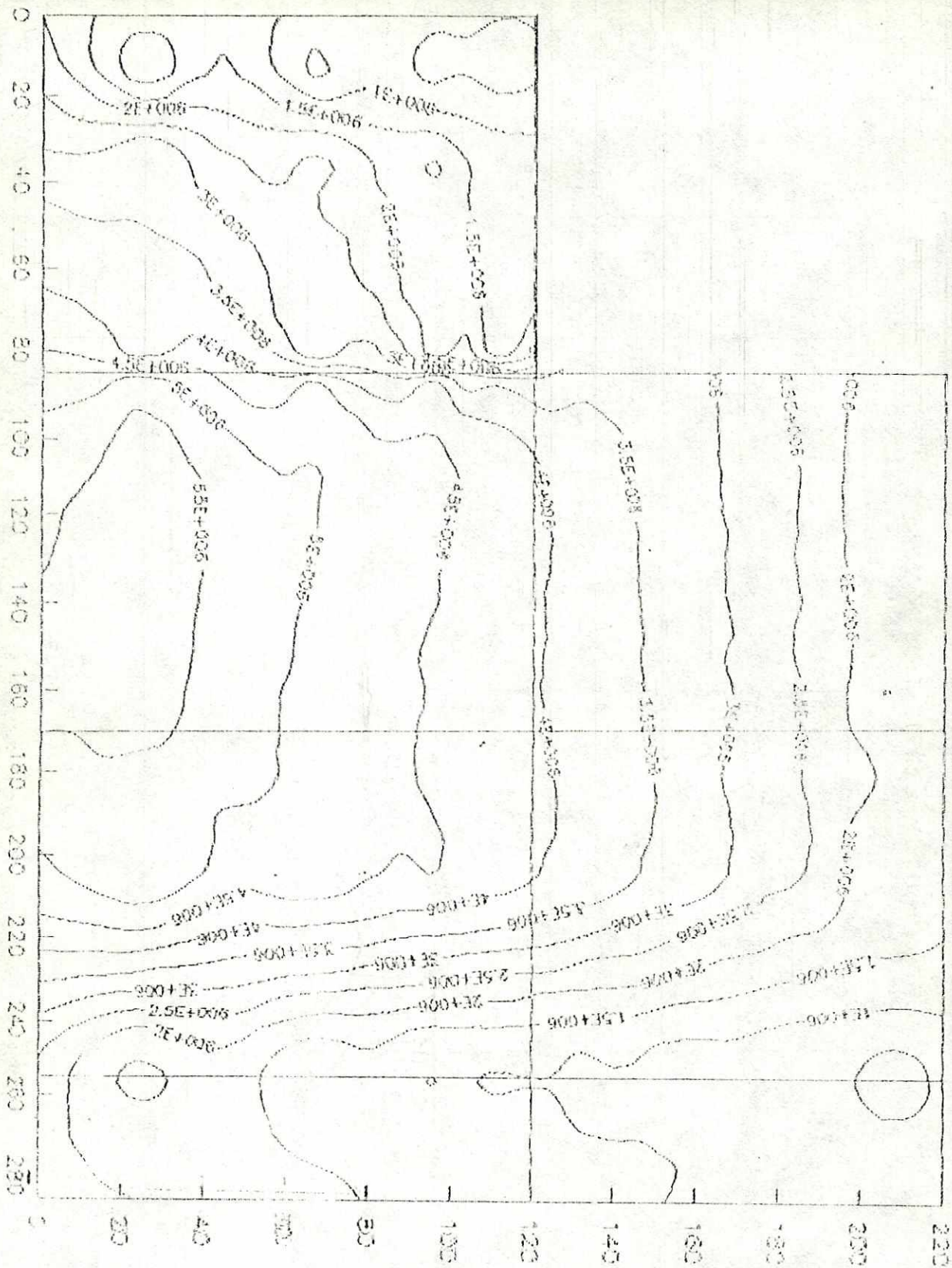
Figure 1. Stereo



Modulo cortante G (lb/pie²) , Tolud 1. Sismo B



Mapule contorne G (b) (a) (2) - Taula 1, Sistema 9



APENDICE M

Datos que sirvieron de base para la simulación de sismos.

NO	NOMBRE	MAG.	DUR. (seg)	TRISE (seg)	TLV. (seg)	LONG. km.	DIST. km	AGMX
1	MIXCO1	6	12.19	1.95	6.58	15	15	.25g
2	MIXCO2	5.5	12.00	2.00	4.00	8	5	.30g
3	MIXCO3	7	25.00	5.00	15.00	40	10	.28g
4	JALAP1	7	24.89	2.99	12.44	50	40	.10g
5	JALAP2	7.5	40.00	15.00	20.00	100	30	.27g
6	JOCOT1	7	10.00	2.99	12.44	200	80	.10g
7	JOCOT2	7.5	12.00	2.00	4.00	200	80	.12g
8	MDTA1	7	25.00	3.00	12.50	70	150	.30g
9	MDTA2	7.5	50.00	4.00	15.00	200	30	.28g
10	MDTA3	7.8	30.00	4.00	15.00	250	25	.32g
11	POLOCH1	7	24.89	2.97	12.44	250	70	.08g
12	POLOCH2	7.5	50.00	4.00	15.00	150	70	.13g
13	SUBDUC1	8	50.81	4.06	23.37	100	50	.40g
14	SUBDUC2	8	45.00	4.00	35.00	100	50	.40g
15	SUBDUC3	7.5	50.00	4.00	15.00	65	40	.27g

Espectros de velocidad utilizados en la simulación de 15 sismos

	TVS (seg)	SVD (cm/seg)	SVD (pulg/seg)
SISMO MIXCO1	0.02	0.6	0.2362
	0.05	2.9	1.1417
	0.10	9.5	3.74
	0.20	18.0	7.0866
	0.40	22.0	8.661
	1.0	17.0	6.6929
	2.0	10.0	3.937
SISMO MIXCO2	0.1	0.7	0.28
	0.2	16.0	6.30
	0.4	30.0	11.81
	1.0	30.0	11.81
	2.0	21.0	8.27
	4.0	13.0	5.12

	0.1	0.7	0.28
	0.2	16.0	6.30
SISMD	0.4	30.0	11.81
MIX003	1.0	30.0	11.81
	2.0	21.0	8.27
	4.0	13.0	5.12
	0.02	0.5	0.1968
	0.05	2.5	0.98
SISMD	0.10	7.0	2.755
JALAP1	0.20	18.0	7.09
	0.40	28.0	11.02
	1.00	26.0	10.24
	2.00	19.0	7.48
	0.10	20.0	7.87
	0.20	50.0	19.63
SISMD	0.50	190.0	74.90
JALAP2	1.0	300.0	118.11
	2.0	300.0	118.11
	4.0	250.0	98.43
	0.02	0.5	0.197
	0.04	15.0	5.90
SISMD	0.35	34.0	13.38
JOCOT1	0.90	34.0	13.38
	1.0	32.0	12.60
	2.0	26.0	10.24
	0.1	20.0	7.87
	0.2	52.0	20.47
SISMD	0.4	150.0	59.05
JOCOT2	1.0	300.0	118.11
	2.0	300.0	118.11
	4.0	250.0	98.42
	0.02	0.6	0.2362
	0.05	2.9	1.1417
SISMD	0.10	9.0	3.5433
MOTAL	0.20	18.0	7.0866
	0.40	33.0	12.9921
	1.00	34.0	13.3858
	2.00	26.0	10.2362

	0.10	20.0	7.87
	0.20	52.0	20.47
SISMO	0.40	150.0	59.05
MOTA2	1.00	300.0	118.11
	2.00	300.0	118.11
	4.00	250.0	98.42

	0.10	20.0	7.87
	0.20	51.0	20.08
SISMO	0.40	160.0	62.99
MOTA3	1.00	310.0	122.05
	2.00	310.0	122.05
	4.00	260.0	102.36

	0.02	0.6	0.196
	0.05	2.2	0.866
	0.10	7.0	2.75
SISMO	0.20	19.0	7.48
POLOCHI	0.40	37.0	14.57
	1.00	33.0	12.99
	2.00	28.0	11.02

	0.10	19.0	7.48
	0.20	50.0	19.70
SISMO	0.40	140.0	55.12
POLOCHI2	1.00	300.0	118.11
	2.00	300.0	118.11
	4.00	250.0	98.42

	0.02	0.5	0.2362
	0.05	2.0	1.1417
SISMO	0.10	6.5	3.74
SUBDUC1	0.20	18.0	7.0866
	0.40	32.0	8.661
	1.00	31.0	6.6929
	2.00	26.0	5.937

	0.01	7.5	2.95
SISMO	0.20	19.0	7.48
SUBDUC2	0.40	31.0	12.20
	1.00	23.0	9.05
	2.00	15.0	5.91

	0.10	20.0	7.87
	0.20	52.0	20.47
SISMD	0.40	150.0	59.05
SUBDUC3	1.00	300.0	118.11
	2.00	300.0	118.11
	4.00	250.0	98.42