

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTOMA DE
MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE REGISTROS
SÍSMICOS OBTENIDOS EN UN EDIFICIO ALTO**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
RAMÍREZ LEDEZMA, RAYMUNDO
ASESOR: MURIA VILA, DAVID**

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

127
ZED

FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-129/94

Señor
RAYMUNDO RAMIREZ LEDEZMA
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. DAVID MURIA VILA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

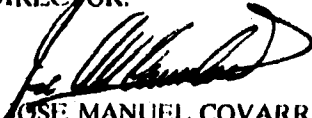
**"PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE REGISTROS SISMICOS OBTENIDOS EN
UN EDIFICIO ALTO"**

- INTRODUCCION
- I. DESCRIPCION DEL EDIFICIO
- II. PRUEBAS DE VIBRACION AMBIENTAL
- III. REGISTROS SISMICOS
- IV. PROCESAMIENTO DE DATOS
- V. ANALISIS DE DATOS
- VI. COMENTARIOS FINALES
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 9 de septiembre de 1994
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

pl. JMCS/RCR*nil

AGRADECIMIENTOS:

A Él.

*Porque solamente amándole,
siguiéndole y escuchando su palabra
haré prosperar mi camino.*

**A mis padres;
Graciela y Teodoro**

*Por el apoyo, que me brindaron durante todos estos años, que con su cariño, y
ejemplo me estimularon y ayudaron a ser lo que soy.*

**A mis Hermanos;
Octavio, Mario, Lourdes, Miguel, Gabriel, Juan, Chuy, Paco.**

*Por su compañía en los momentos gratos y difíciles, los cuales me ayudaron a ser
mejor.*

A Dr David Muria V.

*Por su apoyo y orientación en la elaboración de este trabajo, y las facilidades
prestadas, ya que sin su ayuda y colaboración no se hubiera llevado a cabo.*

A M. en I. Sergio M. Moreno Rubin de Celis y Ing. Jorge H. Pérez Roldán.

Quienes con paciencia me orientaron en la elaboración de este trabajo.

A Elvi.

*Que con su cariño, paciencia, apoyo, y alegría me ayudó a la conclusión de mis
estudios, y por darme la oportunidad de quererla y amarla.*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

II PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

II.1 Metodología experimental

II.2 Propiedades dinámicas

III REGISTROS SÍSMICOS

III.1 Instrumentación del edificio

III.2 Registros sísmicos obtenidos

IV PROCESAMIENTO DE DATOS

V ANÁLISIS DE DATOS

V.1 Historias de aceleración, velocidad y desplazamiento

V.2 Características de los movimientos sísmicos

V.2.1 Tipos de movimientos

V.2.2 Distorsiones y acortamientos de entrepiso

V.2.3 Aceleraciones, velocidades y desplazamientos angulares

V.3 Propiedades dinámicas

V.4 Efectos de torsión

V.5 Espectros de respuesta

V.6 Efectos de interacción suelo estructura (ISE)

VI COMENTARIOS FINALES

REFERENCIAS

TABLAS Y FIGURAS

ANEXO I

ANEXO II

INTRODUCCIÓN

La ciudad de México se localiza en una zona, que tiene una frecuente ocurrencia de movimientos sísmicos, haciendo que nos veamos en la necesidad de conocer más de sus efectos. Aunque se han dado pasos importantes en el conocimiento del comportamiento estructural de edificios. Los sismos del 19 de septiembre pusieron en evidencia problemas con relación a dicho comportamiento. Una forma que se ha adoptado para conocer más sobre esto, es el estudio de registros sísmicos obtenidos de edificios instrumentados.

Por su parte, el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M tiene a su cargo un proyecto sobre el estudio de la respuesta sísmica de edificios. Este proyecto se basa en instrumentar un edificio, que cumpliera con los siguientes criterios (ref 1):

- Que estuviera localizado en la zona de máxima amplificación de las ondas sísmicas.
- Que tuviera características dinámicas que condujeran a una respuesta muy elevada al movimiento del terreno, o sea, que el edificio tuviera un periodo fundamental de vibración semejante al periodo predominante del terreno.
- Que fuera de un tipo de construcción muy común en la ciudad de

México, preferiblemente con estructura de concreto, con losa reticular y con cimentación de pilotes de fricción.

- Que tuviera una estructura sencilla, regular y simétrica para poder entender su respuesta estructural con el mínimo número de instrumentos.
- Que existiera una documentación completa del proyecto estructural y que hubiera facilidad de acceso y permiso para colocar y operar los instrumentos.

Para la selección se consideraron inicialmente cerca de 50 edificios, de los cuales se eligieron 11, sobre los cuales se hizo una búsqueda intensiva de datos del proyecto estructural. Basado en los puntos antes mencionados, se redujeron los candidatos a tres, para los cuales se hicieron análisis preliminares de la respuesta y determinaciones de propiedades, incluyendo pruebas de vibración ambiental. Con base en los resultados de estos estudios se eligió el edificio que se ha denominado JAL. Para el año 1992 se instalaron 14 aparatos en el edificio y entrando en operación en noviembre del mismo año.

El propósito del este trabajo es procesar y analizar los registros obtenidos de los sismos de 1993, fijando los alcances siguientes:

- Determinación de las propiedades dinámicas del edificio.

Describir el comportamiento del edificio.

Estimar los efectos de interacción suelo estructura.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio está compuesto de una estructura principal de 14 niveles con un apéndice y otra anexa de tres niveles, las cuales están unidas en la planta de sótano y separadas, en los restantes niveles, por una junta constructiva de 15 cm de espesor.

Los tres primeros niveles están destinados a estacionamiento y los demás a oficinas.

El edificio se localiza en la zona de suelo blando de la ciudad de México, (fig 1-1), el espesor del suelo arcilloso es de 30 m de profundidad (fig 1-2, ref 2).

Las elevaciones y planta tipo del edificio se muestra en las figs 1-3 a 1-9. Su estructura es de concreto reforzado a base de columnas y losa reticular como sistema de piso, además cuenta con muros de concreto y mampostería. El peralte de la losa reticular es de 45 cm, de los cuales 5 cm corresponden a la capa de compresión.

La planta tipo del cuarto al décimo cuarto nivel, tiene forma rectangular de 20 m de ancho (dirección T) por 32.45 m (dirección L) de largo y las alturas de entrepiso son constantes de 3.15 m. Las plantas del estacionamiento abarcan el cuerpo anexo y sus dimensiones son 20 por 40 m. Los estacionamiento están escalonados y comunicados entre sí con rampas y las alturas de entrepiso son variables entre 2.5 a 4.45 m.

Las resistencia nominales de concreto de las columnas y muros, según los planos,

son: de 200 kg/cm² para los últimos tres niveles, 250 kg/cm² para los cuatro siguientes y 300 kg/cm² para los primeros, y el de losa es de 200 kg/cm² para todos los niveles excepto la losa de cimentación que es de 250 kg/cm². El acero de refuerzo son varillas AE-TOR-60 de 6000 kg/cm² como límite de fluencia.

Estudios recientes realizados en la estructura (ref 3) tuvieron como objetivo determinar las propiedades mecánicas de los concretos con métodos no destructivos y con extracción de núcleos.

De los resultados de ensayos a compresión de los núcleos de concreto, se identificaron dos tipos: uno con resistencia a compresión de 285 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 143,000 kg/cm², para los niveles del sótano al séptimo y el otro con una resistencia de compresión de 236 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 134,000 kg/cm², para los niveles superiores. Los correspondientes valores de resistencia nominal f'_c son de 314 y 274 kg/cm², respectivamente.

La cimentación está compuesta por un cajón de concreto reforzado constituido de una losa reticular de 80 cm de peralte y desplantado a una profundidad de 3.30 m, la cual se apoya sobre 54 pilotes de fricción de sección triangular de 60 cm de lado y 28 m de longitud, distribuidos como se muestran en las figs 8 y 9. Además hay diez pilotes, de forma cuadrada de 40 cm de lado y 26 m de longitud, intercalados con los anteriores, de tal manera que no están en contacto con el cajón de cimentación; el extremo superior se encuentra a una profundidad de 9 m.

Durante los sismo de septiembre de 1985 el edificio sufrió algunos daños en sus elementos estructurales y no estructurales. La mayor parte de los muros de mampostería se agrietaron, hubo fisuras menores de 1 mm en prácticamente todas las columnas B2, B3, B4, C2, D4 y F3, y en varias columnas A4, E3, B1 y B3 del séptimo nivel hacia arriba se presentaron desprendimientos de materiales. La restructuración consistió en reforzar las columnas interiores con un encamisado de concreto reforzado de 10 cm de espesor (figs 1-10 y 1-11) y la construcción de muros de concreto reforzado en las crujeas extremas de la dirección longitudinal de las fachadas laterales (fig 1-12).

CAPÍTULO II

PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

Un método para evaluar las propiedades dinámicas de una estructura, es la vibración ambiental. Consiste en utilizar acelerómetros de alta resolución, capaces de captar los movimientos vibratorios de muy pequeña amplitud producidos por el tránsito de vehículos, el viento y por el uso normal del edificio, entre otras fuentes de excitación ambiental.

En el edificio en estudio se tiene establecido un programa de pruebas de vibración ambiental periódico para monitorear las propiedades dinámicas del sistema estructura-suelo.

Hasta la fecha se han realizado cuatro campañas de medición (ref 4): la primera fue en junio de 1990 durante el proceso de selección del edificio a instrumentar, la segunda en octubre de 1991, la tercera en septiembre de 1992 dos meses antes de entrar en operación la red de acelerógrafos para medición de temblores, y la última en noviembre de 1993, después de ocurrir los dos sismos del 15 de mayo y el del 24 de octubre.

II.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El método consiste en la aplicación de un análisis convencional de señales aleatorias

a partir de registros, obtenidos de mediciones.

Se utilizó un dispositivo experimental, el cual permitió capturar simultáneamente las señales de ocho sensores. Las señales se transmiten a través de cables blindados, a unos acondicionadores donde se amplifican. Posteriormente se filtran las frecuencias mayores a 30 Hz porque en estructuras las frecuencias de interés son generalmente menores a ésta. Las señales acondicionadas se envían a una micro-computadora PC-486 de 4 Mb de memoria RAM, provista con un convertidor analógico digital de 16 canales, para capturar la información. El dispositivo cuenta con un analizador de espectros de dos canales, para monitorear la evolución de los espectros durante la prueba. En la fig 2-1 se muestra un esquema del dispositivo experimental.

Para realizar la prueba se eligieron 29 puntos en la estructura y uno en el terreno a 10 m de la entrada (fig 2-2). Las frecuencias de los modos de traslación se detectan colocando los sensores cerca de centro geométrico de la planta en dos direcciones ortogonales. Las frecuencias de torsión se detectan colocando sensores en los dos extremos del eje longitudinal de la planta de la azotea.

En otras pruebas se colocaron los sensores a lo largo del cajón de cimentación para evaluar su flexibilidad y los efectos de interacción suelo-estructura (ISE) (ref 5).

Para determinar las frecuencias modales y modos de vibrar de una estructura, se aplican un análisis de señales aleatorias, obteniendo los espectros de potencia promedio (por medio de la transformada de Fourier) y las funciones de transferencia (en

fase y amplitud) y de coherencia.

Se lograron obtener espectros estables de las mediciones de vibración ambiental, es decir, que las configuraciones espectrales no cambian después de un cierto número de eventos promediados.

II.2 PROPIEDADES DINÁMICAS

En la fig 2-3 se presentan las funciones de transferencia entre azotea centro (punto 1) y sótano (punto 11) para las direcciones T y L, respectivamente, junto con la función de transferencia entre azotea centro (punto 1) y azotea Este (punto 2), obtenidas a partir de las mediciones realizadas en las etapas 2, 3, y 4 donde se detecta las frecuencias naturales de vibración correspondientes a los modos de traslación y de torsión. En ellas se advierte que las frecuencias de vibración y los factores de amplificación dinámico han cambiando después de los sismos de 1993.

Las frecuencias naturales de vibrar de las cuatro etapas se comparan en la tabla 1. En la última etapa la frecuencia fundamental del componente transversal se mantuvo prácticamente sin cambio, mientras que las frecuencias de los componentes longitudinal y rotacional disminuyeron 4 y 22 por ciento, respectivamente. Para los modos superiores la reducción promedio de las frecuencias fue de 20, 11 y 10 por ciento para los componentes longitudinal, transversal y rotacional, respectivamente.

El cociente de las segunda, tercera y cuarta frecuencias de vibrar entre la frecuencia

fundamental del edificio son: 3.3, 5.8 y 9.1, para la dirección T, y 3.8, 7.0 y 10.4, para la dirección L, respectivamente. En la tabla 2 se muestran las relaciones entre las frecuencias naturales de los modos superiores con la fundamental para las etapas 3 y 4.

La relación de una estructura de cortante del primer modo entre las segunda, tercera y cuarta frecuencias es 3, 5 y 7, respectivamente. Para un estructura de flexión esta relación de las frecuencias de segundo, tercero, y cuarto modo entre la frecuencia del primer modo son aproximadamente de 3^2 , 5^2 y 7^2 , respectivamente. Al comparar estas frecuencias se advierte que las relaciones experimentales están próximas a una estructura de cortante.

A pesar de la variación de las frecuencias, las formas modales asociadas a los primeros cuatro modos de vibrar son consistentes durante las dos últimas etapas de mediciones (fig 2-4).

En pruebas realizadas en la losa de cimentación se determinó las elástica en los modos de traslación y torsión, se comprobó que la losa no se comporta como un cuerpo rígido sino que tiende a deformarse, como se muestra en las figs 2-5 y 2-6.

El método utilizado para calcular el amortiguamiento, es por medio del factor de amplificación dinámico. El amortiguamiento crítico calculado, de esta forma, fue de 2 y 3 por ciento para la dirección T y L, respectivamente.

CAPÍTULO III

REGISTROS SÍSMICOS

III.1 INSTRUMENTACIÓN DEL EDIFICIO

La instrumentación se diseñó para proporcionar (ref 6):

- Un registro detallado de la vibración del edificio, incluyendo los efectos de torsión, de los modos superiores de vibrar y el comportamiento no lineal en su caso.
- Obtener una visión completa de la interacción suelo-estructura incluyendo efectos de traslación y cabeceo de la base, para este fin se colocaron cuatro acelerógrafos en el sótano, y uno en la superficie del terreno.
- Conocer la amplificación de las ondas sísmicas desde los depósitos firmes profundos hacia la superficie.

Para los propósitos mencionados se instrumentó el edificio en 14 puntos de observación (fig 3-1), distribuidos de la siguiente forma:

- Un acelerógrafo subterráneo a 45 m debajo de la superficie, penetrando

5 m en la segunda capa dura.

- Un acelerógrafo a 20 m de profundidad, aproximadamente al centro del primer estrato de arcilla.
- Un acelerógrafo en el terreno, en frente de edificio para medir el movimiento de la superficie.
- Cuatro acelerógrafos en el sótano del edificio para medir los movimientos impuestos al edificio, incluyendo el cabeceo y la rotación en planta.
- Siete acelerógrafos distribuidos en la azotea y en pisos intermedios para detectar la vibración del edificio, incluyendo los efectos de torsión y de modos superiores.

Los instrumentos seleccionados son acelerógrafos autónomos digitales marca Terra-Technology, con sensores triaxiales, dos horizontales y uno vertical, interconectados todos en una configuración maestro-esclavo. Esta instrumentación, con equipos autónomos, se prefiere sobre un sistema con registros centralizados básicamente por razones de costo y para mayor confiabilidad en su funcionamiento.

Todos los instrumentos exceptuando los de pozos, son acelerógrafos modelo DCA-33R con sensores internos. Los instrumentos de las estaciones de pozo también son modelo DCA-33R pero con sensores externos DSA-302.

En la tabla 3 se presenta un resumen de la instrumentación y la localización de los aparatos. En la primera columna aparecen las claves de cada una de las estaciones, en la segunda columna se indica la ubicación de cada una de ellas, la tercera y cuarta columna se refieren al tipo y número de serie de cada aparato respectivamente, la quinta columna contiene los intervalos de la escala de aceleración para los sensores horizontales y verticales, expresados en fracciones de aceleración de la gravedad, y la última columna corresponde a la posición del montaje de los equipos (H-horizontal y V-vertical).

Aunque todos los instrumentos operan de una manera autónoma, con su propio sistema, se procedió a interconectarlos en una red, que permite poner en operación todos los equipos en un mismo instante y sincronizar todos los aparatos mediante una señal común de tiempo.

La interconexión es una configuración maestro-esclavo, donde la estación azotea Oeste (AO) se seleccionó como maestra, y las demás estaciones como esclavas.

III.2 REGISTROS SÍSMICOS OBTENIDOS

La operación de la red de acelerógrafos del edificio JAL se inició en noviembre de 1992 y durante 1993 se han registrado doce eventos, de los cuales nueve corresponden a eventos sísmicos y tres a movimientos excepcionales de vibraciones ambientales. La mayoría de los sismos ocurrieron en las costas de los estados de Oaxaca y Guerrero, y los otros fueron en la región fronteriza entre México y

Guatemala. En las tabla 4a y 4b aparecen las características de los sismos registrados.

Entre los registro sísmicos obtenidos destacan los dos sismos ocurridos el 15 de mayo de 1993 (eventos 93-3 y 93-4) y slsmo del 24 de octubre del mismo año (evento 93-11), por ser estos los de mayor intensidad. El procesamiento y análisis se concentró en estos tres eventos, ya que los otros son de muy pequeña intensidad y su calidad no es satisfactoria, debido a las limitaciones de los equipos para registrar movimientos pequeños.

La duración máxima de los acelerógrafos fueron de 88, 116 y 188 s para los eventos 93-3, 93-4 y 93-11, respectivamente y las distancias epicentrales fueron de aproximadamente 310 km.

Para los tres eventos de mayor intensidad se lograron registros de todos los aparatos. En las figs 3-2 a 3-4 se trazaron las historias de aceleración corregidas de los componentes horizontales de once estaciones. La descripción detallada de las instrumentación y la colección completa de los registros se encuentra en la ref 7.

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO DE DATOS

Los acelerogramas originales son procesados en dos etapas. La primera se lleva a cabo por el grupo encargado de la operación y mantenimiento; ellos han establecido una rutina que permite recuperar el registro grabado en la memoria de cada aparato para editarlo y así asignar las características de cada estación (clave, nombre y lugar) y de cada instrumento (tipo de equipo, sensor, orientación y sensibilidad) (ref 8).

La segunda etapa del procesamiento de los datos digitales de cada acelograma se realizó estableciendo un procedimiento tipo que consiste en los pasos siguientes:

- Examinar los acelerogramas de un mismo evento para determinar la calidad de los registros y para sincronizarlos con base en la señal común del tiempo.
- Efectuar la corrección de línea base para determinar el eje de aceleración cero, para lo cual se obtienen promedios de las amplitudes de todos los puntos del registro y ese valor se le resta a cada punto, y después se aplica un filtrado pasa banda de 0.10 a 30 Hz con un filtro Butterworth de dos polos.

- Integrar los acelerogramas corregidos para obtener las historias de velocidades y desplazamientos. En el cálculo se supone que las amplitudes varían linealmente entre dos puntos consecutivos.
- Calcular los espectros de respuesta de aceleración absoluta.
- Calcular los espectros de amplitud de Fourier para conocer el contenido de frecuencias de los acelerogramas y con ellos obtener las funciones de transferencia en amplitud y ángulo de fase entre pares de estaciones acelerográficas, a fin de determinar las frecuencias naturales de vibración y las fracciones de amortiguamiento crítico equivalente de los modos fundamentales. Las ordenadas de los espectros de Fourier se suavizarán para atenuar los efectos causados por el ruido instrumental y el cálculo numérico. La técnica de suavizado consiste en aplicar un promedio cuadrático con ventana móvil de un veinteaño de octava a los valores de la curva (fig 4-1)
- Identificar los efectos de interacción suelo-estructura (ISE).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE DATOS

En este capítulo se analiza la información en los dominios del tiempo y la frecuencia generada de los acelerogramas registrados, para determinar las características estructurales: frecuencias y modos naturales de vibración, amortiguamientos modales, acortamiento de columnas, y distorsiones de entrepiso, así como los efectos de torsión y de interacción suelo-estructura (ISE).

V.1 HISTORIAS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO

En el anexo I se muestran las historias de aceleración corregidas y sincronizadas, así como las correspondientes historias de velocidad y desplazamiento de las estaciones de terreno y de todas las estaciones localizadas en las esquinas del edificio de los sismos 93-3, 93-4 y 93-11. Los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento de cada acelerograma aparecen en las tablas 5 a 7.

Las mayores aceleraciones y desplazamientos corresponden al evento 93-11 fueron 56 cm/s^2 y 5.5 cm , respectivamente, en la estación de azotea Oeste (AO) para la dirección L. Estos datos indican que las intensidades de los movimientos son pequeñas.

Al observar las historias se aprecia la modificación que sufre el movimiento del subsuelo al transmitirse a través de los estratos del suelo y de la estructura del edificio, la cual varía de un sismo a otro. Para visualizar este hecho se trazaron en las figs 5-1

a 5-6 las animaciones del movimiento en desplazamiento y aceleración de la estructura del edificio para diferentes intervalos de tiempo, y las trayectorias de desplazamiento en los planos horizontal (componentes T y L) y verticales (componentes V y T, V y L) de las estaciones de sótano centro (SC) y superficie del suelo (S), así como en el plano horizontal (componentes T y L) de las estaciones de esquina del edificio también para diferentes intervalos de tiempo.

Las formas de las animaciones del movimiento de los tres sismos muestran que la respuesta rige prácticamente los modos fundamentales; sin embargo, en las animaciones de aceleración se distingue en el tramo inicial de movimiento la presencia de modos superiores, en particular de los segundos y terceros modos de vibración, pero su contribución en desplazamiento es poco significativo en proporción con la de los modos fundamentales.

En las figs 5-7 a 5-9 se presentan las animaciones de desplazamiento vertical del sótano y azotea, trazadas a partir de los registros de las estaciones de las esquinas y del centro, se aprecian movimientos relativos entre las estaciones que revelan una flexibilidad de la losa en el plano normal a ella. Esto complementa la observación señalada en el análisis de los registros de vibración ambiental (figs 2-5 y 2-6), en cuanto que la losa de cimentación no es infinitamente rígida como normalmente se asume en las consideraciones de análisis estructural.

Las trayectorias de desplazamiento horizontales durante los eventos 93-3 y 93-4 del terreno y el sótano (figs 5-10 y 5-11) son similares y en la fase intensa del movimiento éste incide en el edificio con una orientación de 45° aproximadamente, en el resto del movimiento no hay una dirección predominante. En el evento 93-11

(figs 5-12 y 5-13) no hay dirección predominante.

Los desplazamiento en azotea para los eventos 93-3 y 93-4 en la fase intensa predomina el movimiento del componente transversal, lo cual se explica por la mayor flexibilidad de la estructura en ese componente; en cambio, para el evento 93-11 predomina el movimiento del componente longitudinal y esto se atribuye al fenómeno de batimiento entre las frecuencias fundamentales de vibración de los componentes longitudinal y rotacional, el cual se explica más adelante.

De las trayectorias de desplazamiento de los planos verticales (figs 5-14 a 5-16) se evidencia, en los tres sismos estudiados, que el componente vertical es poco significativo. Este hecho contrasta con el observado en las pruebas de vibración ambiental en edificios desplantados en suelos blandos donde predomina en general el comportamiento vertical (refs 9 y 10).

V.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOVIMIENTO SÍSMICOS

V.2.1 Tipos de movimientos

Los acelerogramas registrados en el edificio están compuestos de diferentes tipos de movimientos; así pues, las historias de aceleración de traslación absoluta en cualquier nivel del edificio están dadas por la expresión:

$$\ddot{x}_a^i = \ddot{x}_g + \ddot{x}_o + \ddot{x}_c^i + \ddot{x}_{ot}^i + \ddot{x}_{et}^i$$

donde

$\ddot{x}_a^i$ aceleración absoluta de traslación en el i-ésimo nivel

- $\ddot{x}_s$ aceleración del suelo de traslación
- $\ddot{x}_o$ aceleración de traslación de la base
- $\ddot{x}_c^i$ aceleración de traslación en el i-ésimo nivel debido al cabeceo de la base
- $\ddot{x}_{of}^i$ aceleración de la estructura por flexión en el i-ésimo nivel
- $\ddot{x}_{ot}^i$ aceleración de la estructura por torsión en el i-ésimo nivel.

En la fig 5-17 se ilustra esquemáticamente los movimiento relativos al sistema suelo-estructura.

Dado que el edificio cuenta con estaciones acelerográficas de campo y en la base de su estructura, es posible estimar la contribución de los movimientos de cabeceo, torsión y traslación de la base, así como los de flexión y torsión de la estructura en la respuesta estructural. Se asume que los diafragmas de piso son muy rígidos en su plano y la base de la estructura es infinitamente rígida.

Las historias de velocidades y desplazamientos pueden representarse de igual forma que las historias de aceleración. Por tanto, en las expresiones de los movimientos que a continuación aparecerán, estarán dados en desplazamiento pero en el entendido que serán iguales para aceleraciones y velocidades.

Movimiento de la base

Los movimiento angulares de la base alrededor de un eje horizontal se calculan restando los movimiento verticales de las estaciones ubicadas en los extremos de la base y dividiendo entre la distancia que las separa.

$$\phi_L = \frac{x_a^{BN} - x_a^{ER}}{D_L}; \quad \phi_T = \frac{x_a^{BN} - x_a^{BO}}{D_T}$$

donde

ϕ_L desplazamiento angular de cabeceo en la dirección L

ϕ_T desplazamiento angular de cabeceo en la dirección T

x_a^{BN} desplazamiento de la estación BN en la dirección V

x_a^{ER} desplazamiento de la estación BE en la dirección V

x_a^{BO} desplazamiento de la estación BO en la dirección V

D_L distancia entre las estaciones BN y BE

D_T distancia entre las estaciones BN y BO.

De manera que el desplazamiento de cabeceo

$$x_c = \phi h_i$$

donde h_i es la altura del i-ésimo nivel sobre la base (fig 5-17).

En la tabla 8 se comparan las aceleraciones, velocidades y desplazamiento angulares máximos de la base con las determinadas para los niveles 5, 10 y azotea.

Los movimiento de torsión alrededor de un eje vertical (x_{ot}) se calculan con la resta de las componentes T de los registro de esquina de la base

$$x_{ot} = x_a^{BE} - x_a^{BO}$$

Los desplazamientos absolutos al centro de la base (x_a^{BC}) están dados por

$$X_d^{BC} = X_c + X_o$$

los demás términos son nulos.

Así pues, el movimiento de traslación de la base

$$X_o = X_d^{HC} - X_c$$

Movimiento de la estructura

Los movimientos relativos de la estructura se determinaron ejecutando los pasos siguientes:

- Se restan a los acelerogramas de los componentes horizontales registrados en el edificio, los correspondientes de la estación de campo (S)

$$X_{do}^i = X_d^i - X_c$$

- Se promedian las historias X_{do}^i de las esquinas de cada nivel y así se eliminan los movimientos de torsión y aparecen los de traslación (X_{dt}^i). Después se restan los movimientos de cabeceo y de traslación de la base, para obtener los movimientos de la estructura por flexión (X_{df}^i)

$$X_{df}^i = X_{dt}^i - X_o - X_c$$

- Se restan y se dividen entre dos las historias X_{do}^i de las esquinas de

cada nivel y así se eliminan los movimientos de traslación y aparecen los de torsión, después se restan los movimientos de torsión, de la base

$$x_{et}^i = \left(\frac{x_{an}^{iE} - x_{ao}^{iO}}{2} \right) - x_{ot}$$

donde i es el nivel, de la estructura, instrumentado.

En las figs 5-18 a 5-23 se presentan las historias del aceleración y desplazamiento del sistema suelo-estructura con respecto al suelo registrados en la azotea Este (AE) y azotea centro (AC) para los sismos 93-3, 93-4 y 93-11. También se presentan: los de torsión en la esquina Este; las historias de los movimientos de la estructura por flexión, así como de los efectos ISE de traslación y cabeceo; las torsiones de la base no aparecen por que son despreciables.

De estas gráficas queda claro que los efectos ISE son pequeños y la contribución de los movimientos de torsión difieren de un sismo a otro.

V.2.2 Distorsiones y acortamientos de entrepiso.

Dado que se cuenta con registros en: azotea, nivel 10, nivel 5 y sótano, se calcularon las distorsiones de entrepiso promedio entre azotea-nivel 10 (AC-N10), nivel 10-nivel 5 (N10-N5) y nivel 5-sótano (N5-SC), con las historias de desplazamiento x_{et} . En las figs 5-24 a 5-26 aparecen las historias de distorsiones de entrepiso y en la tabla 9 se muestran los valores máximos obtenidos para cada uno de los eventos sísmicos analizados, para el evento 93-11 se alcanzó en la dirección L un valor de 0.0014, el cual representa un 12 por ciento del valor permisible por las normas (ref 11).

También se calcularon los acortamientos de entrepiso promedio totales y de traslación vertical, para ello se procedió de la siguiente manera:

- Para el primer caso se estiman, a partir de los registros de esquina NE y SO, restando los desplazamiento verticales entre los niveles AC-N10, N10-N5, y N5-SC, y después se dividen entre las distancias de entrepiso correspondientes
- Para el segundo caso se promedian los desplazamientos de traslación vertical de las estaciones ubicadas en los extremos de un mismo nivel, después se restan los desplazamientos entre los niveles AC-N10, N10-N5 y N5-SC, y por último se dividen entre las distancias de entrepiso correspondientes.

En la tabla 10 se presentan los valores máximos de estos acortamiento, las cuales varían en función de la intensidad del movimiento sísmico.

V.2.3 Aceleraciones, velocidades y desplazamientos angulares

Con las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento verticales registradas en azotea, nivel 10, nivel 5 y sótano se estimaron las aceleraciones, velocidades y desplazamientos angulares de cabeceo alrededor de los ejes longitudinal y trasversal. En la tabla 11 se comparan los valores máximos correspondientes a los tres eventos sísmicos considerados.

V.3. PROPIEDADES DINÁMICAS

Para identificar las frecuencias naturales de vibración, formas modales y amortiguamiento se empleó un procedimiento de identificación de sistemas no paramétrico. Para lo cual fue necesario procesar la información aplicando la transformada de Fourier a cada acelerograma y calcular funciones de transferencia, en amplitud y ángulo de fase, entre pares de registros de diferentes estaciones. Las amplitudes de los espectros de Fourier y de las funciones de transferencias aparecen en el anexo II.

El análisis espectral de los registros sísmicos permitió identificar las frecuencias naturales de vibración (tabla 12), las cuales varían entre ellas hasta 13 por ciento. En las funciones de transferencias entre los registros de azotea centro y suelo, se observa una disminución de las frecuencias de vibración en función de la intensidad del sismo (fig 5-27). Si estas se comparan con las frecuencias medidas en las pruebas de vibración ambiental las diferencias son mayores. Estos hechos han sido observados en otros edificios instrumentados (refs 12 y 13). Las variaciones de frecuencias naturales del edificio es incluso evidente durante cada evento sísmico, como se ilustra en la figs 5-28 a 5-31, al comparar las funciones de transferencias de los tres sismos, calculadas segmentando el registro en tramos de 20.48 o 40.95 s.

Se tienen las propiedades dinámicas del edificio medidas en pruebas de vibración ambiental realizadas antes y después de ocurridos los sismos (fig 2-3). Las frecuencias en la dirección L y T son prácticamente las mismas, en cambio, para torsión difieren en un 22 por ciento.

Con los registros sísmicos y de vibración ambiental se lograron trazar las formas modales y resultaron similares para todos los eventos (fig 5-32).

Las fracciones de amortiguamiento crítico equivalentes del sistema estructura-suelo (ξ) se evaluaron por medio del factor de amplificación dinámico (FAD) y la ecuación siguiente:

$$\xi = \frac{1}{2FAD}$$

Al calcular el amortiguamiento de esta forma, los valores varían entre 2.4 a 4 por ciento, para la dirección T, y entre 2.6 a 4 por ciento, para la dirección L.

A partir de los diferentes movimientos que contribuyen en la respuesta de traslación del edificio es posible identificar las frecuencias fundamentales de vibrar de la estructura con base empotrada, considerando a este como un subsistema. Para lo cual se calculan los cocientes de los espectros de Fourier del movimiento de traslación absoluto x_{aT} entre la diferencia de $x_{aT} - x_{sT}$. En la figs 5-33 se comparan estos cocientes con las funciones de trasferencias obtenidas entre los registros de azotea y superficie del suelo, las ordenadas máximas están asociadas a las frecuencias de vibración del sistema suelo-estructura y del subsistema correspondiente a la estructura. Estas últimas también varían con la intensidad del sismo.

V.4 EFECTOS DE TORSIÓN

En las figs 5-34 a 5-36 se presentan las historias de aceleración de azotea de las estaciones AE y AO, relativas con respecto a las estación de campo S, así como la resta de dichas historias; además se muestran los espectro de Fourier correspondientes.

Las vibraciones de torsión no son significativas para los sismos del 15 de mayo (eventos 93-3 y 93-4), en cambio para el sismo más intenso el del 24 de octubre (evento 93-11) aparecen apreciables fenómenos de pulsación asociadas a frecuencias de batimiento entre 0.03 y 0.05 Hz, las cuales son atribuibles a la cercanía de estas con la frecuencia dominante del suelo, efectos similares se han evidenciado en otros edificios instrumentados (ref 14)

A fin de simular los fenómenos de batimiento producidos entre las frecuencias fundamentales del edificio y la dominante del suelo, se generaron las historias de movimientos vibratorios que se muestran en la fig 5-37, los cuales se calcularon con la superposición de dos o tres funciones cosenoidales. Algunas de estas historias representan aproximadamente los movimientos registrados, no obstante hay diferencias que se atribuyen a efectos no lineales.

V.5 ESPECTRO DE RESPUESTA

Los espectros de respuesta se calculan con base en las aceleraciones corregidas de los registros de las estaciones de superficie del suelo y del sótano centro para el movimiento en las direcciones T y L a partir de un sistema de un grado de libertad y diversos porcentajes de amortiguamiento crítico equivalentes. En las figs 5-38 a 5-43 se presentan los espectros obtenidos y no se detectan diferencias significativas al calcularlos con los de registros del suelo y de sótano.

En las gráficas aparecen el valor de la aceleración máxima obtenida experimentalmente en azotea del edificio, asociada al periodo fundamental del sistema suelo-estructura en la dirección que se trata, se aprecia que dicho valor en el espectro corresponde a fracciones de amortiguamiento crítico inferiores a los calculados.

V.6. EFECTOS DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA (ISE)

Con el fin de evaluar los efectos ISE del edificio se empleó un modelo simplificado propuesto en las refs 15 y 16. El sistema se idealiza según se ilustra en la fig 5-62, donde se han incorporado dos grados de libertad asociados a la traslación horizontal y al cabeceo de la base de la estructura.

Modelo de traslación

La frecuencia fundamental de vibrar del modelo de traslación del sistema suelo-estructura está dada por la relación

$$\frac{1}{\bar{f}_1^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_c^2} + \frac{1}{f_H^2} \quad (1)$$

donde

- $\bar{f}_1$ frecuencia fundamental del sistema determinada experimentalmente
- f_1 frecuencia de la superestructura con base empotrada
- f_c frecuencia natural suponiendo que su base solo puede girar y con una superestructura infinitamente rígida
- f_H frecuencia natural suponiendo que su base solo puede trasladarse y con una superestructura infinitamente rígida.

Las frecuencias f_c y f_H se calculan con las siguientes relaciones aproximadas

$$f_c = \bar{F}_1 \left(\gamma_1 \frac{H\phi}{X_T} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$f_H = \bar{F}_1 \left(\beta_1 \frac{X_0}{X_T} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

donde X_T es la respuesta total de la azotea, X_0 es la respuesta de traslación horizontal de la base, ϕ es la respuesta rotacional de cabeceo de la base, H es la altura de la estructura ($H = h$), γ_1 y β_1 son parámetros modales asociados al modo fundamental de la estructura con base empotrada.

Remplazando las ecs 2 y 3 en la ec 1 y despejando f_1 se tiene

$$f_1 = \bar{F}_1 \left(1 - \gamma_1 \frac{H\phi}{X_T} - \beta_1 \frac{X_0}{X_T} \right)^{-1/2} \quad (4)$$

Las rigideces equivalentes de traslación horizontal K_H y de cabeceo K_c asociados a los efectos ISE pueden estimarse con las relaciones siguientes:

$$K_H = \beta_1^2 M_1 (2\pi f_H)^2 \quad (5)$$

$$K_c = \gamma_1^2 M_1 H^2 (2\pi f_c)^2 \quad (6)$$

Entonces con las ecs 1 a 6, las características geométricas del edificio, el modelo

matemático preliminar, las frecuencias fundamentales de vibrar de traslación ($\bar{T}_1$) y los ángulos de giro por cabeceo de la base ϕ se puede evaluar los efectos ISE.

Para el cálculo de las rigideces K_H y K_C , con las expresiones propuestas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (RCDF-87, ref 11), es necesario estimar un valor promedio del módulo de cortante del suelo (G), el cual se hizo con los resultados de un estudio detallado de mecánica de suelos (ref 17), en la fig 5-44 se presenta el perfil estratigráfico del suelo, en donde se incluye la velocidad de onda de cortante. La velocidad característica V_s para estos estratos se estimó calculando como se sugiere en la ref 18, así $V_s = 68$ m/s.

Mediante la solución de la ecuación del movimiento para un medio elástico se obtiene la expresión siguiente que relaciona el módulo de cortante con la velocidad de propagación de ondas de cortante (V_s),

$$G = \rho V_s^2 \quad (7)$$

siendo ρ la densidad del suelo, así $G = 564$ t/m².

En la tabla 13 muestra los resultados para los valores promedio. La contribución de movimientos de traslación y cabeceo, en la respuesta del edificio registrados en la azotea, para la dirección L del evento 93-3, los valores fueron de 7 y 14 por ciento, para el evento 93-4, 8 y 13 por ciento, y para el evento 93-11, 3 y 13 por ciento respectivamente. Para la dirección T en el primer evento los valores fueron de 9 y 10 por ciento, en el segundo evento de 10 y 8 por ciento, y para el último evento 13 y

11 por ciento, respectivamente.

Observando las rigideces obtenidas a partir de los registros de los tres sismos, de los registros de vibración ambiental y los calculados con las expresiones propuestas en RCDF-87 (tabla 14). Se aprecia para la dirección T, que las rigideces, van disminuyendo en función de la amplitud, sucediendo lo contrario en la dirección L. Por otro lado la rigidez de vibración ambiental por lo general, es mayor que las de registros sísmicos y las obtenidas con las expresiones del reglamento.

Modelo de torsión

Para la frecuencia fundamental de vibrar del modo de torsión del sistema suelo-estructura la ref 14 plantea la relación siguiente:

$$\frac{1}{f_{1t}^2} = \frac{1}{f_{1t}^2} + \frac{1}{f_R^2} \quad (8)$$

donde

- $\bar{f}_{1t}$ frecuencia fundamental de torsión del sistema
- f_{1t} frecuencia de la superestructura con base empotrada
- f_R frecuencia del sistema, si la superestructura fuera infinitamente rígida y su base solo pudiera girar en su plano.

Estas frecuencias pueden calcularse con las expresiones

$$f_R = \bar{f}_{1t} \left(\beta_1 \frac{\phi_{bt}}{\phi_R} \right)^{-1/2} \quad (9)$$

$$f_{1t} = \bar{f}_{1t} \left(1 - \beta_1 \frac{\phi_{bt}}{\phi_R} \right)^{-1/2} \quad (10)$$

donde

ϕ_{bt} respuesta rotacional de la losa de la base en su plano

ϕ_R respuesta rotacional de la losa de la azotea en su plano

La rigidez de torsión equivalente se calcula con

$$K_R = \beta_1^3 I_1 (2\pi \bar{f}_{1t})^2 \quad (11)$$

Los valores obtenidos con estas expresiones aparecen en la tabla 15. La contribución del movimiento de torsión, en la respuesta registrada en la azotea es de 12 y 10 por ciento, para los eventos 93-3 y 93-4 respectivamente, y disminuye en el evento 93-11 hasta un 5 por ciento.

Las rigidez de torsión estimadas de los registros sísmicos, aumenta en función de la amplitud, pero son menor hasta en un 85 por ciento, con respecto a las rigideces de vibración ambiental (tabla 14).

CAPITULO VI

COMENTARIOS FINALES

El edificio JAL es uno de las pocas estructuras típicas de edificios instrumentadas en el país, la importancia que tiene es que se localiza en una zona de elevado riesgo sísmico, como es la zona de lago en la ciudad de México.

Se observó en los registro, la variación que sufre el movimiento del subsuelo al transmitirse a través del suelo y la estructura. Durante el evento 93-11 se registraron las mayores amplitudes de los movimientos y estas fueron en la azotea, alcanzando 56 gal de aceleración absoluta y 5.5 cm de desplazamiento absoluto, en cambio en la superficie del terreno fueron de 13 gal y 1.05 cm, respectivamente, la distorsión máxima de entrepiso fue de 0.0014 la cual representa un 12 por ciento del valor permisible por las normas. Si se considera los registros del terreno del sismo del 19 de septiembre de 1985, obtenidos de la estación de SCT, las cuales alcanzaron una aceleración de 168 gal y un desplazamiento de 21 cm, es claro que los sismos analizados son de poca intensidad.

De las animaciones de desplazamiento se aprecia que en la respuesta rige el modo fundamental, aunque en los tramos iniciales de las animaciones de las aceleraciones se aprecian algunos modos superiores. Además, de estas animaciones se pudo determinar que el cajón de cimentación no se comporta infinitamente rígido y esto concuerda con los resultados de vibración ambiental.

Al trazar las trayectorias de desplazamiento se observó que para los eventos 93-3 y 93-4 para sótano y terreno, son prácticamente iguales, en la etapa intensa de los sismos el movimiento incide con una orientación de 45° aproximadamente, presentándose la mayor amplitud en la dirección T y los efectos de torsión no son significativos. En cambio para el evento 93-11 no tiene una dirección predominante, su mayor amplitud se presentó en la dirección L y los efectos de torsión son apreciables, esto último se atribuye a la cercanía de las frecuencias fundamentales en la dirección L, de torsión y la del suelo provocando un efecto de batimiento.

Se observó que los espectros de respuesta calculados con los registros del sótano centro y del suelo para ambas direcciones no se detectan diferencias significativas. El valor de aceleración máxima obtenida en la azotea del edificio, y asociado al período fundamental del sistema, en las dos direcciones, se aprecia que dicho valor en el espectro le corresponde a una fracción de amortiguamiento crítico menor que el calculado.

En el análisis espectral de los registros sísmicos, se identificaron las frecuencias naturales de vibrar de cada evento, las cuales varían entre ellas en un 13 por ciento, observándose una disminución de las frecuencias en función de la intensidad del sismo, de igual forma la frecuencia fundamental de vibrar de la super-estructura también varía con la intensidad del sismo. Pero las formas modales fueron similares en todos los casos. Por otro lado el porcentaje del amortiguamiento crítico calculado varía entre 2.4 a 4 por ciento para ambas direcciones. De la misma manera, las frecuencias naturales de vibrar obtenidas de pruebas de vibración ambiental, antes y después de los sismos de 1993, disminuyeron en los componentes longitudinal y rotacional en un 4 y 22 por ciento, respectivamente; en cambio para el componente

trasversal se mantuvo igual.

Las rigideces de traslación, cabeceo y torsión asociados a los efectos de interacción suelo-estructura obtenidas del modelo simplificado y a partir de los registros sísmicos muestran, en general una tendencia creciente en función de la amplitud. Por otra parte la rigideces calculadas con las pruebas de vibración ambiental, se aprecia un incremento hasta en un 32 por ciento, entre las dos últimas etapas. Al compararlas, la rigidez de los registros sísmicos y vibración ambiental son generalmente mayor estas últimas.

Las rigideces calculadas con las expresiones teóricas propuestas en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo de 1987, al compararlas con las experimentales (registros sísmicos y vibración ambiental): en la dirección T la rigidez de traslación es mayor que las calculadas con la respuesta sísmica, y en la dirección L son en general menores.

Las variaciones de las frecuencias naturales de vibración se atribuye a diversas fuentes de no linealidad en el edificio y en la interacción suelo-estructura. Para las primeras destacan: el módulo de elasticidad del concreto, la discontinuidad de los paneles de concreto con los elementos estructurales que los confinan, el nivel de daño de los muros de mampostería y el agrietamiento de la losa. Para las segundas se distingue: la discontinuidad en la interfaz cimentación-suelo; dado que los pilotes de fricción atraviesan una capa dura, no se descarta la posibilidad de que estén más fuertemente adheridos al suelo y además ante movimientos sísmicos presenten variaciones de las fuerzas de ligazón.

Los resultados obtenidos hacen evidente, la importancia que tiene la instrumentación sísmica de edificios y la interpretación de los registros de la respuesta ante sismos, ya que constituye uno de los proyectos de investigación más productivos para conocer su comportamiento y mejorar los métodos de diseño sismorresistentes de edificios, por tanto es muy recomendable que se intensifiquen las campañas de instrumentación de edificios en nuestro país.

REFERENCIAS

1. **Mell. R., Muriá Vila D., Quaas R. E. Faccioli, R. Paolucci.** "Instrumentación sísmica de edificios para el estudio de efectos de sitio y de respuesta estructural". GEO UNAM Vol 2 Num 2
2. **TGC GEOTENIA "Exploración e instalación de acelerómetros en Jalapa 12 y 16 col. Roma, México D.F", TGC 92-1375, noviembre 1992.**
3. **Aire Untiveros C., Muriá Vila D.;** "Evaluación de las propiedades mecánicas de un edificios de 14 pisos", Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto 2561, enero de 1993.
4. **Muriá Vila D., Moreno Rubín de Celis S.;** "Monitoreo de propiedades dinámicas de un edificio de 14 niveles", Instituto de Ingeniería UNAM, Proyecto 4521, octubre 1994.
5. **Muriá Vila D., Moreno Rubín de Celis S.;** "Determinación de las propiedades dinámicas y los efectos de interacción suelo-estructura de un edificio de 14 niveles", Instituto de Ingeniería UNAM, Proyecto 2561, febrero 1993.
6. **Mell. R., Muriá Vila D., Quaas R.;** 1993. "Instrumentación sísmica del edificio Jalapa para el estudio de efectos de sitio y de respuesta estructural". **Memorias X Congreso Nacional del Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jal. Oct 1993.**

7. **Quaas R, D. Almora;** "Instrumentación sísmico del edificio Jalapa resumen de operación y registro de datos durante 1993" informe interno del Instituto de Ingeniería UNAM, proyecto 4521, octubre 1994.
8. **Quaas R, D. Almora;** "Instrumentación sísmico del edificio Jalapa" informe interno del Instituto de Ingeniería UNAM, diciembre 1992
9. **Muriá Vila D., Gonzales Alcorta R. y Espinosa Arando J.** "Efecto de interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de un edificio instrumentado", Serie del Instituto de ingeniería, No 555 enero 1993.
10. **Muriá Vila D., Gonzales Alcorta R. y Miranda Télles, A.** "Características dinámicas de cuatro edificios obtenidos a partir de registros sísmicos y de vibración ambiental", Instituto de ingeniería, UNAM. proyecto 8711, patrocinado por Conacyt y DDF, abril 1989
11. **Normas técnicas complementarias para el diseño por sismo, del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, 1987.**
12. **Tanaka T., Yoshizawa S. y Osawa Y., (1969)** "Period and damping of vibration in actual buldings during earthquakes", Bull. of the Earth. Research Institute, Vol 47 1969
13. **Anderson J.C., Miranda E. Y Bertero V., (1991)** "Evaluation of the seismic performace of a thirty- story RC building", Repor N° UCB/EERC-91/16, University of California at Berkeley, julio 1991.

14. Boroschek R. y Mahin S.A., (1991). "Investigation of the seismic response of a lightly-damped torsionally-coupled building", Repor N° UCB/EERC-91/81, University of California at Berkeley, diciembre 1991.
15. Luco J.E.; "Soil-structure interaction and identification of structural models", Proc. 2nd ASCE Speciality Conference in Civil Engineering and Nuclear Power, Knoxville, Tennessee, vol II, paper N° 10-1, 1980 pags 10.1.1-10.1.31.
16. Luco J.E., Trifunac M.D., Wong H.L.; "On the apparent change in dynamic behavior of a nine-story reinforced concrete building", BSSA vol 77, N° 6 diciembre 1987, pags 1961-1983.
17. Ovando E.; "Determinación preliminar de las propiedades dinámicas del subsuelo bajo el edificio Jalapa", Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto 2561, febrero 1993.
18. Rosenblueth E., Reséndiz Núñez D.; "Disposiciones reglamentarias de 1987 para tener en cuenta interacción suelo-estructura", Series del Instituto de Ingeniería, No 509, enero 1988.

TABLA 1. FRECUENCIAS NATURALES DE VIBRACIÓN IDENTIFICADAS EN EL EDIFICIO DURANTE LAS DOS ETAPAS DE MEDICIONES DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

ETAPA	FECHA	MODO	FRECUENCIA (Hz)		
			L	T	R
3	23/09/92	1	0.73	0.44	0.83
		2	3.12	1.80	2.54
		3	5.95	2.93	4.30
		4	8.89	4.39	6.15
4	25/11/93	1	0.70	0.44	0.88
		2	2.64	1.45	2.31
		3	4.91	2.56	3.81
		4	7.25	4.00	5.61

L- Longitudinal
T- Transversal
R- Rotacional

TABLA 2. RELACIÓN ENTRE LAS FRECUENCIAS NATURALES DE LOS MODOS SUPERIORES CON LAS FUNDAMENTALES

ETAPA	DIRECCIÓN L			DIRECCIÓN T			TORSIÓN		
	f_2/f_1	f_3/f_1	f_4/f_1	f_2/f_1	f_3/f_1	f_4/f_1	f_2/f_1	f_3/f_1	f_4/f_1
3	4.27	8.15	12.18	3.64	6.66	9.98	3.06	5.18	7.41
4	3.77	7.01	10.36	3.30	5.82	9.09	3.40	5.60	8.25

f_i - frecuencia natural del modo i

TABLA 3. LOCALIZACIÓN Y TIPO DE INSTRUMENTO

CLAVE	LOCALIZACIÓN	APARATO	N.S.	I.M.A	MONTAJE
S	Superficie del Terreno	DCA-333R	484	H = 0.5 V = 0.25	H
P1	Pozo a 20 m	DCA-333R DSA-302	485 194	H = 0.25 V = 0.25	V
P2	Pozo a 45 m	DCA-333R DSA-302	495 195	H = 0.25 V = 0.25	V
BE	Sótano Este	DCA-333R	483	H = 0.5 V = 0.25	V
BN	Sótano Norte	DCA-333R	491	H = 0.25 V = 0.25	V
BC	Sótano Centro	DCA-333R	494	H = 0.5 V = 0.25	V
BO	Sótano Oeste	DCA-333R	486	H = 0.5 V = 0.25	V
5E	Nivel 5 Este	DCA-333R	493	H = 1.0 V = 0.25	V
5O	Nivel 5 Oeste	DCA-333R	490	H = 1.0 V = 0.25	H
10E	Nivel 10 Este	DCA-333R	481	H = 1.0 V = 0.25	H
10O	Nivel 10 Oeste	DCA-333R	492	H = 1.0 V = 0.25	H
AE	Azotea Este	DCA-333R	487	H = 1.0 V = 0.25	H
AC	Azotea Centro	DCA-333R	488	H = 2.0 V = 0.25	H
AO	Azotea Oeste	DCA-333R	489	H = 1.0 V = 0.25	H

N.S.- Número de serie

H- Horizontal V- Vertical

I.M.A- Intervalo máximo de aceleración (g)

TABLA 4a. RESUMEN DE LOS DATOS REGISTRADOS DURANTE 1993 EN EL EDIFICIO JAL

EVENTO	TIPO DE EVENTO	FECHA LOCAL	HORA (GMT)	N° DE REGISTROS	ACELERACION MAXIMA (GAL)					
					POZO 20 m	SUELO	SOTANO	NIVEL 5	NIVEL 10	AZOTEA
93-1	SISMO GUERRERO Mc = 5	31.03.93	10:19:48	4	—	—	—	—	—	9.58(T)
93-2	LOCAL	04.04.93	14:23:34	2	—	—	1.32(V)	—	1.68(V)	—
93-3	SISMO GUERRERO Mc = 6.2 Ms = 6.7	15.05.93	03:11:11	14	0.94(T)	4.31(L)	3.83(L)	7.19(T)	7.66(T)	11.50(T)
93-4	SISMO GUERRERO Mc = 6 Ms = 6.9	15.05.93	03:13:59	14	2.04(L)	10.78(V)	8.85(L)	15.81(T)	21.08(L)	27.78(L)
93-5	LOCAL	18.05.93	14:58:55	1	—	2.4(V)	—	—	—	—
93-6	LOCAL	20.05.93	20:17:34	12	0.24(V)	0.36(V)	2.11(V)	3.95(V)	7.07(V)	36.88(V)
93-7	SISMO GUERRERO Mc = 4.5	22.07.93	20:18:26	14	0.48(T)	1.92(V)	2.16(T)	5.75(T)	4.31(T)	7.55(T)
93-8	SISMO MEXICO GUATEMALA Mc = 5.3	03.09.93	12:39:08	14	0.36(L)	1.92(T)	1.68(L)	2.87(T)	8.14(T)	10.06(T)
93-9	SISMO MEXICO GUATEMALA Mc = 5.3	03.09.93	12:40:12	14	0.36(L)	0.96(T)	0.96(T)	1.92(T)	6.27(T)	6.71(T)
93-10	SISMO MEXICO GUATEMALA Mc = 7.1	10.09.93	19:16:56	14	0.36(L)	2.87(T)	2.63(T)	4.31(T)	10.06(T)	12.45(T)
93-11	SISMO GUERRERO Mc = 6.7 Ms = 6.6	24.10.93	07:53:15	14	2.16(T)	13.17(T)	13.29(T)	23.47(L)	44.55(L)	56.52(L)
93-12	SISMO GUERRERO Mc = 5.3	13.11.93	00:18:59	14	0.24(T)	2.40(T)	2.16(T)	3.36(L)	5.75(T)	7.19(T)

L: COMPONENTE LONGITUDINAL T: COMPONENTE TRASVERSAL V: COMPONENTE VERTICAL

TABLA 4b. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS IMPORTANTES REGISTRADOS EN 1993

FECHA	15 DE MAYO	15 DE MAYO	24 DE OCTUBRE
HORA (GMT)	03:09:38.19	03:12:32.72	07:52:23.21
COORDENADAS EPICENTRALES	Latitud N Longitud O 16°40.38' 98°25.02'	Latitud N Longitud O 16°41.88' 98°23.7'	Latitud N Longitud O 18°41.2' 98°54.4'
MAGNITUD(Ms)	5.7	5.9	8.5
PROF. DEL FOCO(km)	19.7	20.8	22.7
DIST. EPICENTRAL(km)	308	308	308
RUMBO	S 9.91° E	S 9.91° E	S 5.18° E
LUGAR	Costa de Oaxaca	Costa de Oaxaca	Costa de Guerrero

TABLA 5. ACELERACIONES, VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS REGISTRADOS EN EL EDIFICIO DURANTE EL EVENTO 93-3

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
AC	9.72	10.26	2.60	3.72	2.62	0.25	1.23	0.92	0.10
AO	11.28	10.42	2.87	3.71	2.67	0.44	1.13	0.99	0.13
AE	10.96	9.99	3.30	3.85	2.58	0.45	1.42	0.89	0.13
100	7.56	7.88	2.79	2.60	2.20	0.43	0.89	0.83	0.13
10E	7.50	7.74	3.08	2.78	2.09	0.46	1.17	0.72	0.15
50	5.60	5.20	1.87	1.20	1.52	0.39	0.37	0.50	0.11
5E	6.60	5.63	2.64	1.29	1.44	0.40	0.41	0.46	0.13
SC	3.40	3.55	1.49	0.76	0.92	0.27	0.26	0.30	0.09
SO	3.43	3.51	1.72	0.76	0.89	0.31	0.24	0.29	0.09
SE	3.87	3.54	2.13	0.79	0.91	0.32	0.27	0.30	0.09
SN	3.34	3.70	2.18	0.77	0.92	0.27	0.23	0.30	0.08
S	3.87	4.47	3.43	0.78	0.81	0.40	0.26	0.31	0.07
P1	0.84	0.80	0.46	0.11	0.11	0.08	0.04	0.03	0.02
P2	0.45	0.41	0.31	0.07	0.08	0.06	0.03	0.02	0.02

T - Componente Transversal

L - Componente Longitudinal

V - Componente Vertical

TABLA 6. ACELERACIONES, VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS REGISTRADOS EN EL EDIFICIO DURANTE EL EVENTO 93-4

Punto de observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
AC	23.78	22.80	5.00	6.34	6.47	0.76	2.85	2.22	0.19
AO	23.17	27.22	5.99	6.64	7.21	1.00	2.60	2.56	0.31
AE	23.08	23.06	5.93	6.75	6.09	0.99	3.17	2.07	0.28
100	14.50	20.56	5.57	5.12	6.02	0.99	2.01	2.10	0.31
10E	15.51	16.22	6.03	5.55	5.34	1.11	2.93	2.25	0.33
50	12.10	12.34	5.31	2.47	3.43	0.80	1.00	1.13	0.23
5E	16.14	12.06	5.15	2.73	3.12	0.88	1.15	1.09	0.26
SC	7.57	8.18	3.06	1.92	1.94	0.65	0.69	0.65	0.18
SO	7.75	7.99	4.72	1.85	1.90	0.56	0.67	0.66	0.20
SE	7.71	8.19	4.77	2.18	1.94	0.68	0.77	0.64	0.17
SN	7.63	8.47	4.87	1.72	1.97	0.64	0.62	0.66	0.22
S	7.87	7.70	10.69	2.32	1.96	1.28	0.84	0.62	0.22
P1	1.56	1.95	0.94	0.26	0.24	0.13	0.09	0.07	0.05
P2	1.11	1.62	0.76	0.16	0.14	0.12	0.06	0.04	0.04

T - Componente Trasversal

L - Componente Longitudinal

V - Componente Vertical

TABLA 7. ACELERACIONES, VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS REGISTRADOS EN EL EDIFICIO DURANTE EL EVENTO 93-11

Puntos de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
AC	33.72	51.23	7.23	7.89	15.25	0.89	3.80	4.94	0.36
AO	34.72	56.27	8.36	9.24	16.34	1.93	3.86	5.49	0.58
AE	34.99	51.06	9.61	11.31	15.18	1.99	4.86	4.90	0.63
100	20.15	44.73	8.78	7.63	13.13	1.94	3.17	4.37	0.60
10E	23.48	40.99	10.78	9.17	11.90	2.19	3.66	3.84	0.72
50	15.53	23.26	8.36	3.48	6.36	1.68	1.34	2.11	0.52
5E	21.75	23.32	9.29	3.35	5.97	1.71	1.48	2.07	0.59
SC	13.00	9.83	4.50	2.71	2.58	0.56	1.06	0.98	0.26
SO	11.99	9.37	5.01	2.55	2.65	0.83	0.92	0.96	0.27
SE	13.22	10.79	4.79	2.88	2.64	0.87	1.02	1.00	0.30
SN	12.07	11.69	4.73	3.15	2.69	0.86	1.12	0.99	0.29
S	13.15	10.55	6.35	3.01	2.97	0.85	1.05	0.97	0.19
P1	2.13	2.19	0.85	0.35	0.32	0.16	0.12	0.13	0.05
P2	1.04	1.11	0.69	0.21	0.21	0.11	0.07	0.80	0.05

T - Componente Trasversal

L - Componente Longitudinal

V - Componente Vertical

TABLA 8. ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO ANGULARES MÁXIMOS REGISTRADOS

NIVEL	EVENTO 93-3			EVENTO 93-4			EVENTO 93-11		
	A	V	D	A	V	D	A	V	D
AZOTEA	2.33	0.54	0.152	4.33	1.23	0.34	13.14	4.11	1.28
NIVEL 10	1.83	0.47	0.129	3.42	1.00	0.29	10.54	3.39	1.04
NIVEL 5	1.45	0.19	0.048	2.09	0.46	0.12	5.34	1.42	0.40
SÓTANO	0.35	0.071	0.02	0.66	0.16	0.04	1.15	0.17	0.05

A- Aceleración angular ($\times 10^{-4}$ rad/s²)
 V- Velocidad angular ($\times 10^{-4}$ rad/s)
 D- Desplazamiento angular ($\times 10^{-3}$ rad)

TABLA 9. DISTORSIONES DE ENTREPISO PROMEDIO MÁXIMAS REGISTRADAS

EVENTO	DIRECCIÓN T ($\times 10^{-3}$)			DIRECCIÓN L ($\times 10^{-3}$)		
	AC/N10	N10/N5	N5/SC	AC/N10	N10/N5	N5/SC
93-3	0.23	0.46	0.34	0.13	0.21	0.15
93-4	0.90	0.94	0.63	0.37	0.76	0.44
93-11	0.80	1.32	0.81	0.98	1.42	1.09

TABLA 10a. ACORTAMIENTOS A PARTIR DE LOS REGISTROS DE LA ESQUINA OESTE

NIVEL	93-3 ($\times 10^{-4}$ cm)	93-4 ($\times 10^{-4}$ cm)	93-11 ($\times 10^{-4}$ cm)
AZ - N10	0.016	0.027	0.051
N10 - N8	0.026	0.043	0.090
N8 - S0	0.038	0.106	0.286

TABLA 10b. ACORTAMIENTOS PROMEDIOS

NIVEL	93-3 ($\times 10^{-4}$ cm)	93-4 ($\times 10^{-4}$ cm)	93-11 ($\times 10^{-4}$ cm)
AZ - N10	0.13	0.21	0.40
N10 - N8	0.16	0.29	0.57
N8 - SO	0.27	0.75	2.03

TABLA 11. ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO ANGULAR DE CABECEO DEL EDIFICIO

NIVEL	93-3			93-4			93-11		
	A	V	D	A	V	D	A	V	D
AZOTEA	1.36	0.18	0.06	2.40	0.43	0.11	4.04	0.95	0.30
NIVEL 10	1.27	0.20	0.06	2.26	0.44	0.12	4.35	1.05	0.32
NIVEL 5	0.92	0.15	0.04	1.65	0.36	0.10	3.66	0.83	0.25
SOTANO	0.67	0.09	0.02	1.14	0.20	0.05	1.88	0.35	0.12

A- Aceleración ($\times 10^{-4}$ rad/s²)
V- Velocidad ($\times 10^{-4}$ rad/s)
D- Desplazamiento ($\times 10^{-4}$ rad)

TABLA 12. PARÁMETROS IDENTIFICADOS EXPERIMENTALMENTE

EVENTO	FECHA	MODO	FRECUENCIA		
			L	T	R
VIBRACIÓN AMBIENTAL	23/sep/93	1	0.73	0.44	0.83
		2	3.12	1.60	2.54
		3	5.95	2.93	4.30
		4	8.89	4.39	6.15
93-3	15/may/93	1	0.65	0.37	0.60
		2	2.58	1.34	---
		3	4.81	2.47	---
93-4	15/may/93	1	0.61	0.35	0.58
		2	2.66	1.29	---
		3	4.72	2.25	---
93-11	24/oct/93	1	0.57	0.35	0.53
		2	2.47	1.26	---
		3	4.67	2.20	---
VIBRACIÓN AMBIENTAL	54/nov/93	1	0.70	0.44	0.68
		2	2.64	1.45	2.31
		3	4.91	2.56	3.81
		4	7.25	4.00	5.61

L- Dirección longitudinal

T- Dirección trasversal

R- Torsión

TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE TRASLACIÓN DEL EDIFICIO, ESTIMADAS CON EL MODELO SIMPLIFICADO, PARA LOS VALORES PROMEDIO

EVENTO	93-3		93-4		93-11	
	T	L	T	L	T	L
F1 (Hz)	0.37	0.65	0.35	0.61	0.35	0.53
Xt	0.264	0.225	0.586	0.438	0.586	0.883
Xo	0.025	0.016	0.062	0.350	0.076	0.027
H ti	0.027	0.032	0.052	0.060	0.070	0.118
Xo/Xt	0.095	0.071	0.106	0.080	0.013	0.030
H ti/Xt	0.102	0.142	0.088	0.137	0.119	0.134
f1h (Hz)	1.052	2.274	0.936	1.855	0.831	2.850
f1g (Hz)	1.227	1.717	1.237	1.683	1.046	1.617
f1o (Hz)	0.429	0.734	0.402	0.719	0.412	0.653
Kti (T/m) x 10 ⁻³	25.42	72.15	19.98	73.43	15.75	173.4
Kr (t-m/r) x 10 ⁻³	29.32	56.89	29.81	54.67	21.3	50.57

L- Dirección longitudinal

T- Dirección trasversal

TABLA 14. COMPARACIÓN DE LAS RIGIDECES EQUIVALENTES ASOCIADAS A LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

	$K_h^{(T)}$ [10 ³ t/m]	$K_h^{(L)}$ [10 ³ t/m]	$K_r^{(T)}$ [10 ³ t-m/rad]	$K_r^{(L)}$ [10 ³ t-m/rad]	K_R [10 ³ t-m/rad]
RCDF-87	70.80	70.80	14.70	41.90	
ETAPA 3 (ref 4)	70.80	136.00	50.56	42.30	36.76
93-3	26.42	72.16	29.32	66.89	6.68
93-4	19.98	73.43	29.82	64.67	6.76
93-11	16.76	173.40	21.36	60.47	11.00
ETAPA 4 (ref 4)	104.00	145.00	27.00	63.00	28.24

T - Componente transversal
L - Componente longitudinal

TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE TORSIÓN DEL EDIFICIO, ESTIMADAS CON EL MODELO SIMPLIFICADO

	COMPONENTE TORSIONAL		
	93-3	93-4	93-11
$\bar{f}_{1t}$ [Hz]	0.60	0.56	0.53
ϕ_{bt}/ϕ_R	0.118	0.10	0.06
f_{1t} [Hz]	1.48	1.50	2.23
f_R [Hz]	0.65	0.60	0.55
K_R [t-m/rad]	5.68×10^3	5.76×10^3	11.00×10^3

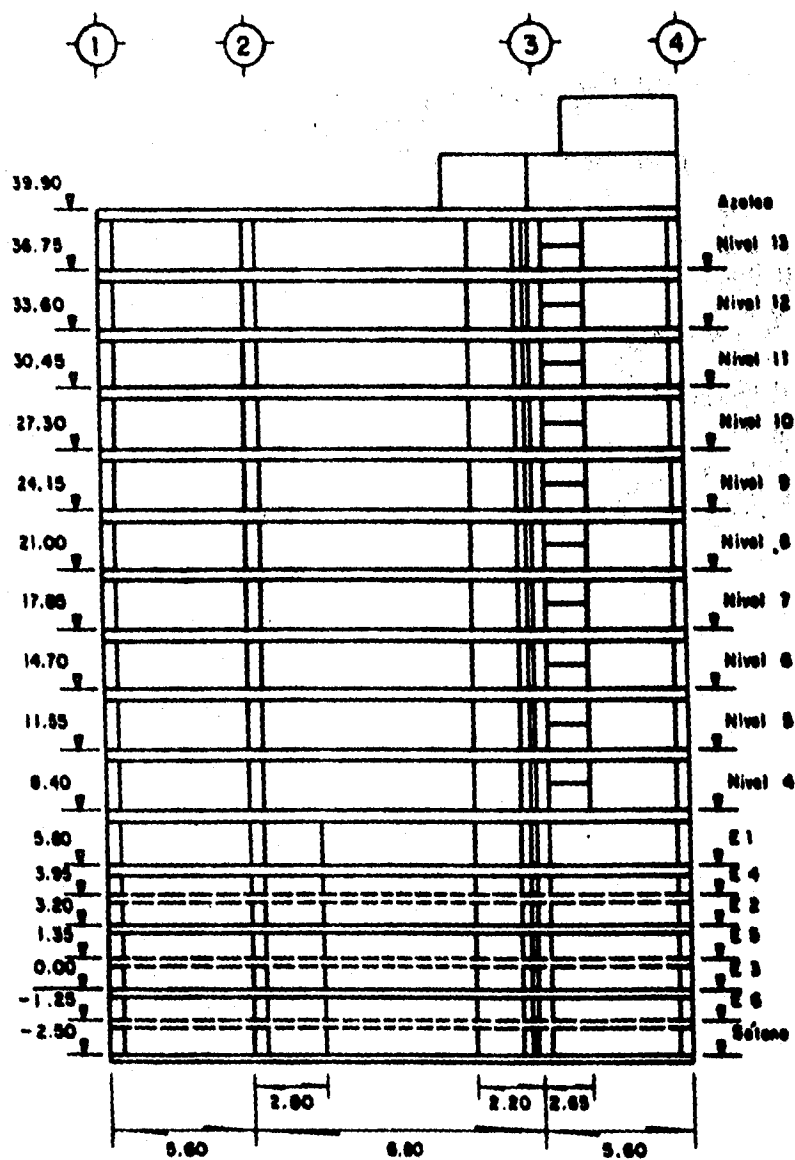
SE



Fig 1-2 Sondeos de cono eléctrico

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION



Corte transversal

Acotaciones, en m

Fig 1-3 Corte transversal del edificio

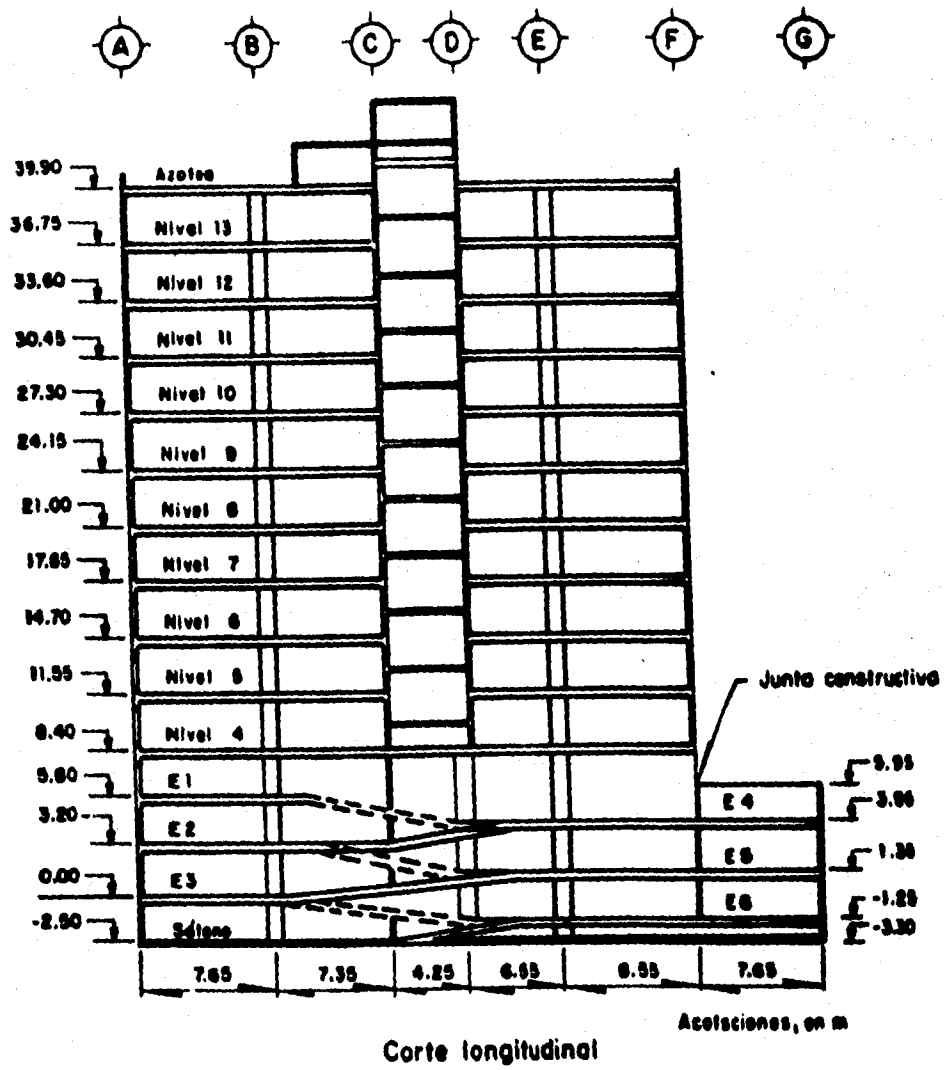


Fig 1-4 Corte longitudinal del edificio

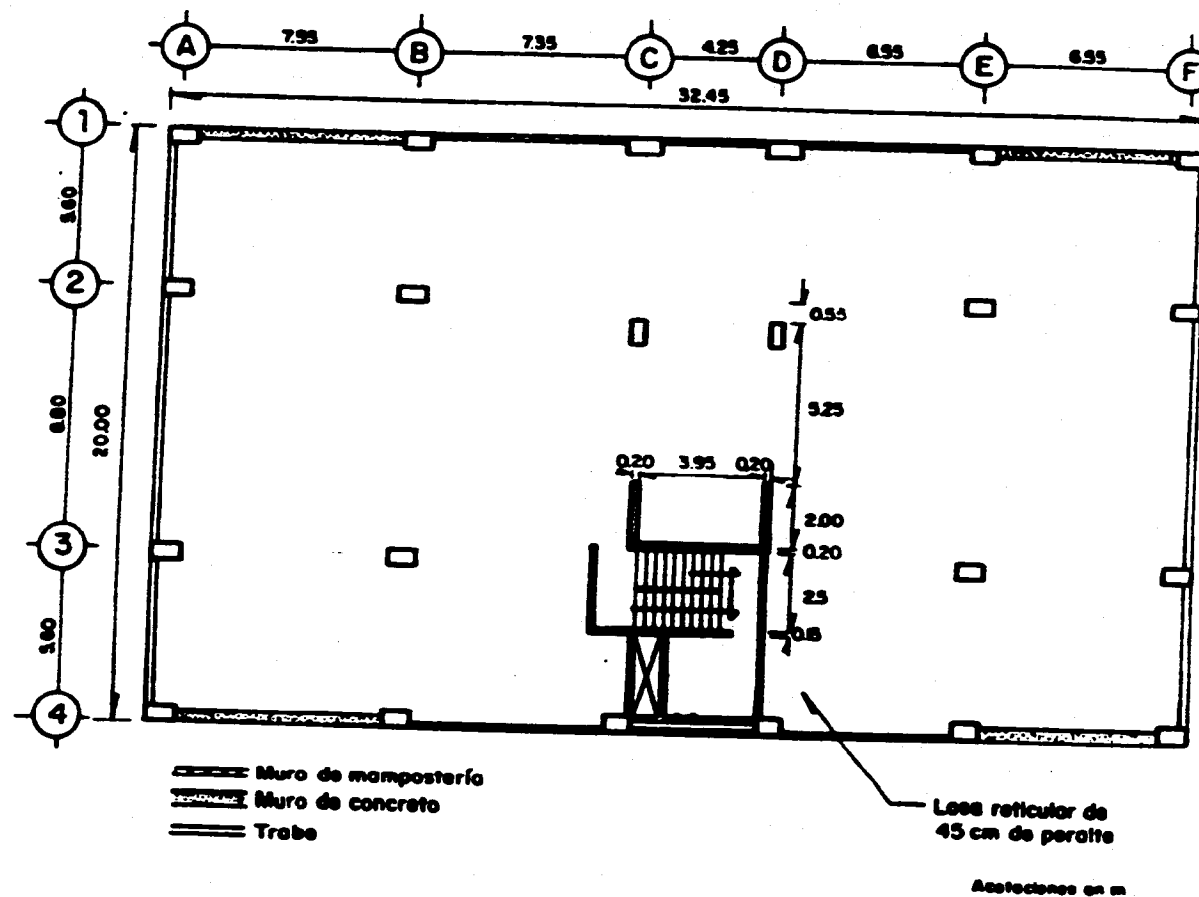
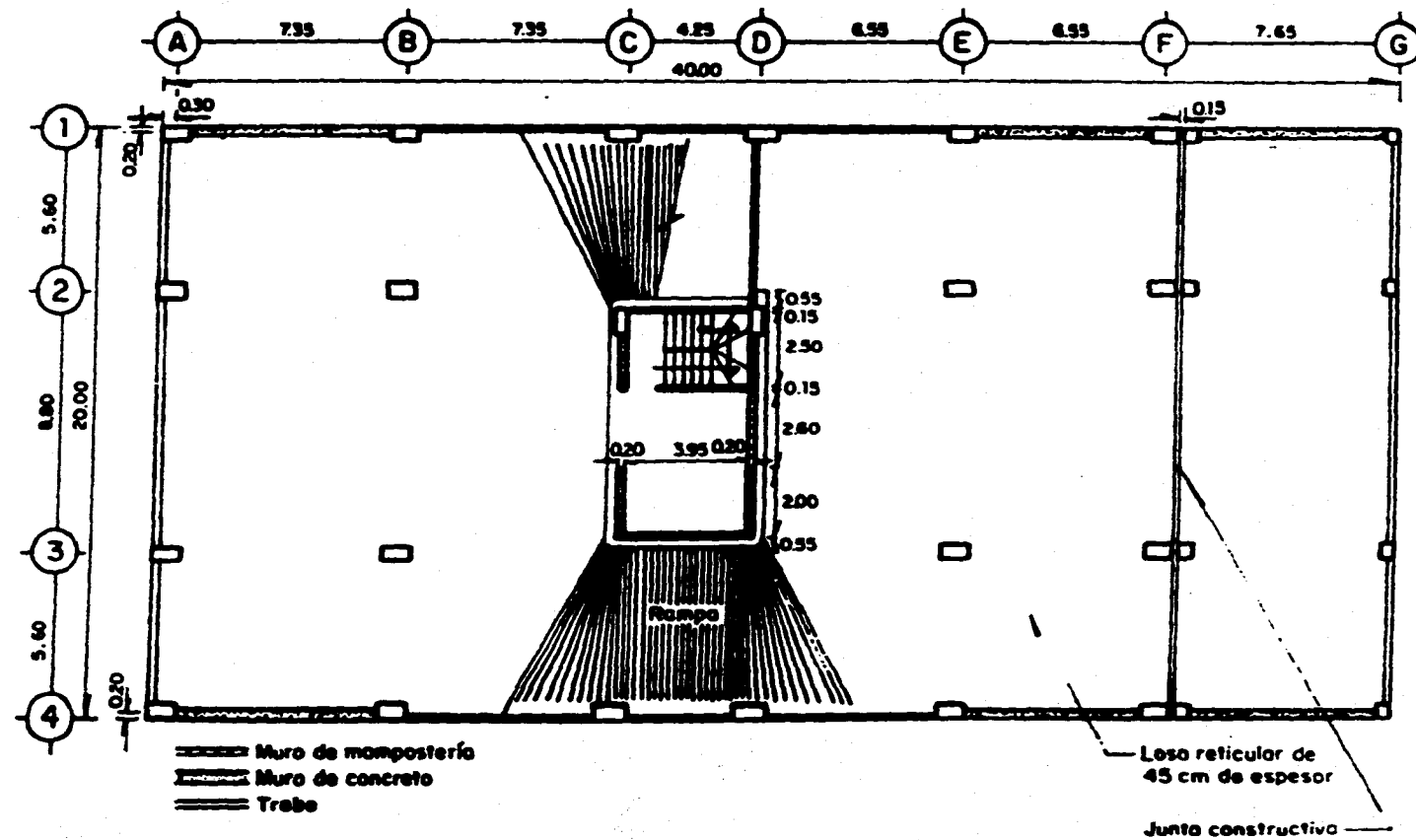
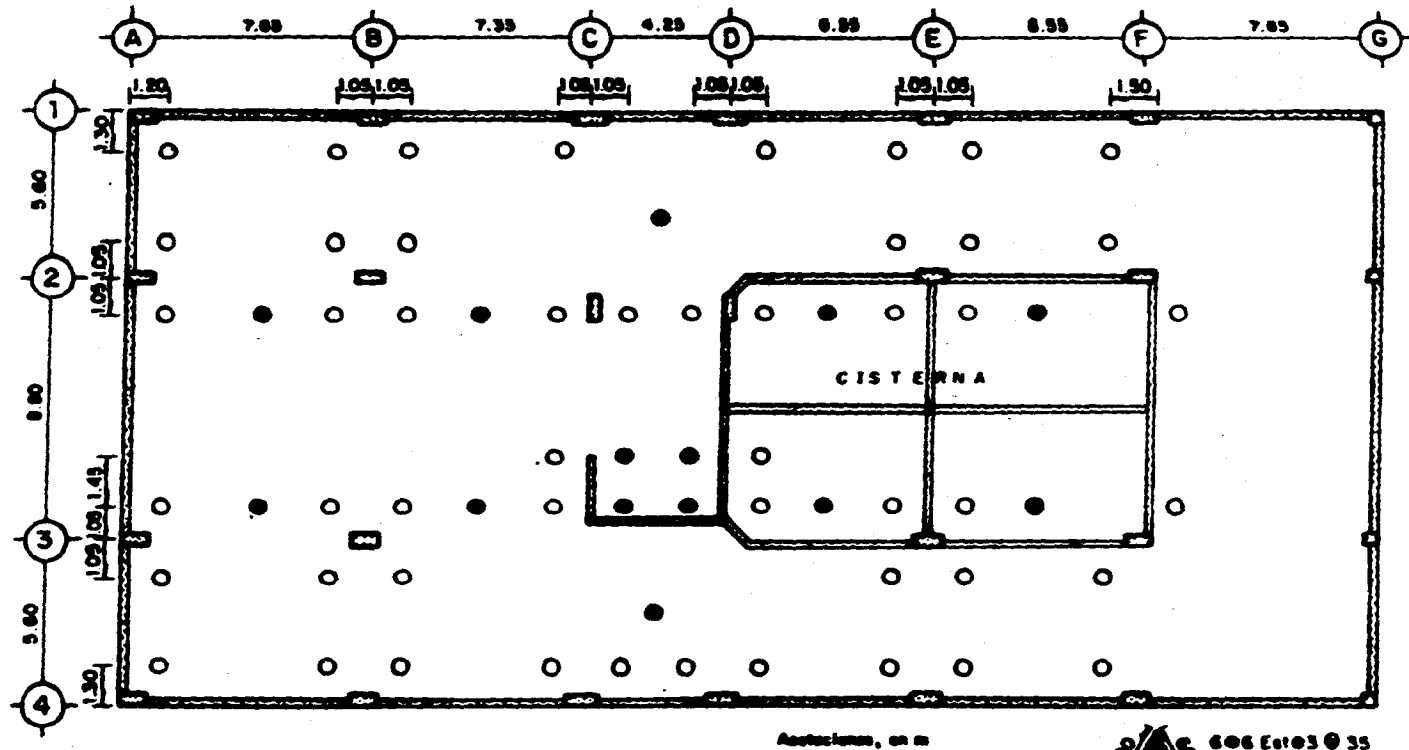


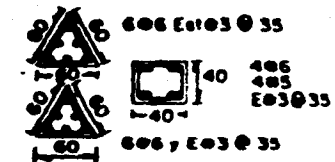
Fig 1-6 Planta tipo de los niveles de oficina





Anotaciones, en m

- 50 Pilotes sección triangular, 60cm de lado y de 28m de longitud del nivel -2.80 al -30.80
- 10 Pilotes de sección cuadrada de 40cm de lado y 28m de longitud del nivel -9.00 al -35.00
- 4 Pilotes sección triangular, 60cm de lado y de 28m de longitud del nivel -2.80 al -30.80



• VS Ø5 • VS Ø6

Fig 1-8 Planta de cimentación y localización de pilotes

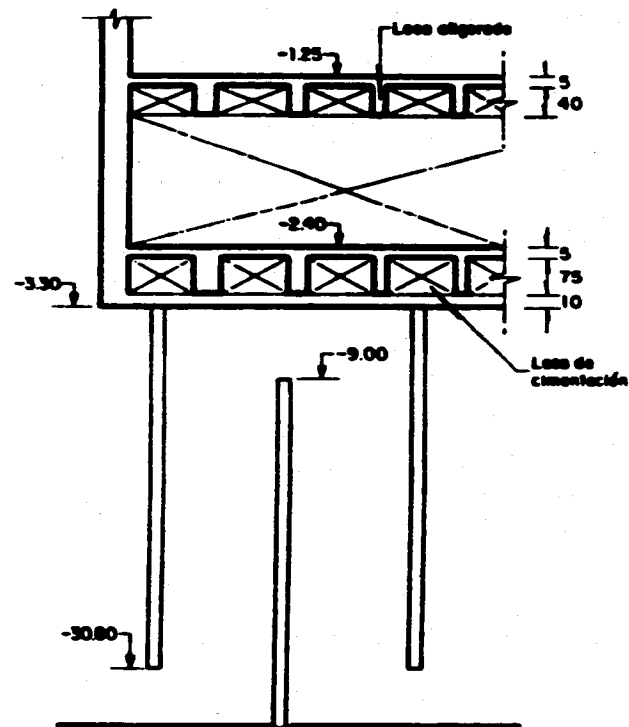


Fig 1-9 Corte de la cimentación de edificio

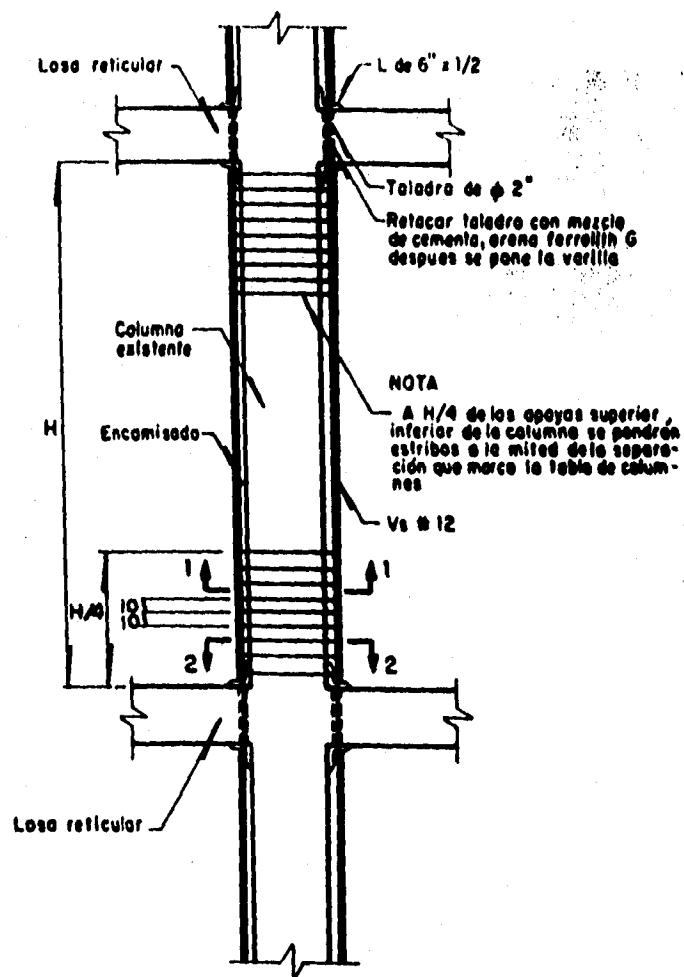
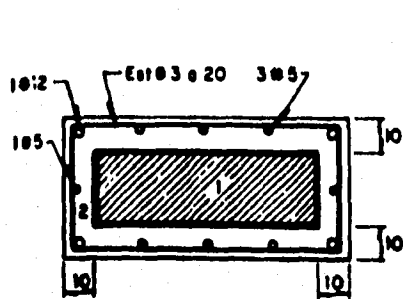
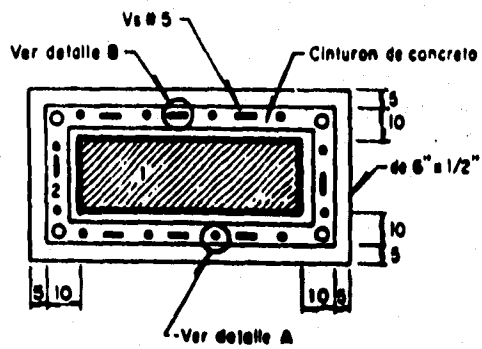


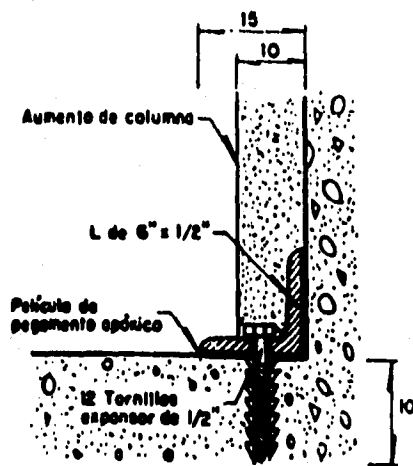
Fig 1-10 Encamizado de las columnas



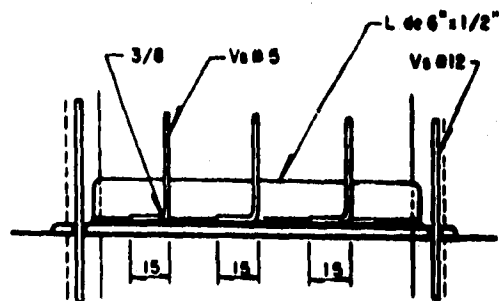
Corte 1-1



Corte 2-2

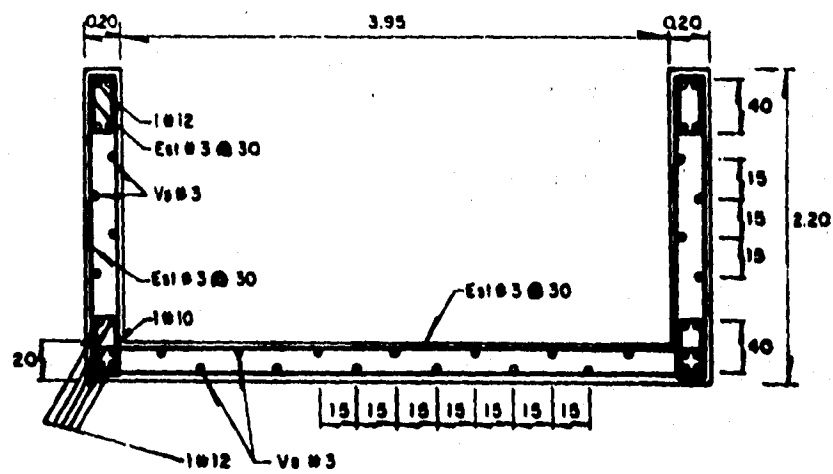


Detalle A



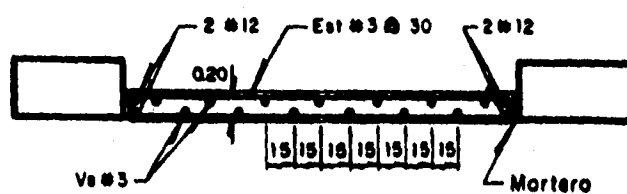
Detalle B

Fig 1-11 Detalle del encamizado de la columnas



Muro de concreto M 1

Acotaciones en m



Muro de concreto M2

Fig 1-12 Muros de concreto reforzado

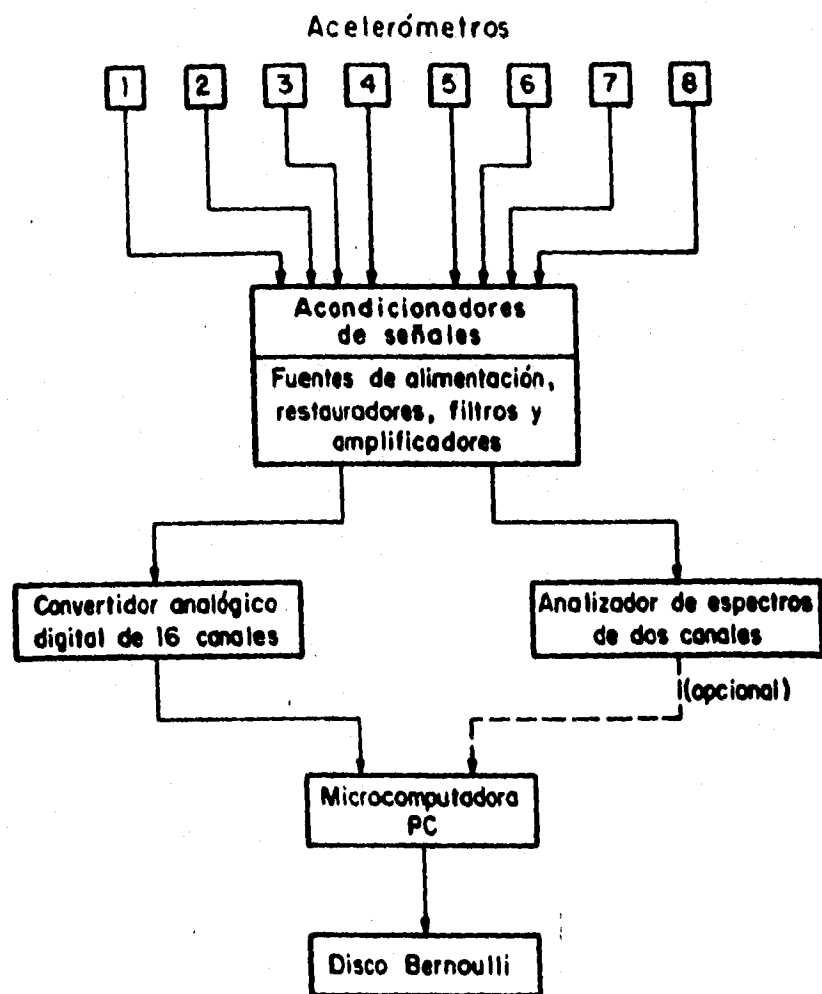


Fig 2-1 Diagrama de bloques del dispositivo experimental

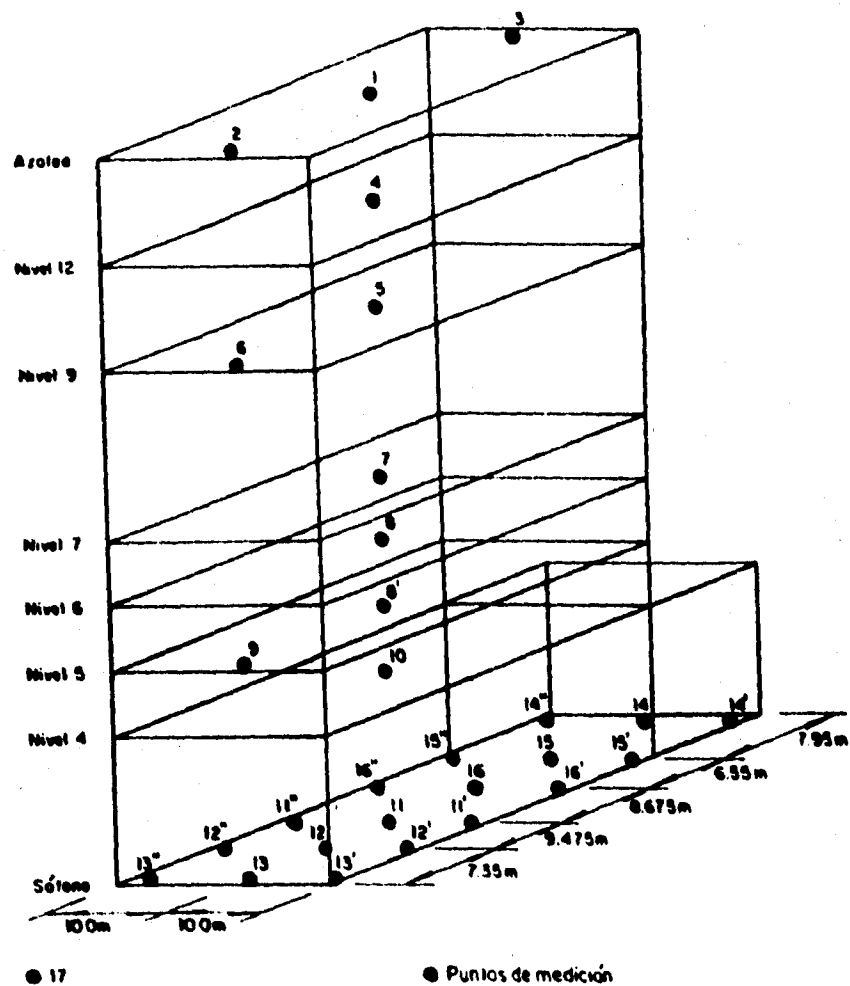


Fig 2-2 Localización de los puntos de medición para las puebas de vibración ambiental

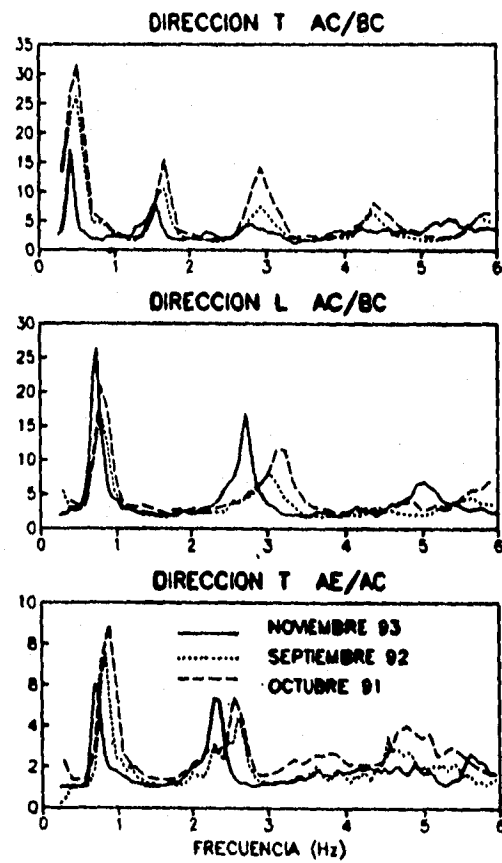


Fig 2-3 Comparación de las funciones de trasferencias entre AC/BC y AE/AC, obtenido de los registros de vibración ambiental

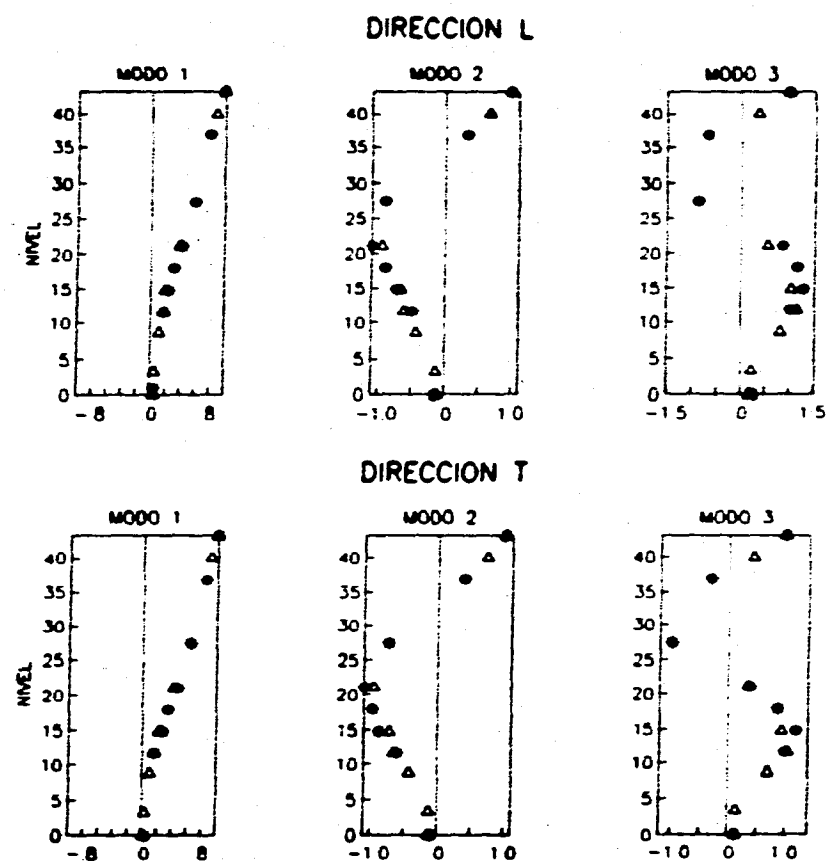


Fig 2-4 Formas modales de traslación (•-etapa 3, ▲-etapa 4)

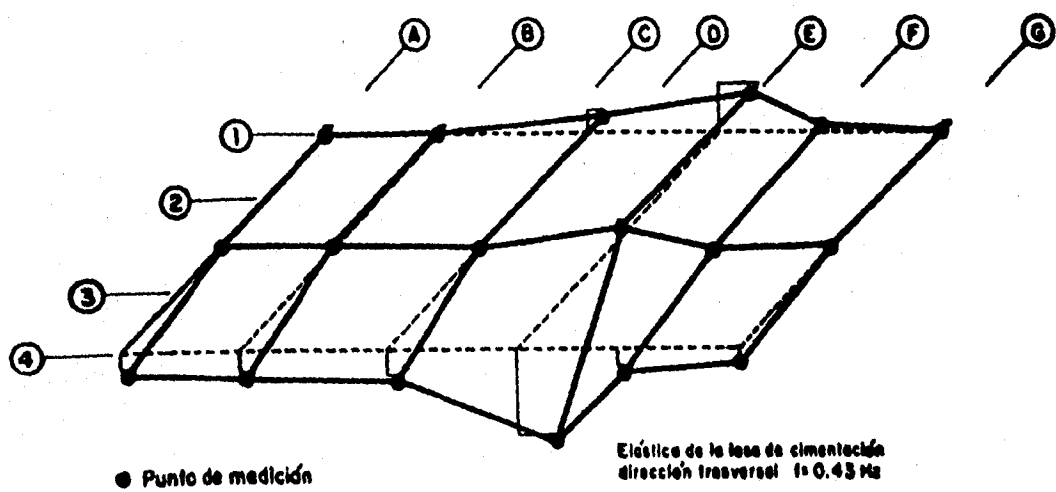


Fig 2-5 Elástica tridimensional del primer modo trasversal de la losa de cimentación

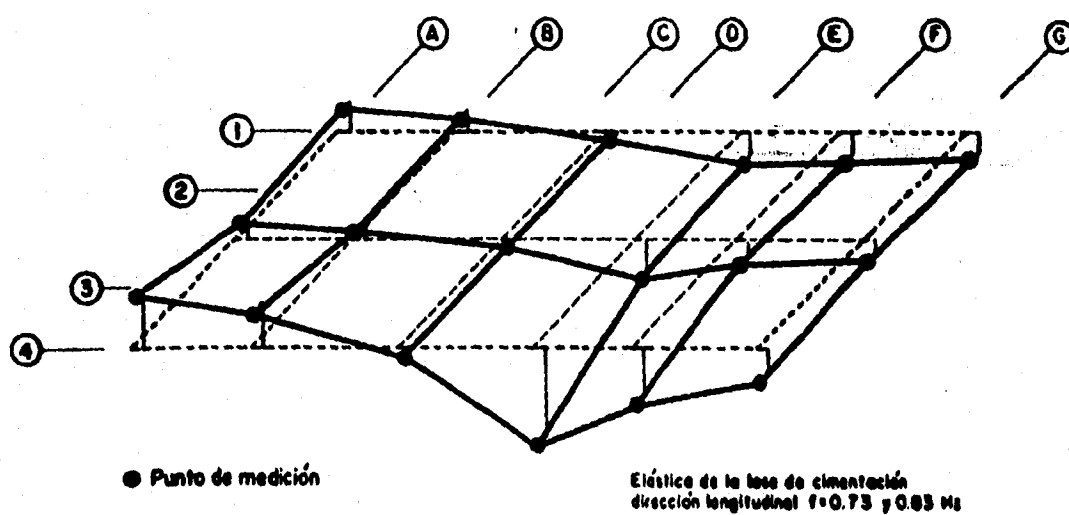


Fig 2-6 Elástica tridimensional de los modos fundamentales longitudinal y torsión de la losa de cimentación

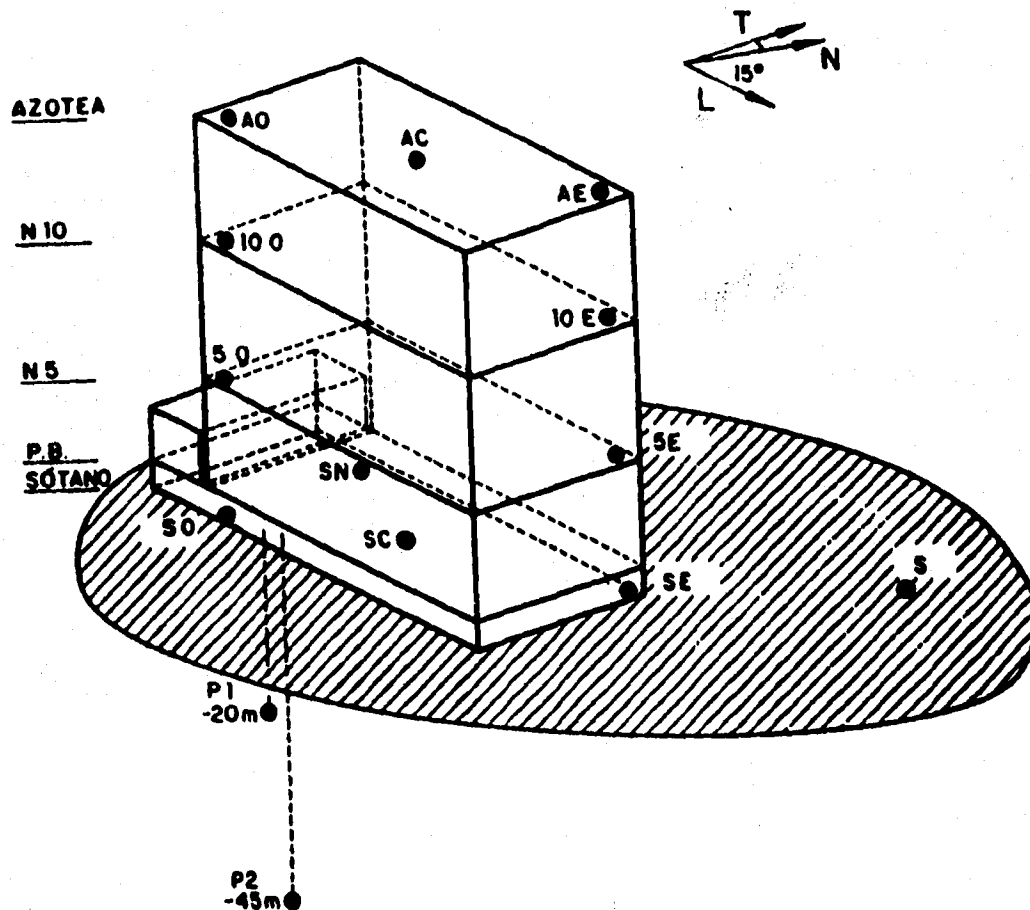


Fig 3-1 Croquis de la estructura del edificio mostrando la localización de la instrumentación

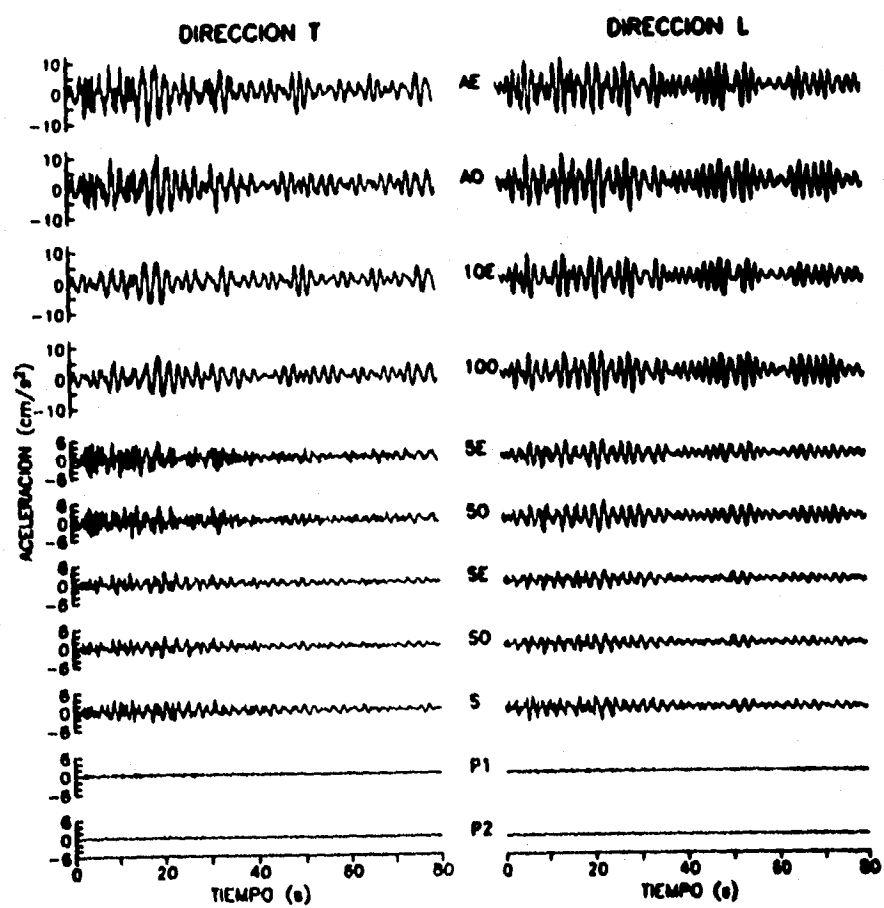


Fig 3-2 Historias de aceleración registradas en el evento 93-3

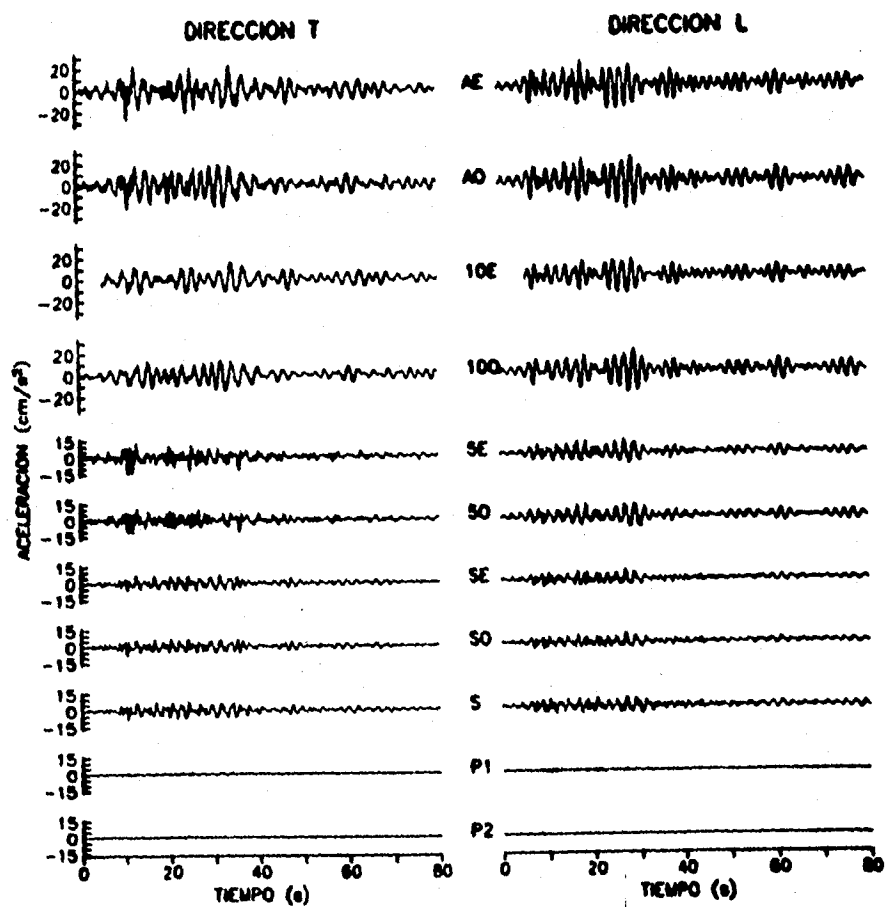


Fig 3-3 Historias de aceleración registradas en el evento 93-4

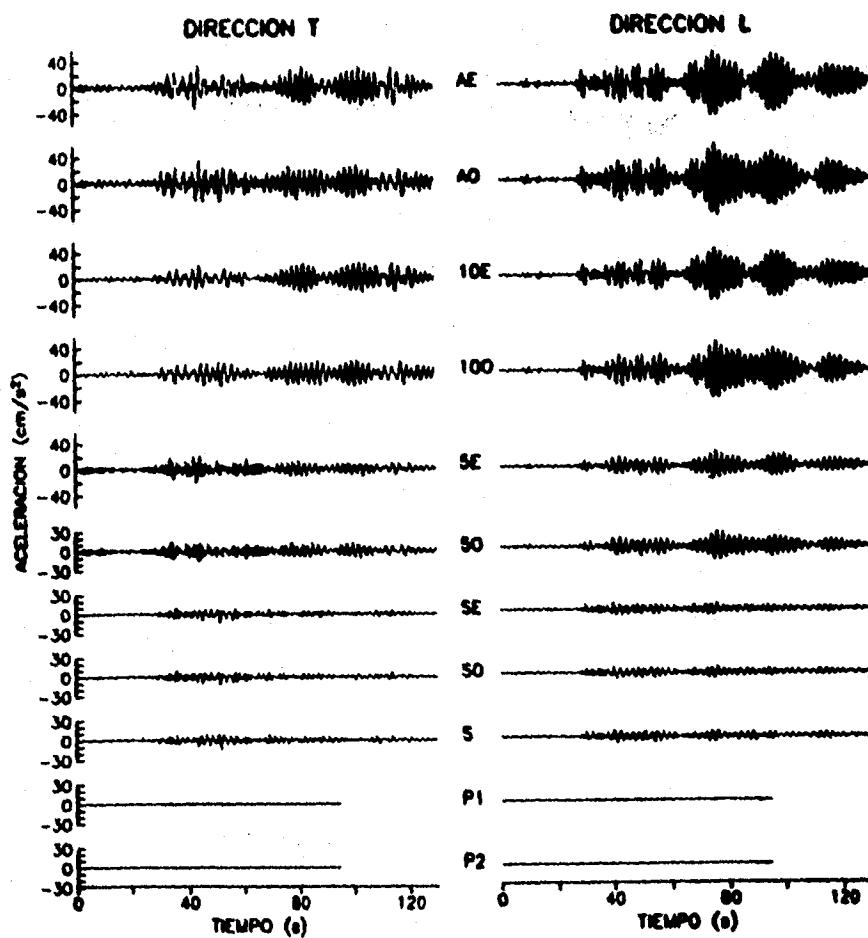
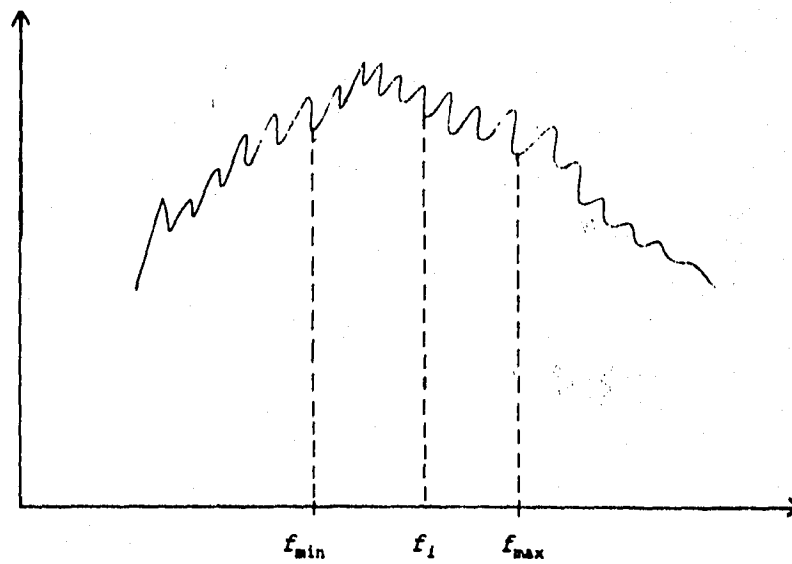


Fig 3-4 Historias de aceleración registradas en el evento 93-11



$$f_{\min} = 2^{-\frac{1}{2FS}} f_l \quad f_{\max} = 2^{\frac{1}{2FS}} f_l$$

$$A(f_l) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{f_{\min}}^{f_{\max}} A^2(f)}$$

N números de puntos
FS factor de suavizado

Fig 4-1 Promedio cuadrático con ventana móvil de $\frac{1}{FS}$ de octava

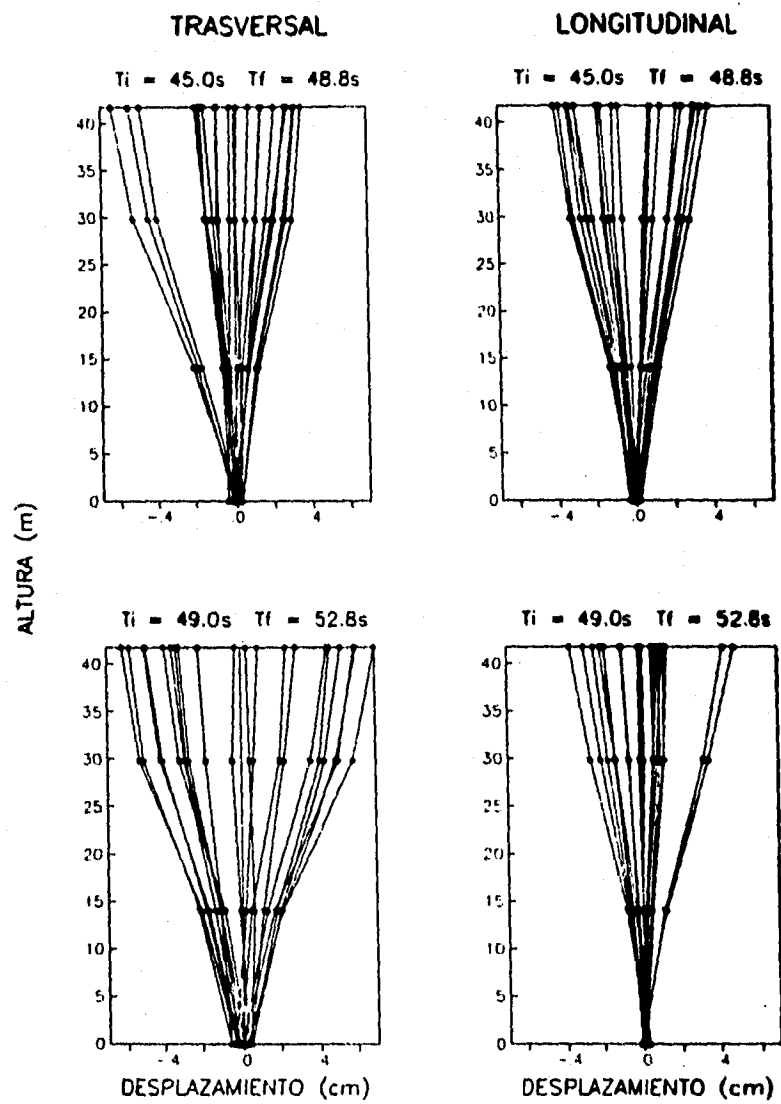


Fig 5-1 Animaciones de movimiento en desplazamiento del sismo 93-3

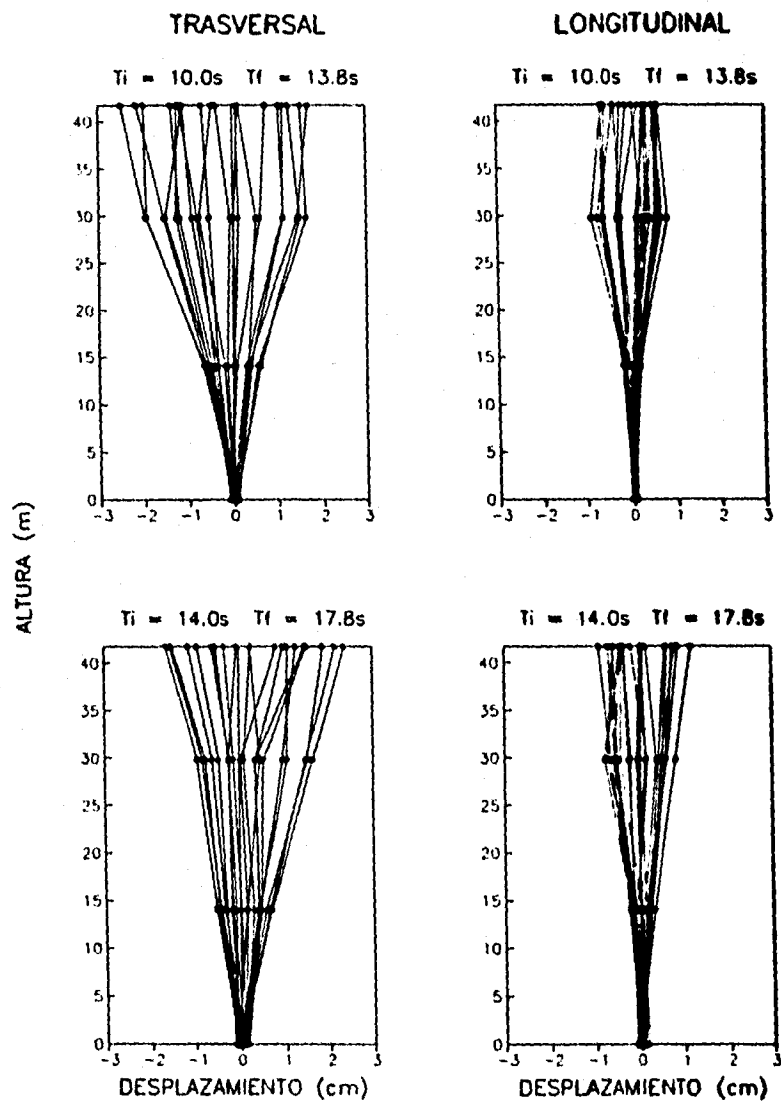


Fig 5-2 Animaciones de movimiento en desplazamiento del sismo 93-4

FALLA DE ORIGEN

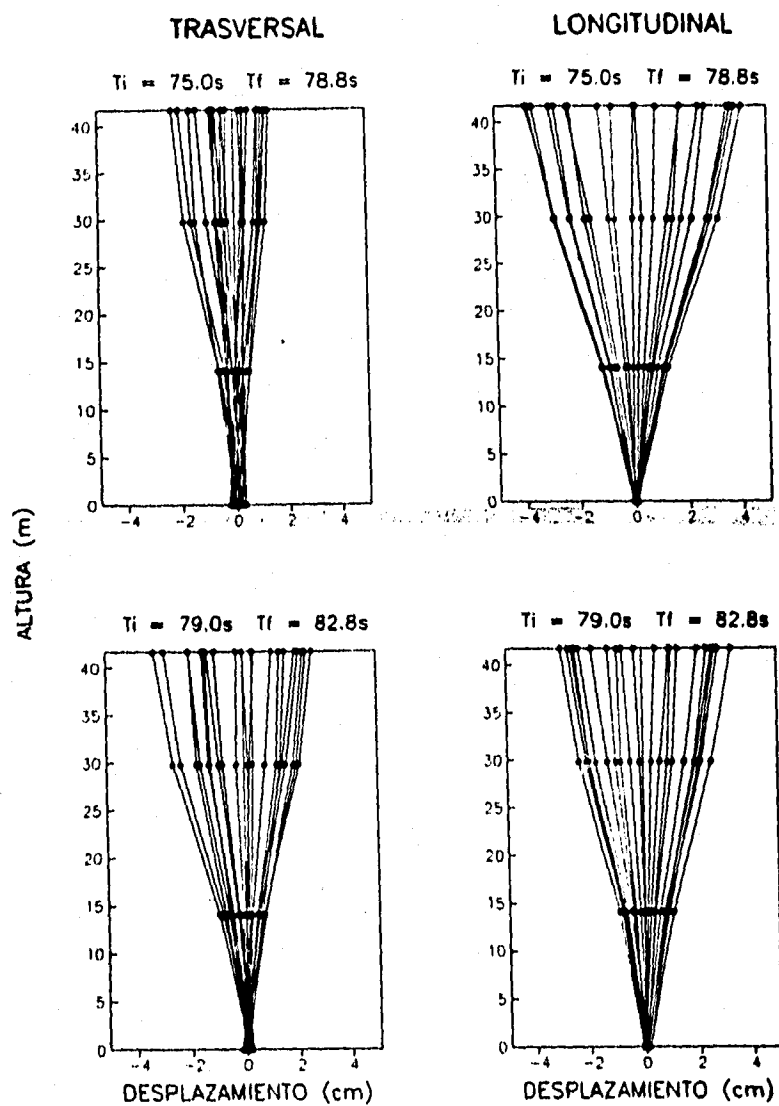


Fig 5-3 Animaciones de movimiento en desplazamiento del sismo 93-11

FALLA DE ORIGEN

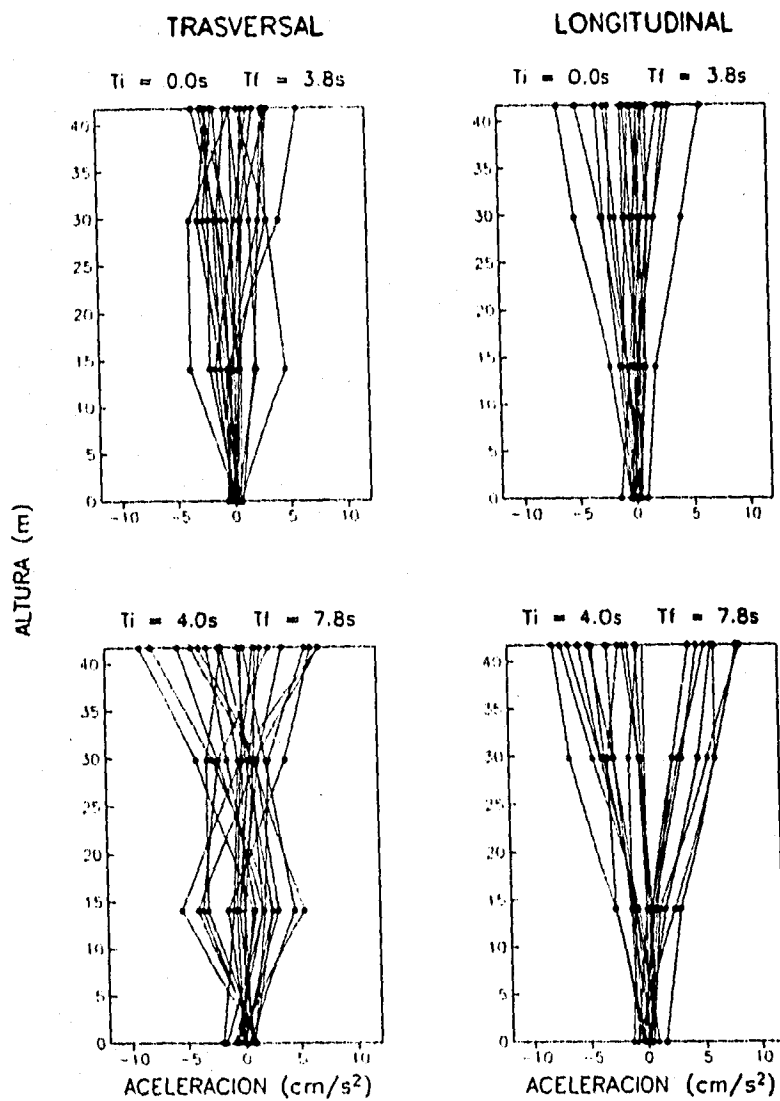


Fig 5-4 Animaciones de movimiento en aceleración del sismo 93-3

FALLA DE ORIGEN

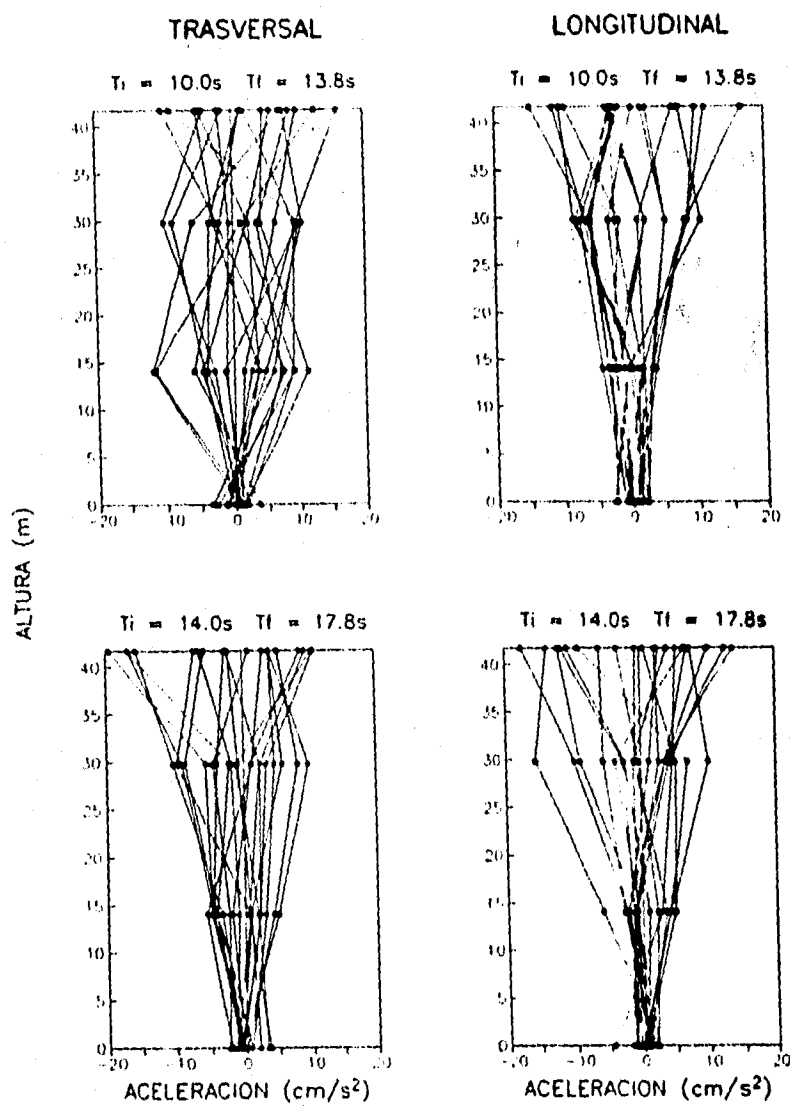


Fig 5-5 Animaciones de movimiento en aceleración del sismo 93-4

FALLA DE ORIGEN

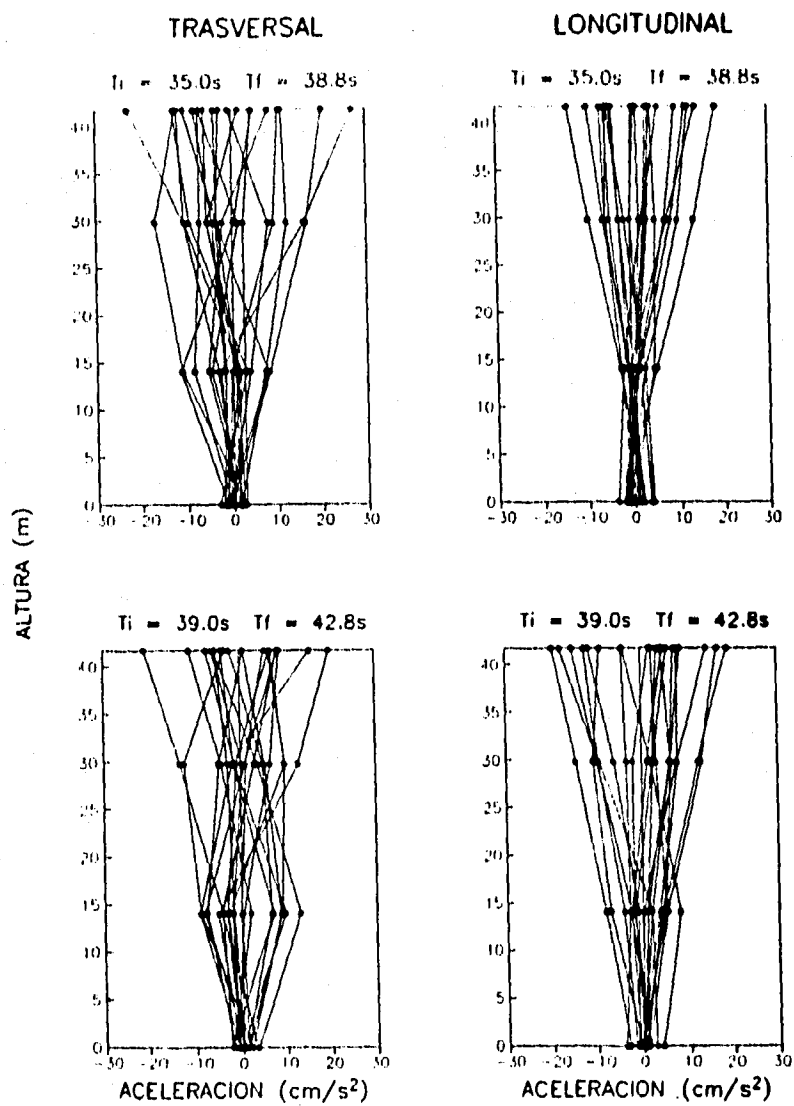


Fig 5-6 Animaciones de movimiento en aceleración del sismo 93-11

FALLA DE ORIGEN

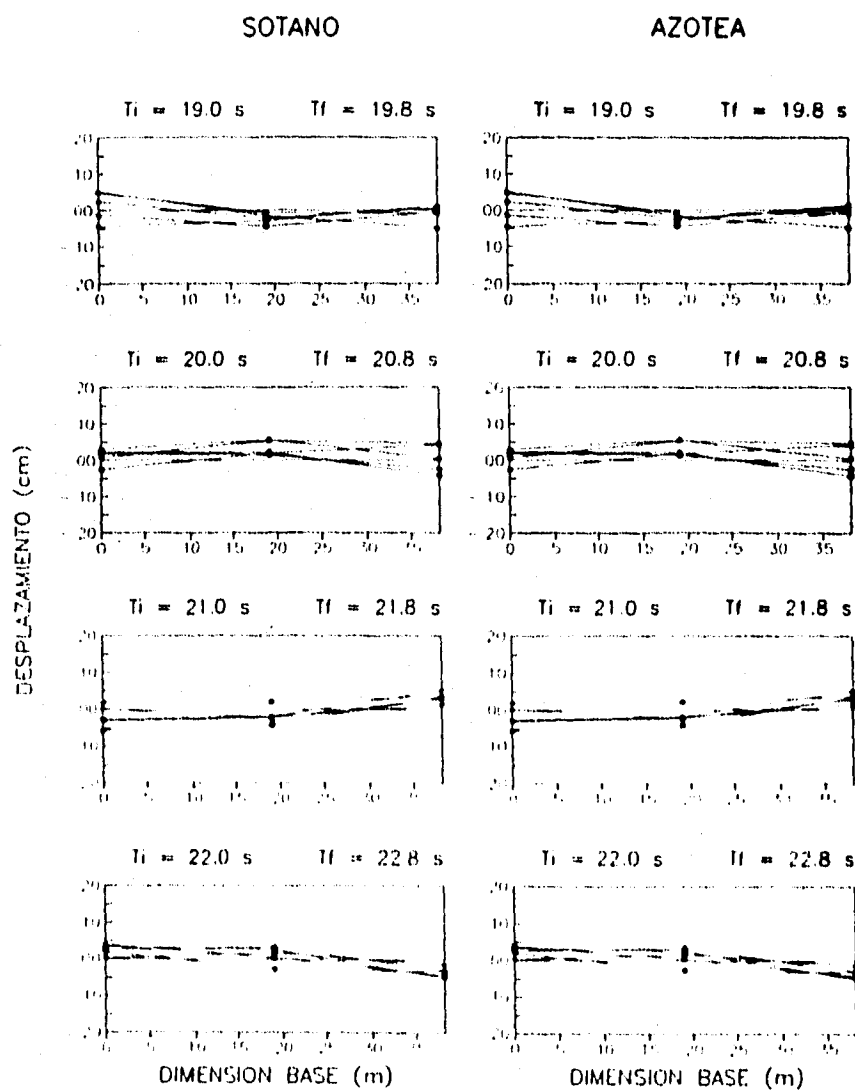


Fig 5-7 Animaciones de movimiento vertical en desplazamiento del sismo 93-3

FALLA DE ORIGEN

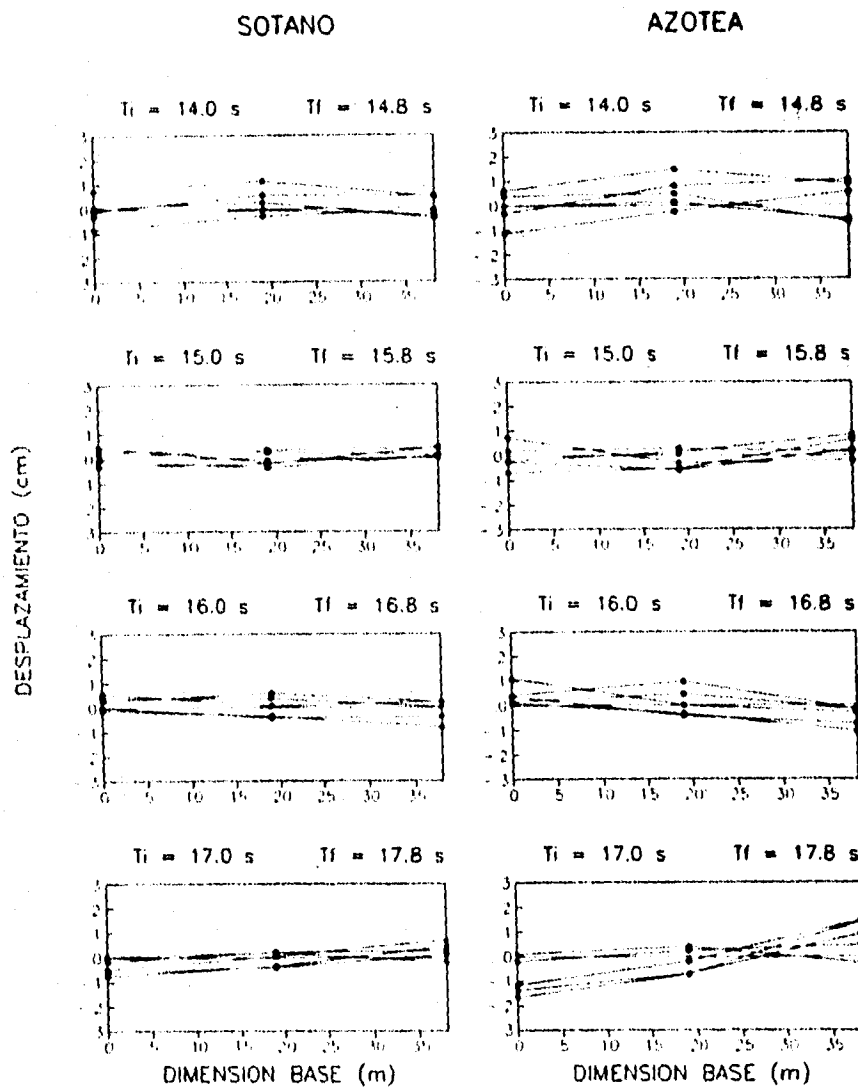


Fig 5-8 Animaciones de movimiento vertical en desplazamiento del sismo 93-4

FALLA DE ORIGEN

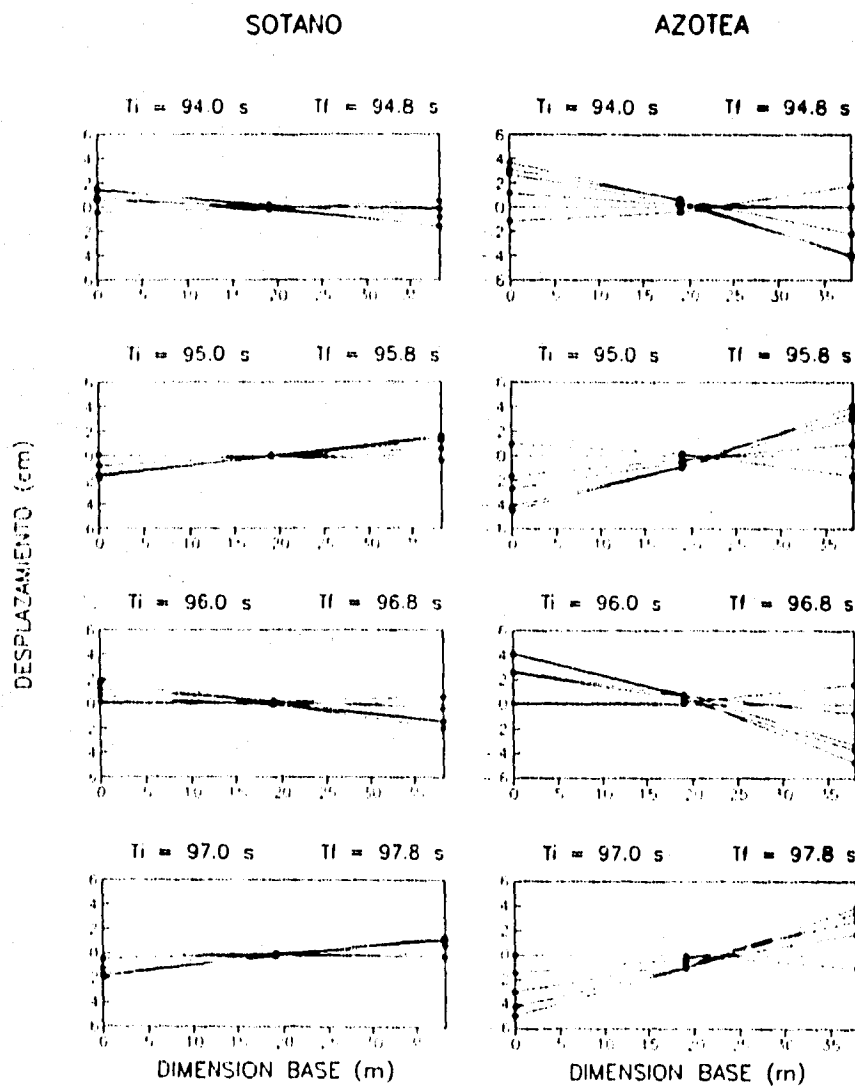


Fig 5-9 Animaciones de movimiento vertical en desplazamiento del sismo 93-11

FALLA DE ORIGEN

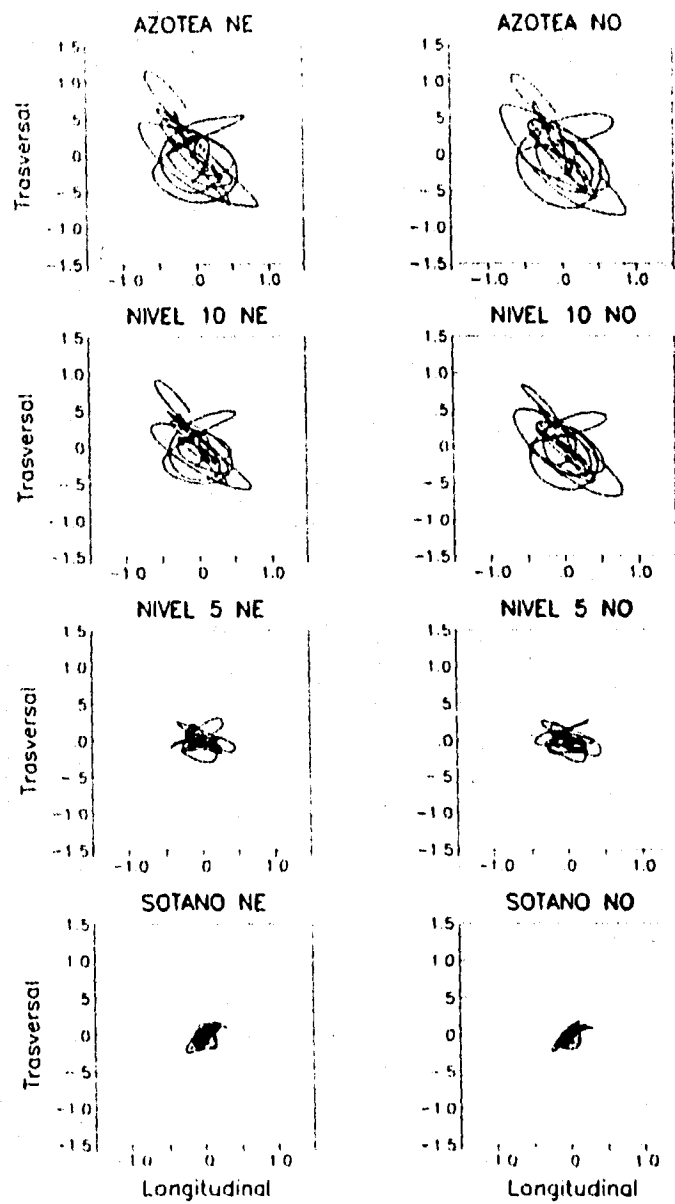


Fig 5-10 Trayectorias de desplazamiento horizontal durante el evento 93-3

FALLA DE ORIGEN

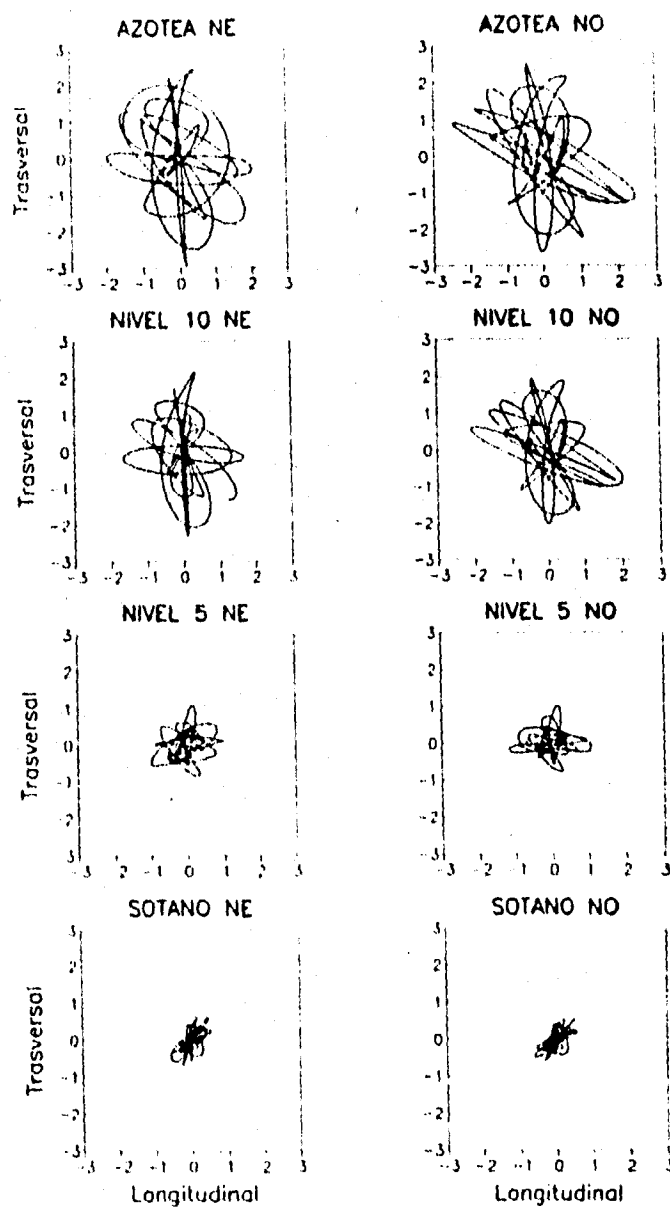


Fig 5-11 Trayectorias de desplazamiento horizontal durante el evento 93-4

FALLA DE ORIGEN

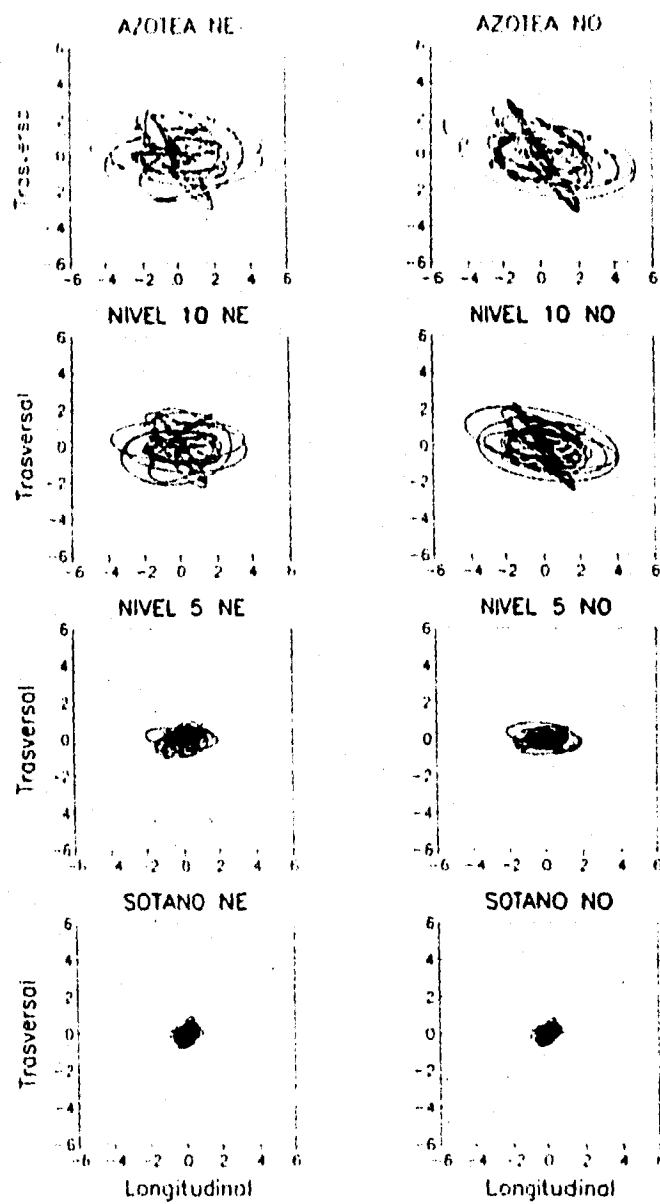


Fig 5-12 Trayectorias de desplazamiento horizontal durante el evento 93-11

FALLA DE ORIGEN

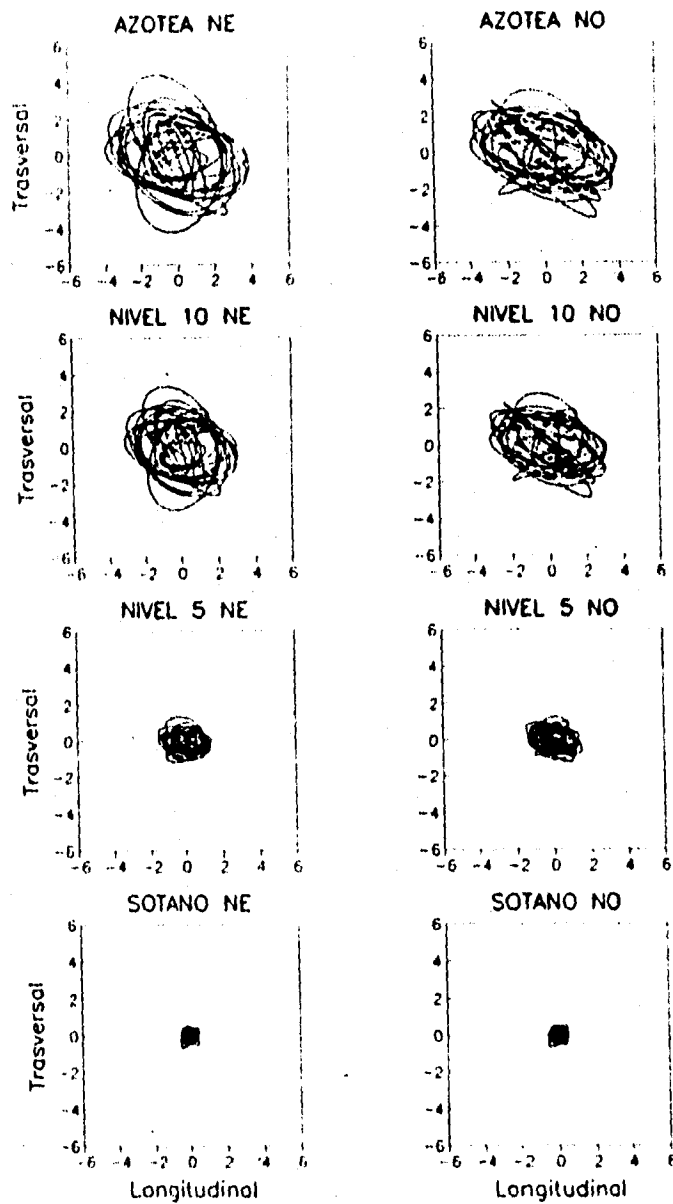


Fig 5-13 Trayectorias de desplazamiento horizontal durante el evento 93-11

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

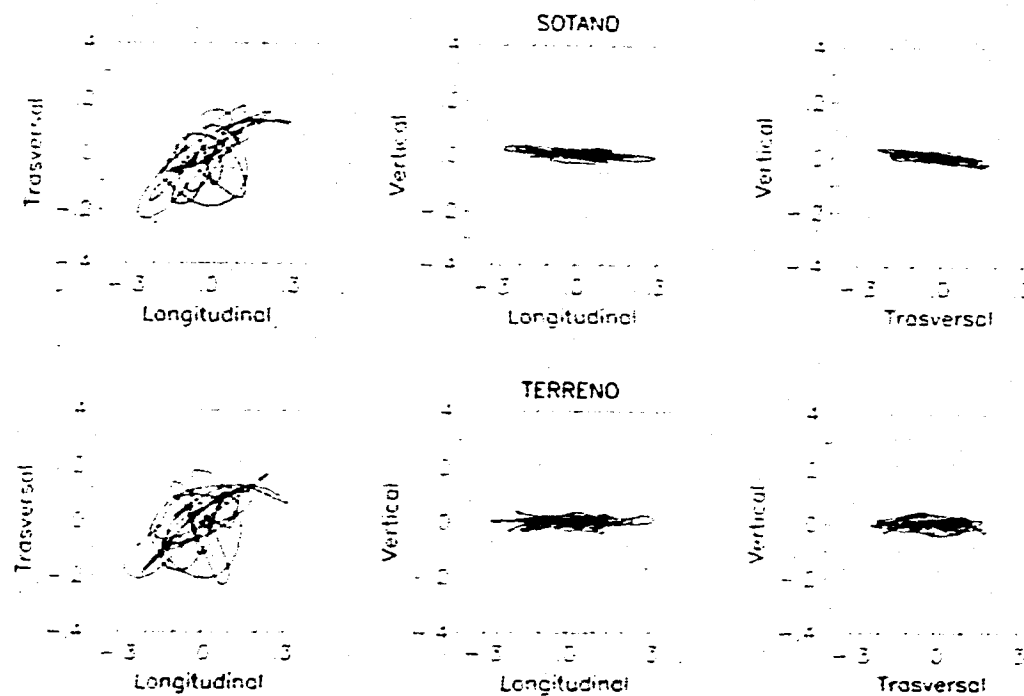


Fig 5-14 Trayectorias de desplazamiento en el plano vertical durante el evento 93-3

FALLA DE ORIGEN

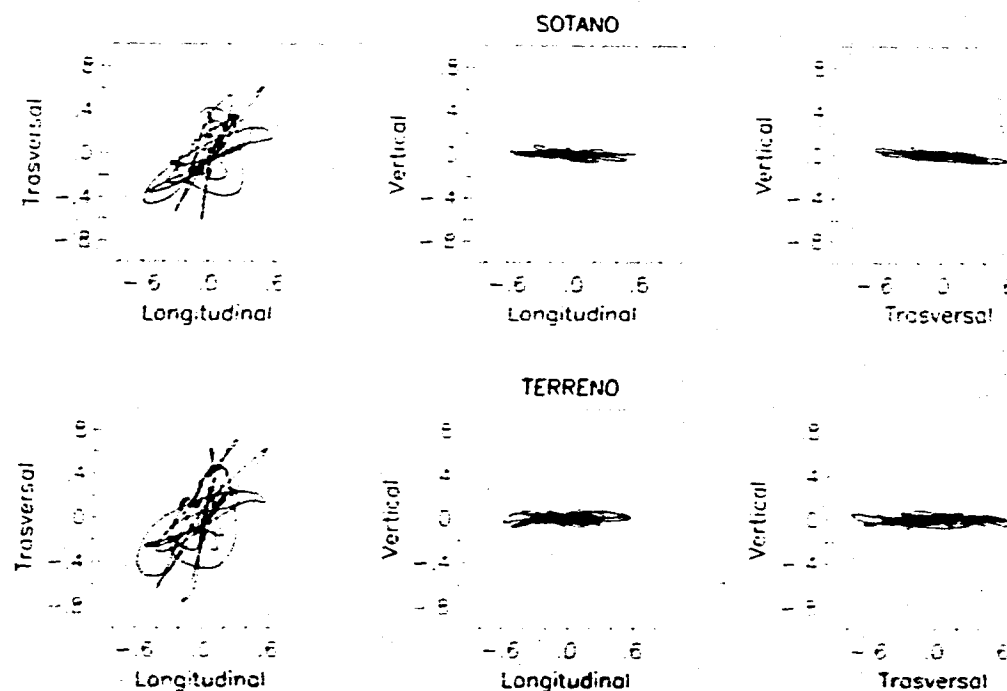


Fig 5-15 Trayectorias de desplazamiento en el plano vertical durante el evento 93-4

FALLA DE ORIGEN

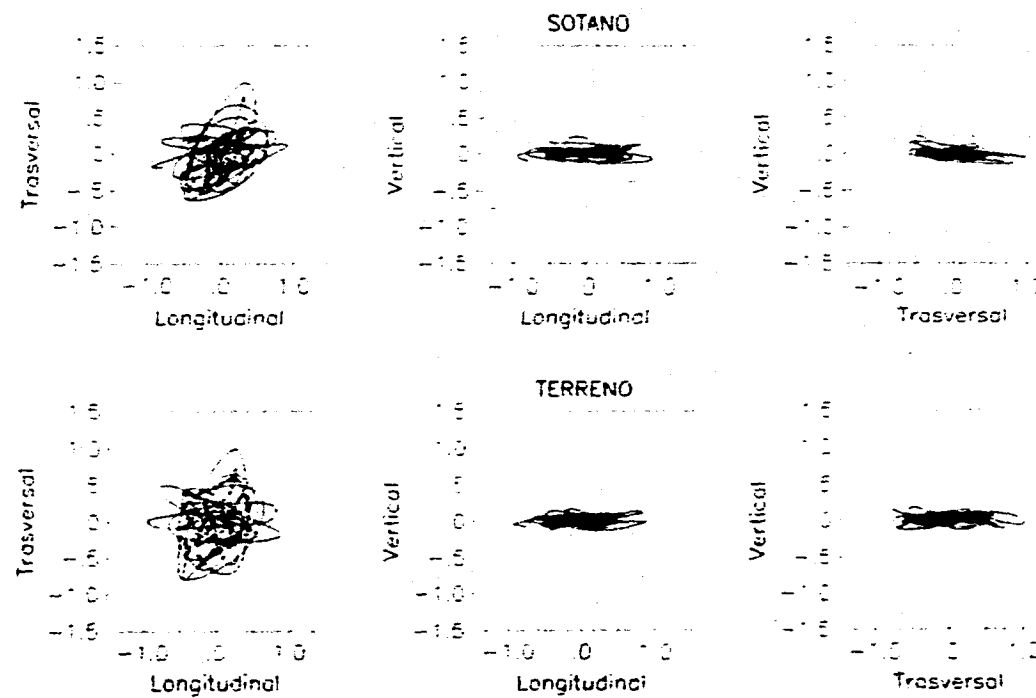


Fig 5-16 Trayectorias de desplazamiento en el plano vertical durante el evento 93-11

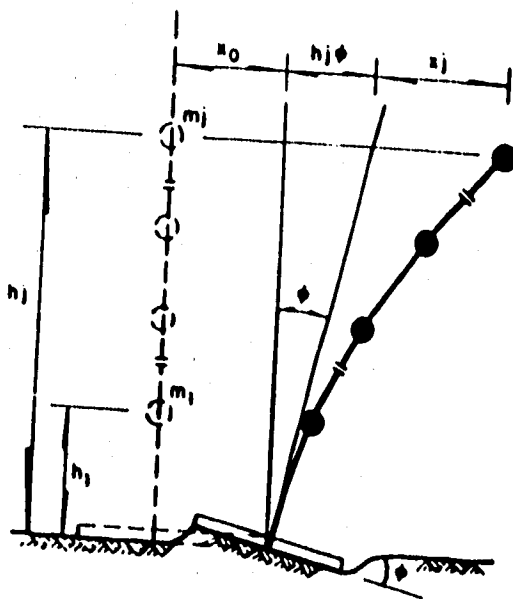


Fig 5-17 Idealización del sistema suelo-estructura

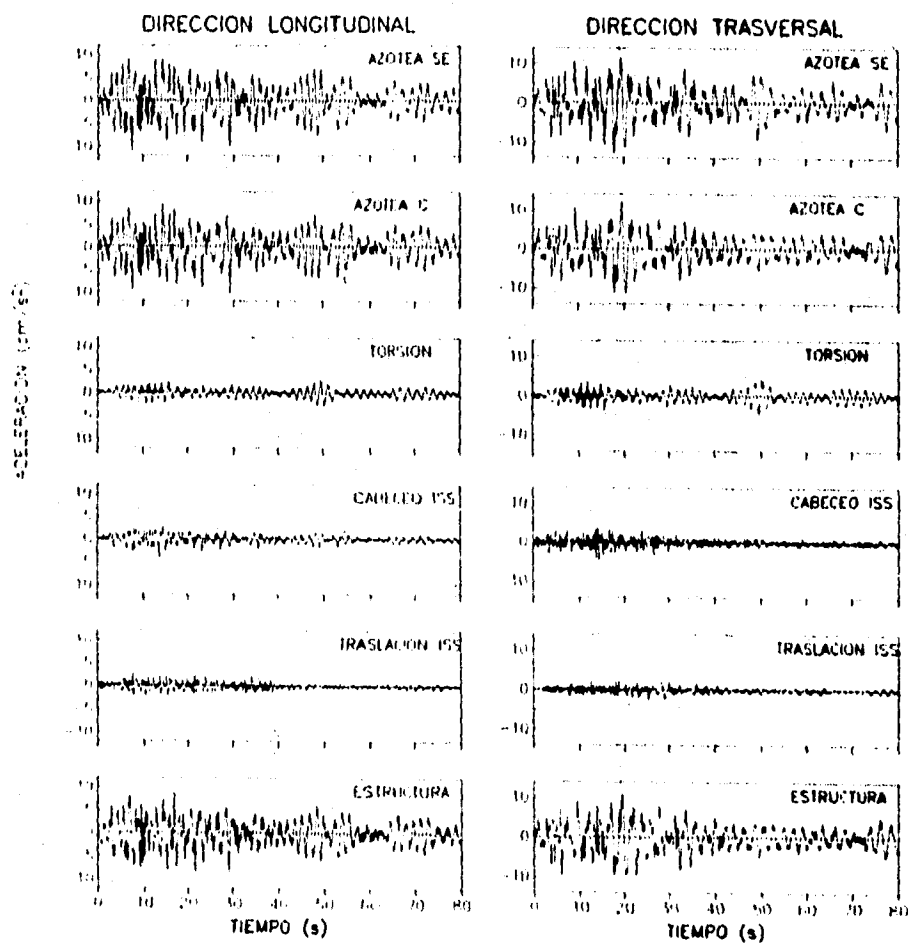


Fig 5-18 Historias de aceleración del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-3

FALLA DE ORIGEN

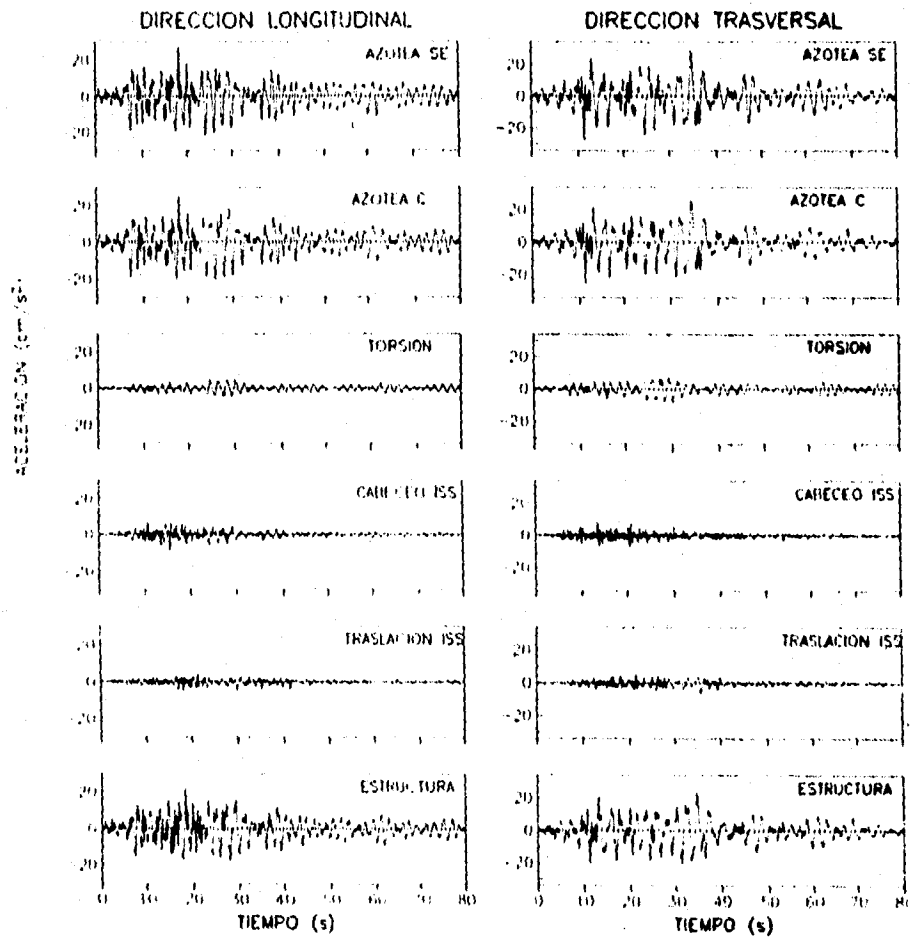


Fig 5-19 Historias de aceleración del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-4

FALLA DE ORIGEN

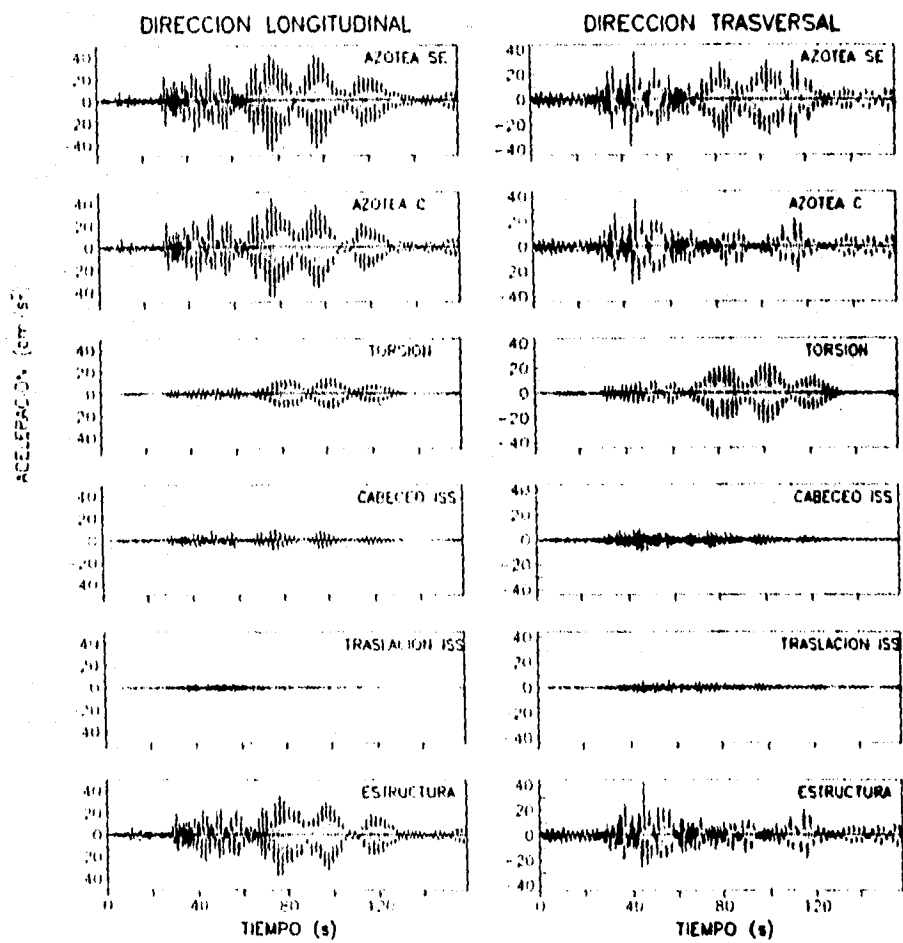


Fig 5-20 Historias de aceleración del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-11

FALLA DE ORIGEN

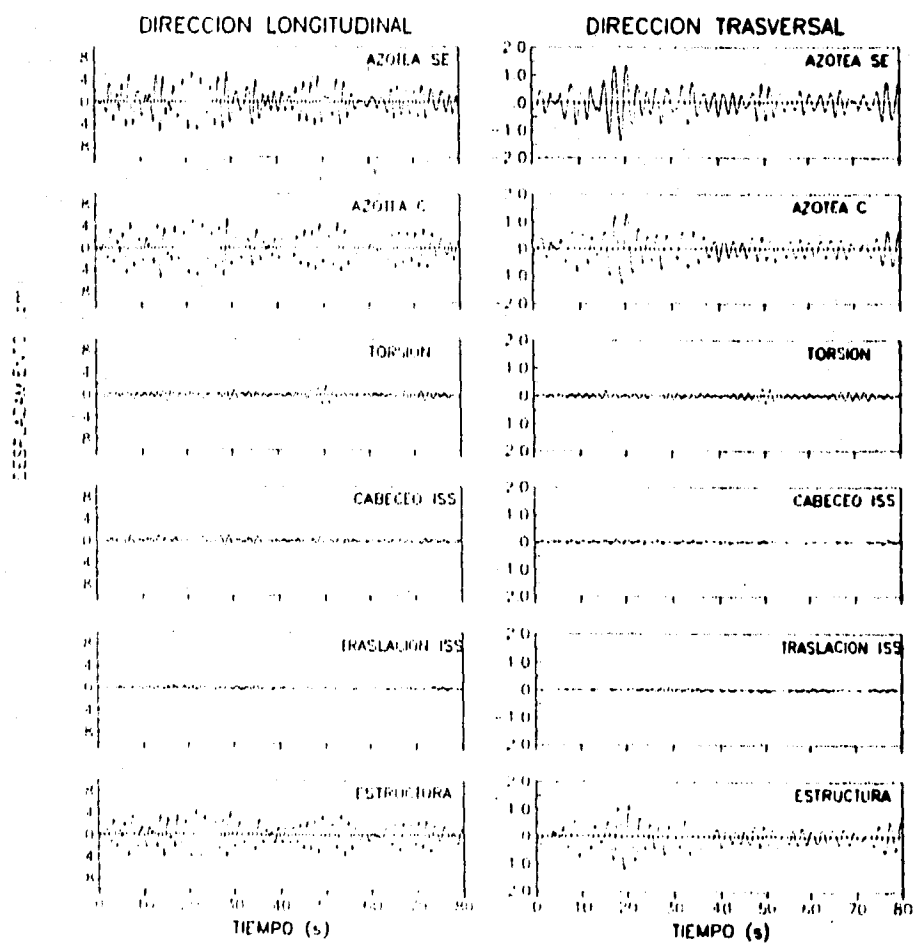


Fig 5 21 Historias de desplazamiento del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-3

FALLA DE ORIGEN

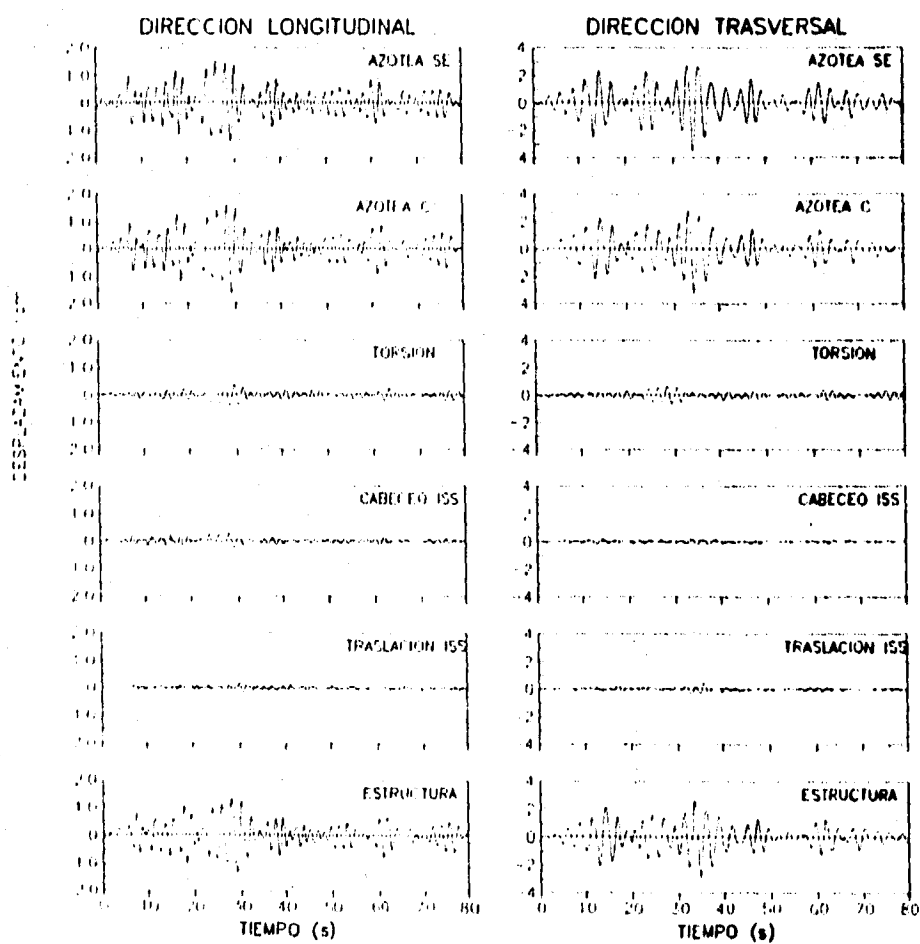


Fig 5-22 Historias de desplazamiento del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-4

FALLA DE ORIGEN

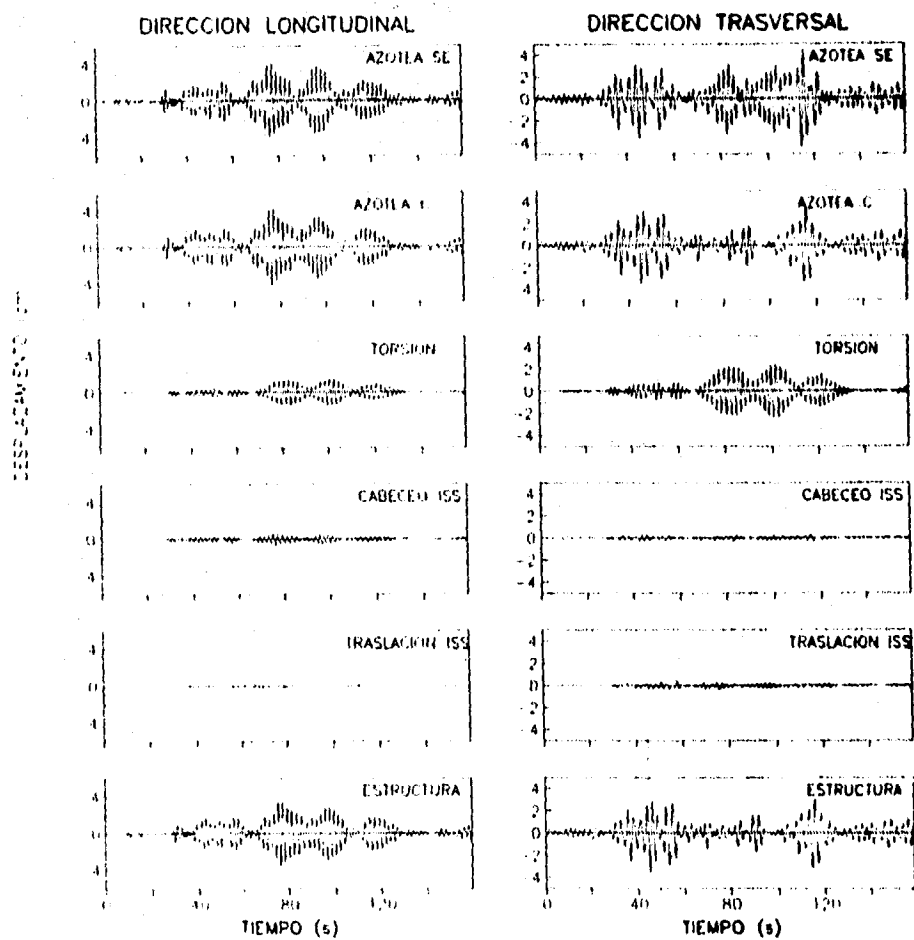


Fig 5-23 Historias de desplazamiento del sistema suelo-estructura, registrada para el evento 93-11

FALLA DE ORIGEN

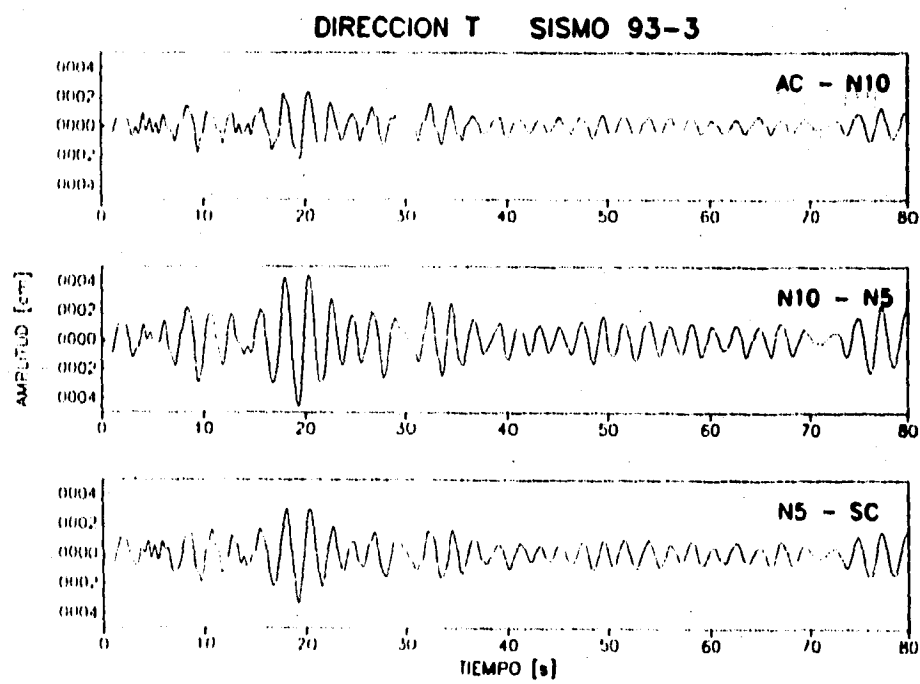


Fig 5-24 Historias de distorsiones, en dirección T para el sismo 93-3

FALLA DE ORIGEN

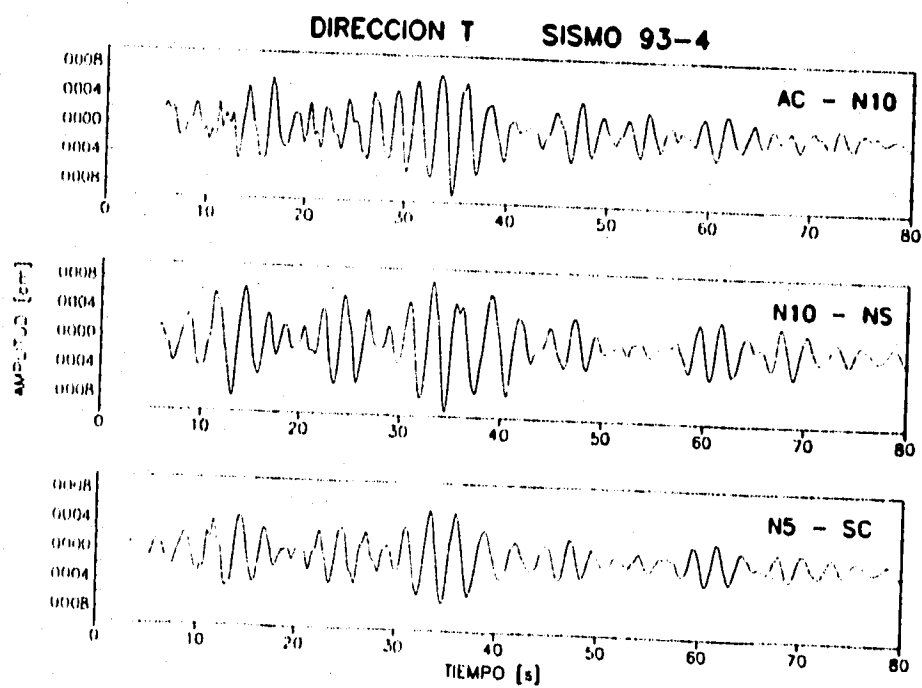


Fig 5-25 Historias de distorsiones, en dirección T para el sismo 93-4

FALLA DE ORIGEN

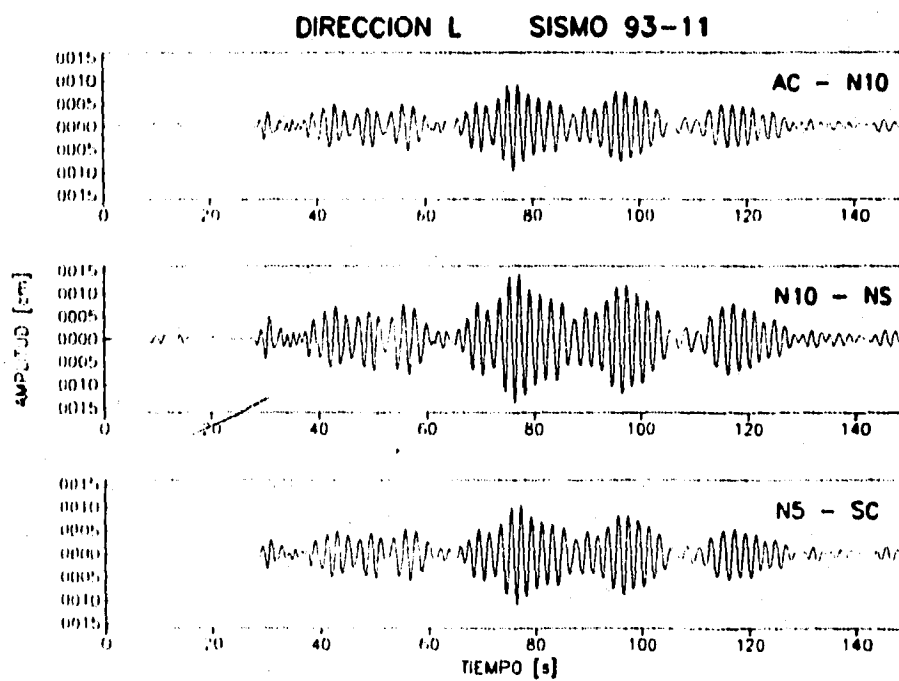


Fig 5-26 Historias de distorsiones, en dirección L para el sismo 93-11

FALLA DE ORIGEN

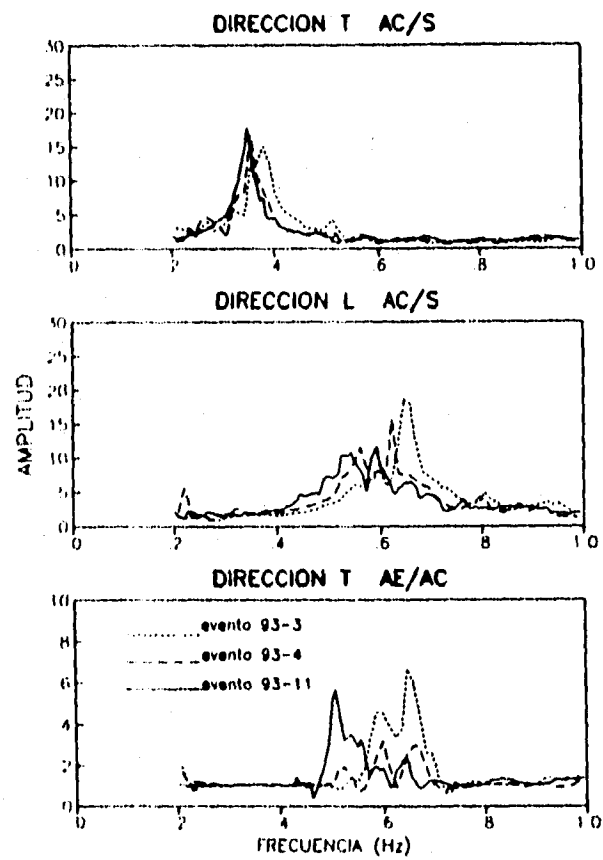


Fig 5-27 Comparación de las funciones de trasferencia entre AC/S y AE/AC, obtenidas de los registros sísmicos.

FALLA DE ORIGEN

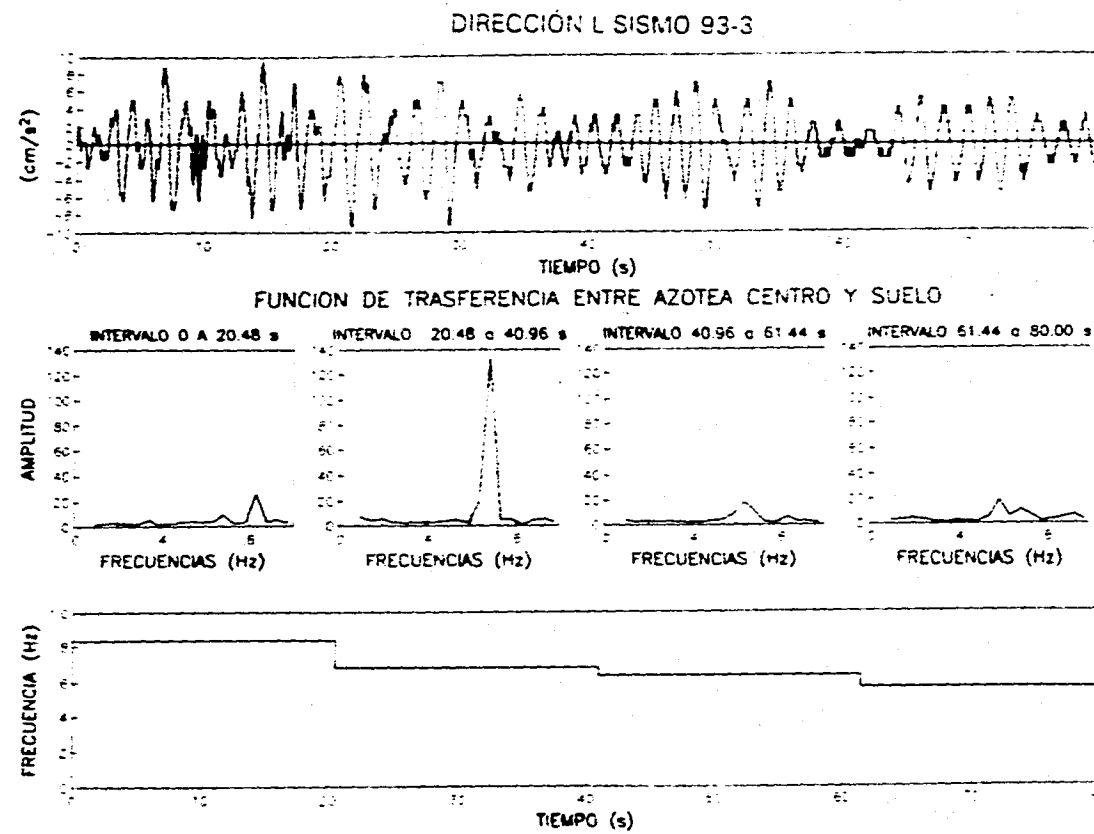


Fig 5-28 Análisis espectral por ventanas, para el evento 93-3 y en dirección L

FALLA DE ORIGEN

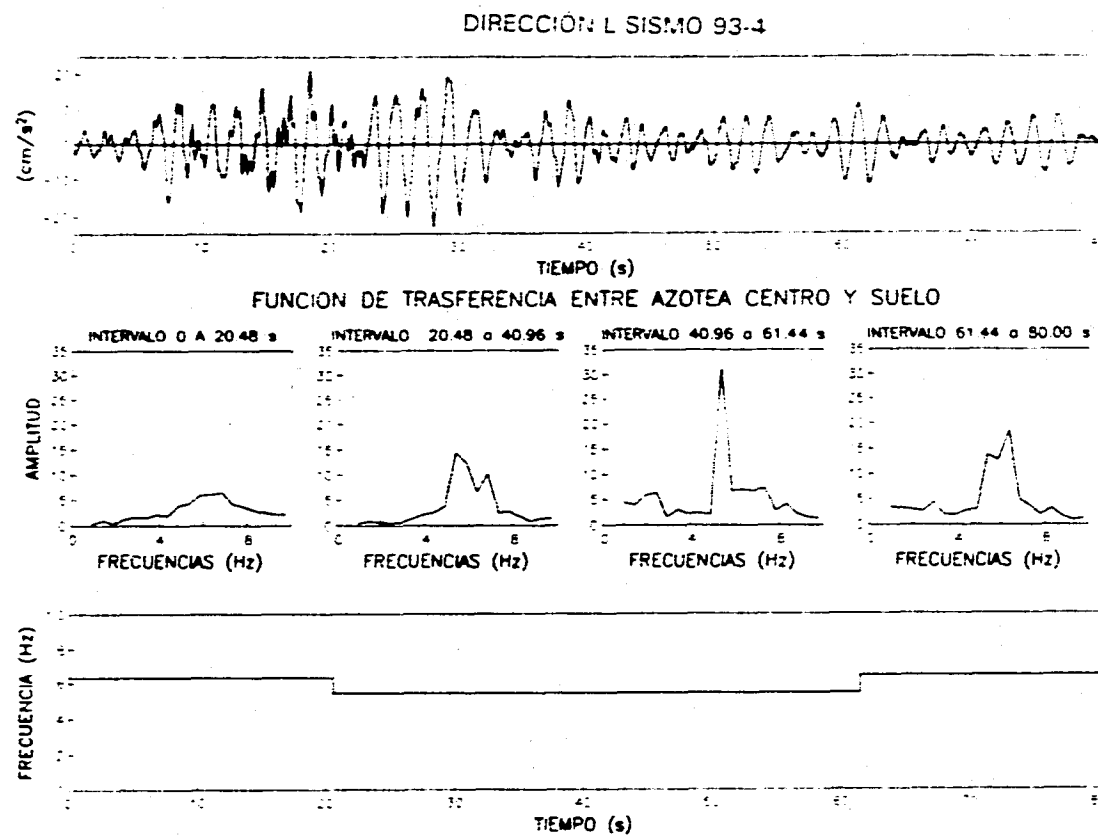


Fig 5-29 Análisis espectral por ventanas. para el evento 93-4 y en direccion L

FALLA DE ORIGEN

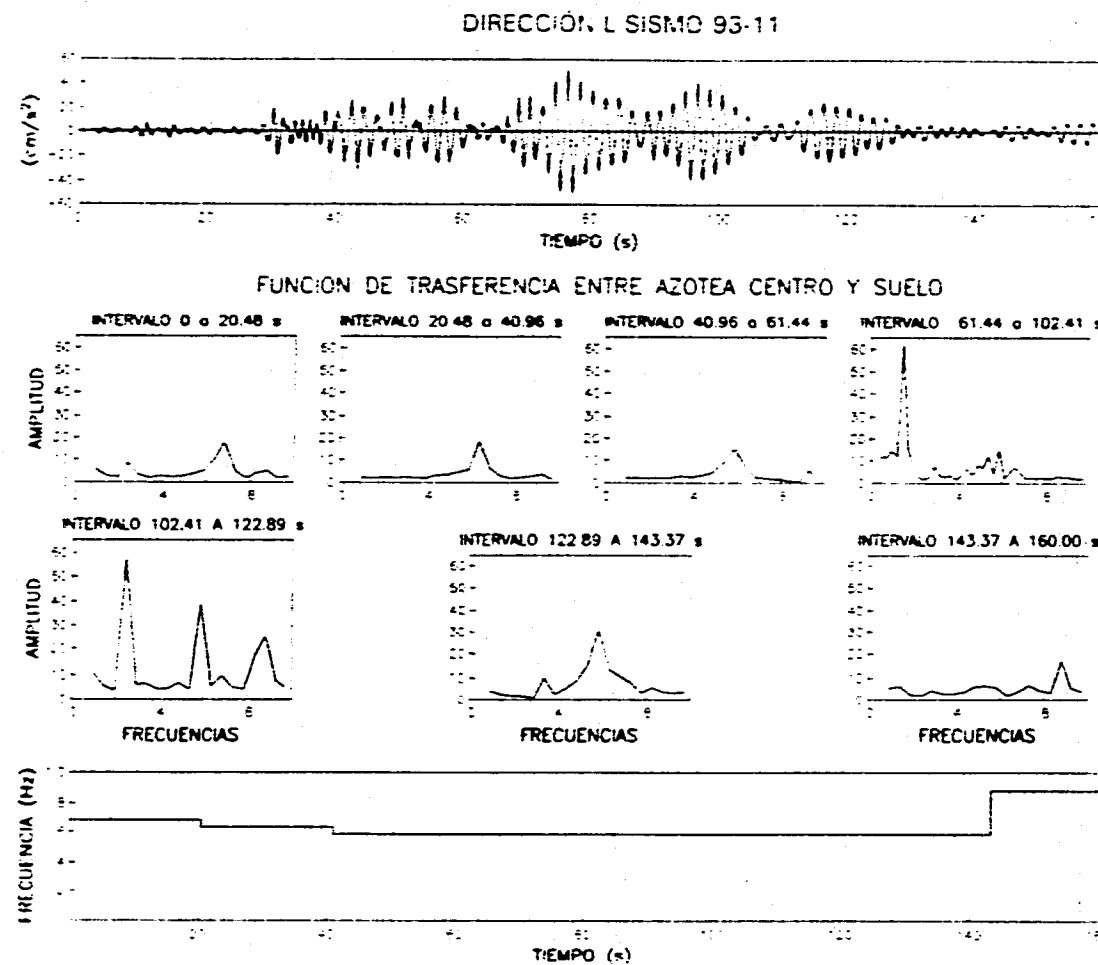


Fig 5-30 Análisis espectral por ventanas, para el evento 93-11 y en direccion L

FALLA DE ORIGEN

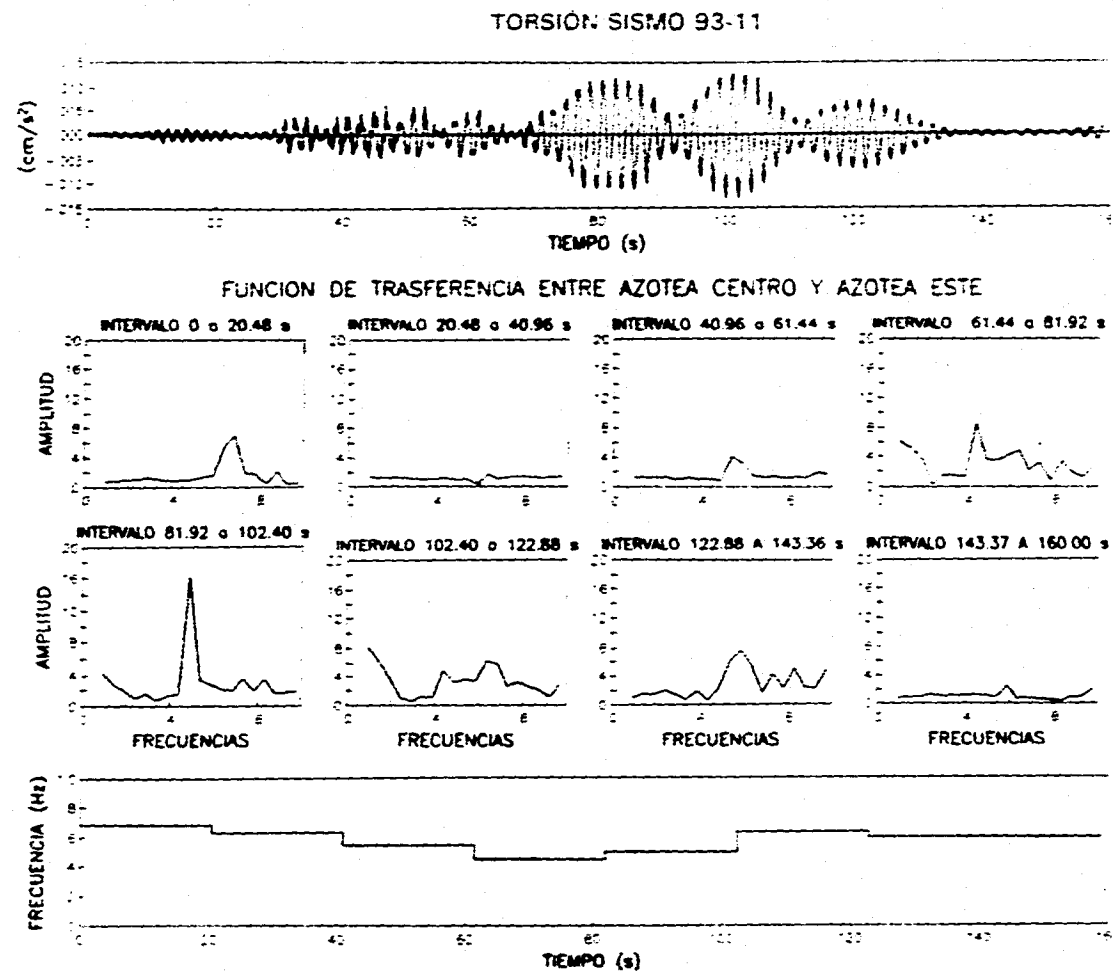


Fig 5-31 Análisis espectral por ventanas, para el evento 93-11 y en torsión

FALLA DE ORIGEN

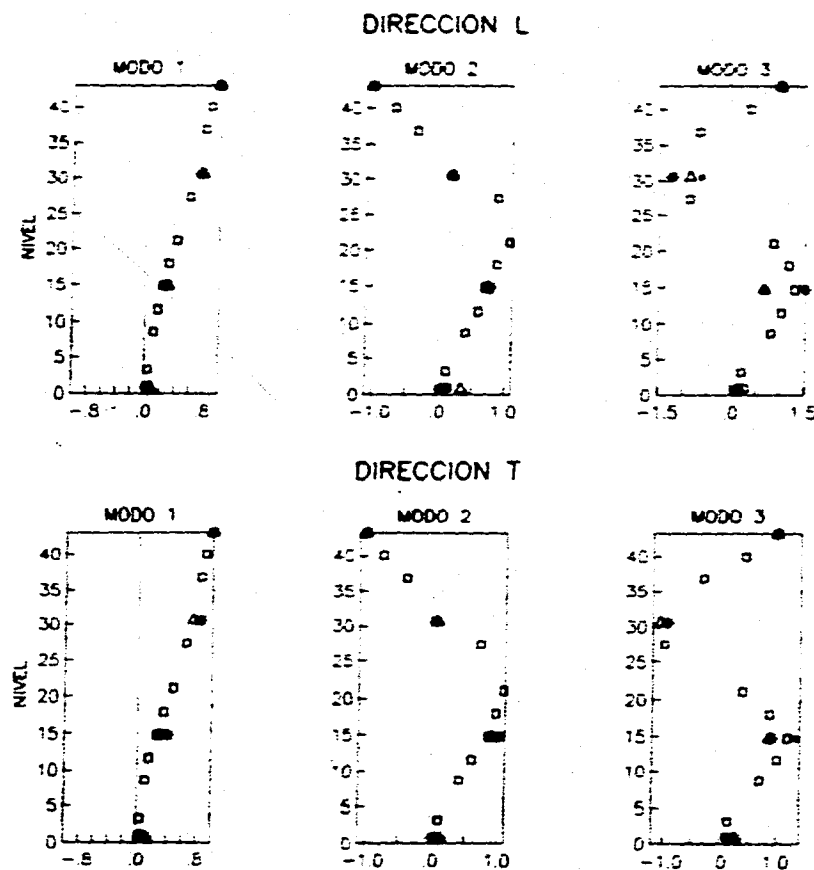


Fig 5-32 Formas modales de traslación (• Evento 93-3, ▲ Evento 93-4, • Evento 93-11, □ V.A)

FALLA DE ORIGEN

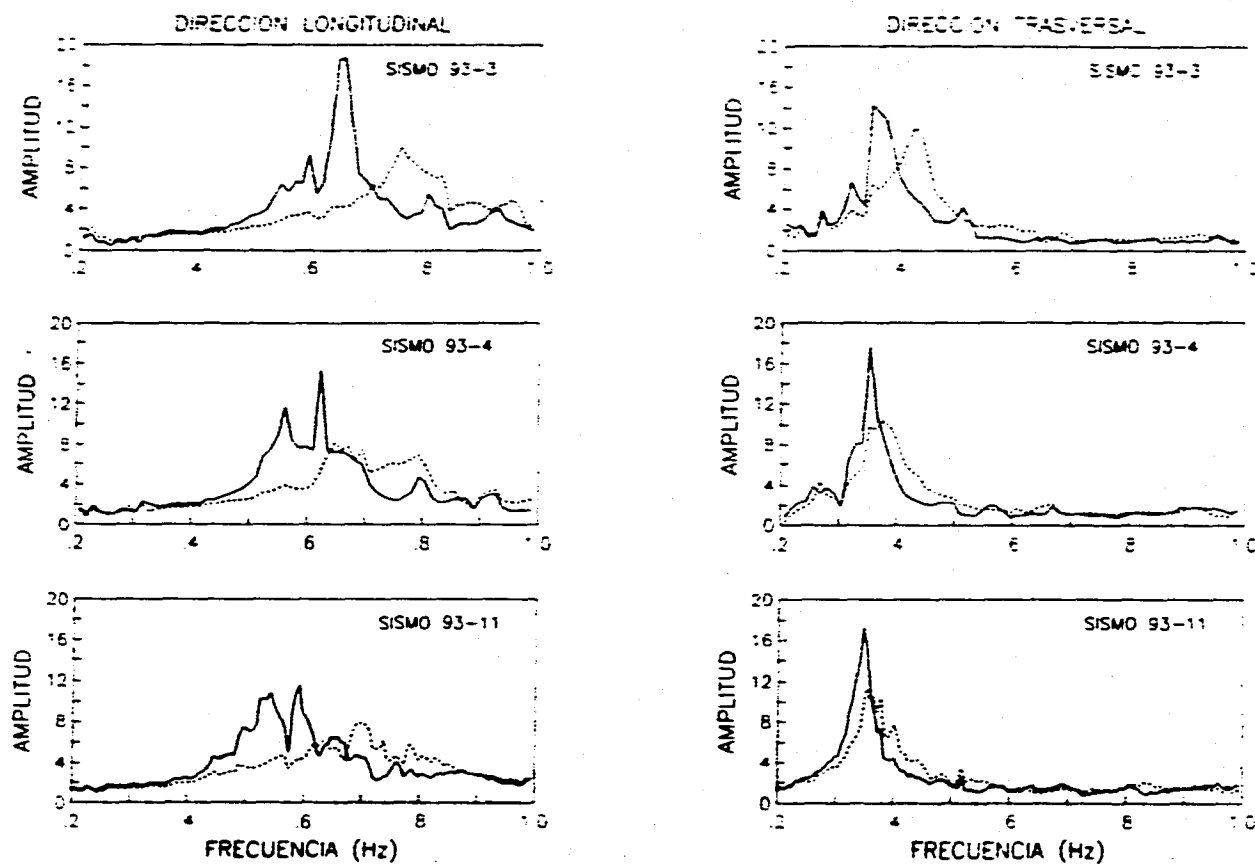


Fig 5-33 Funciones de trasferencia para identificar la frecuencias con base empotrada. La línea continua corresponde a la obtenida entre los registros de azotea centro y suelo, y la línea discontinua al cociente $X_{a1}/(X_{a1}-X_{a2})$

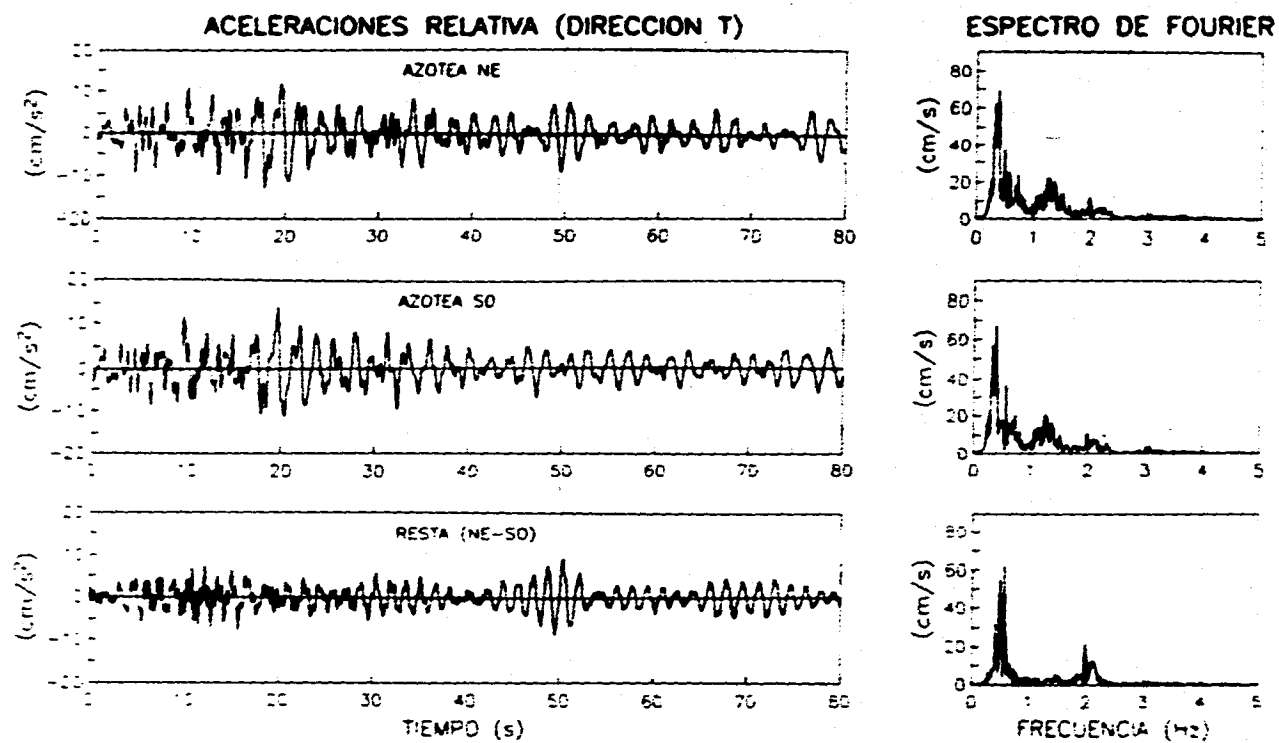


Fig 5-34 Historias de aceleración, espectros de Fourier de Azotea Este, Azotea Oeste y de torsión del sismo 93-3

FALLA DE ORIGEN

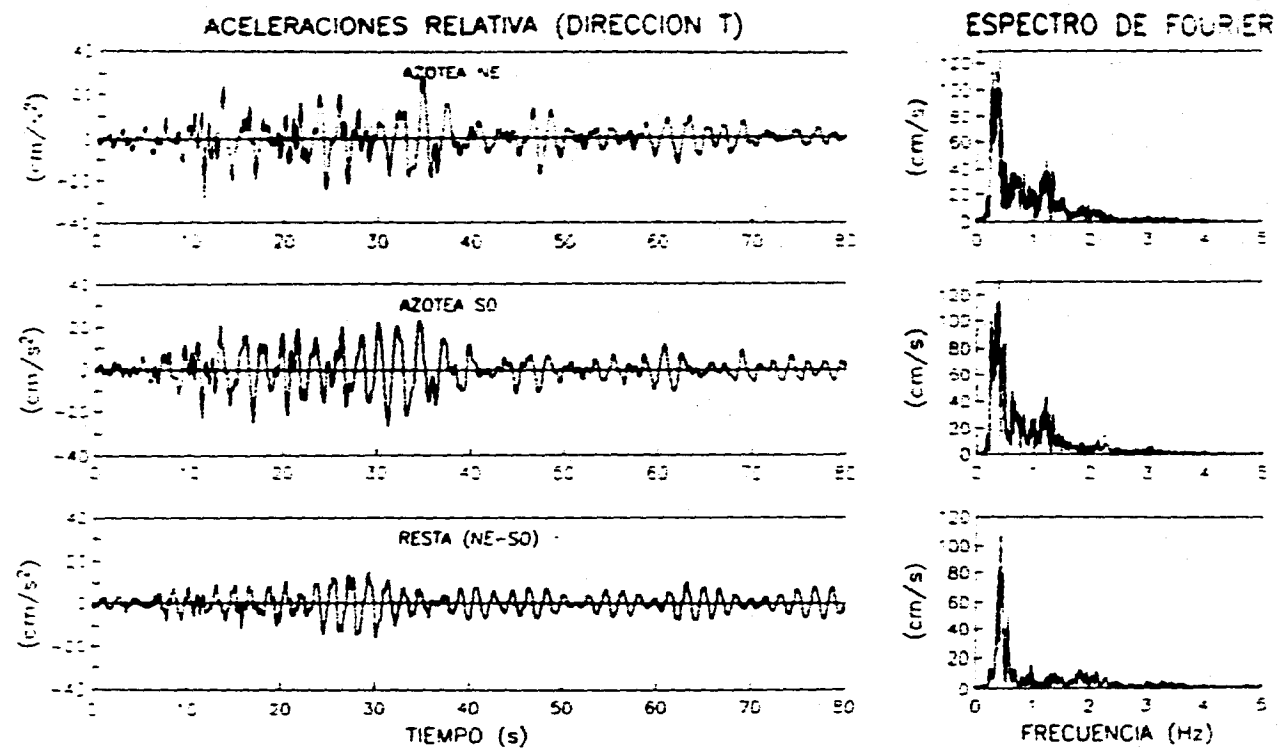


Fig 5-35 Historias de aceleración, espectros de Fourier de Azotea Este, Azotea Oeste y de torsión del sismo 93-4

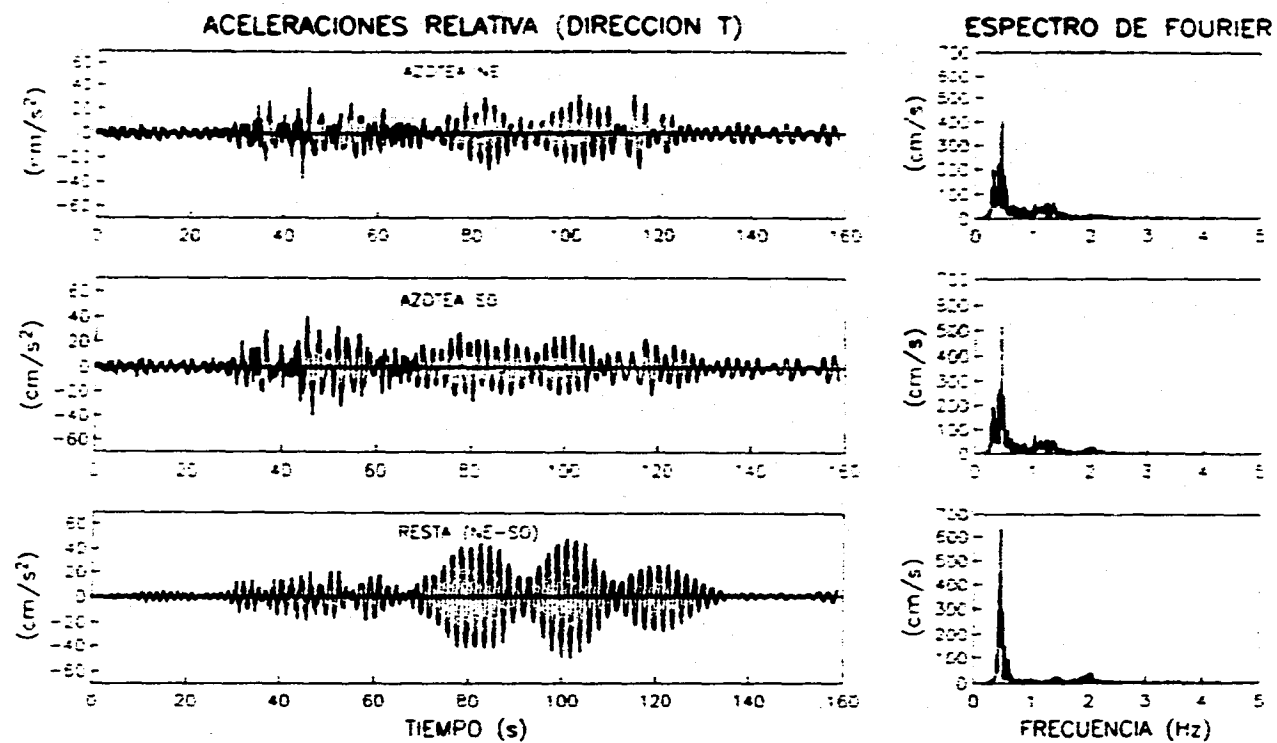
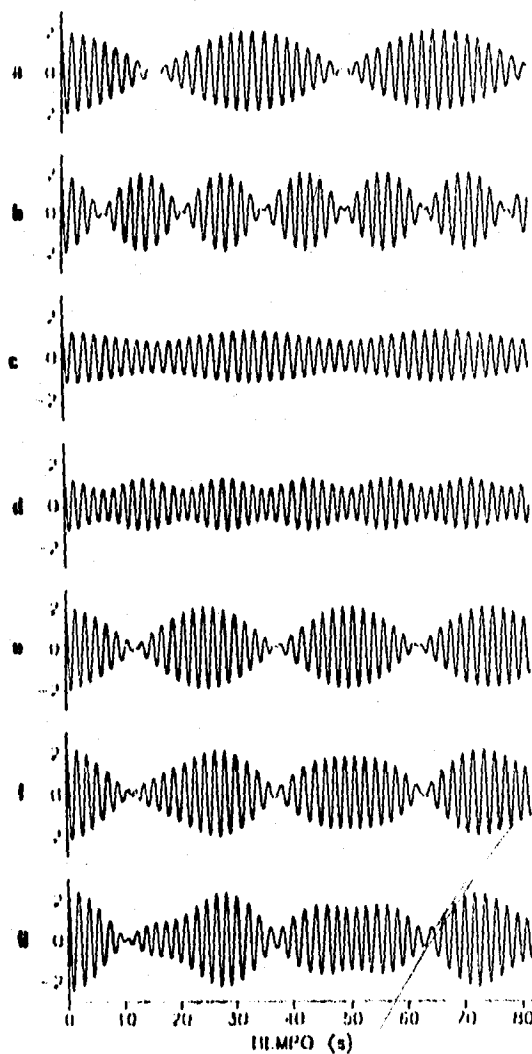


Fig 5-36 Historias de aceleración, espectros de Fourier de Azotea Este, Azotea Oeste y de torsión del sismo 93-11



	f^1	f^2	f^3	a^1	a^2	a^3
a	0.60	0.53	---	1.00	1.00	---
b	0.50	0.57	---	1.00	1.00	---
c	0.50	0.53	---	0.25	1.00	---
d	0.50	0.57	---	0.25	1.00	---
e	0.53	0.57	---	1.00	1.00	---
f	0.53	0.57	0.50	1.00	1.00	0.25
g	0.53	0.57	0.50	1.00	1.00	0.50

f^i : frecuencia de i -ésima función cosenoidal
 a^i : amplitud de i -ésima función cosenoidal

Fig 5 37 Superposición de dos o tres funciones cosenoidales

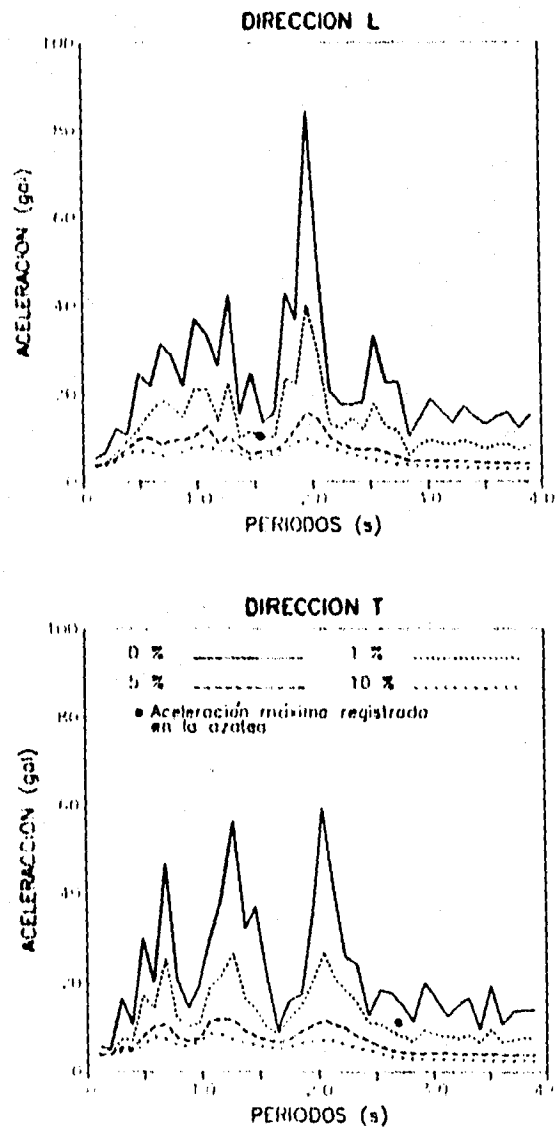


Fig 5-38 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-3 del registro sótano centro

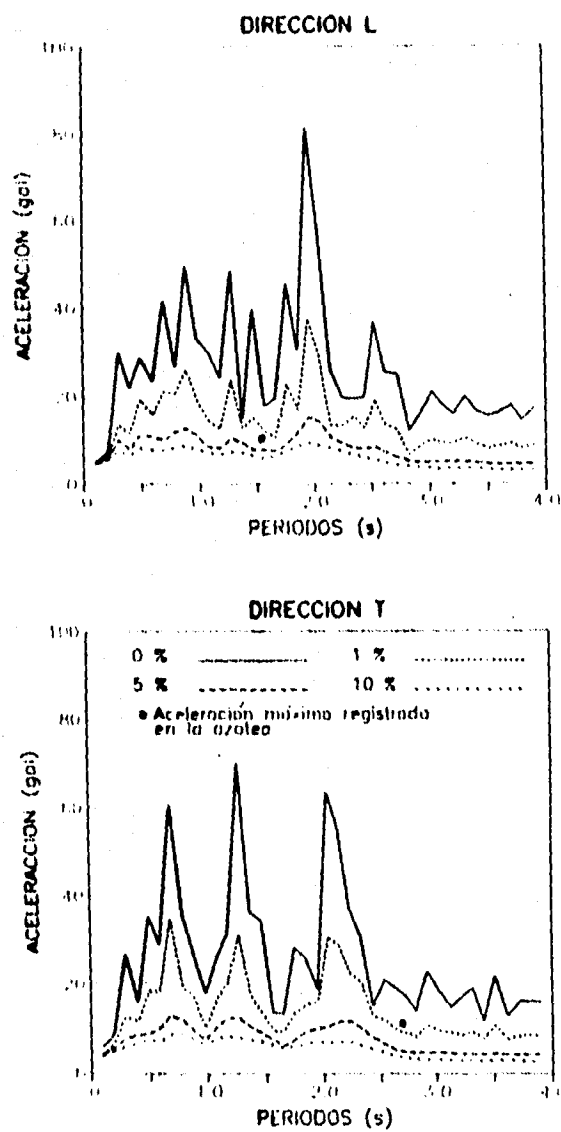


Fig 5-39 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-3 del registro terreno

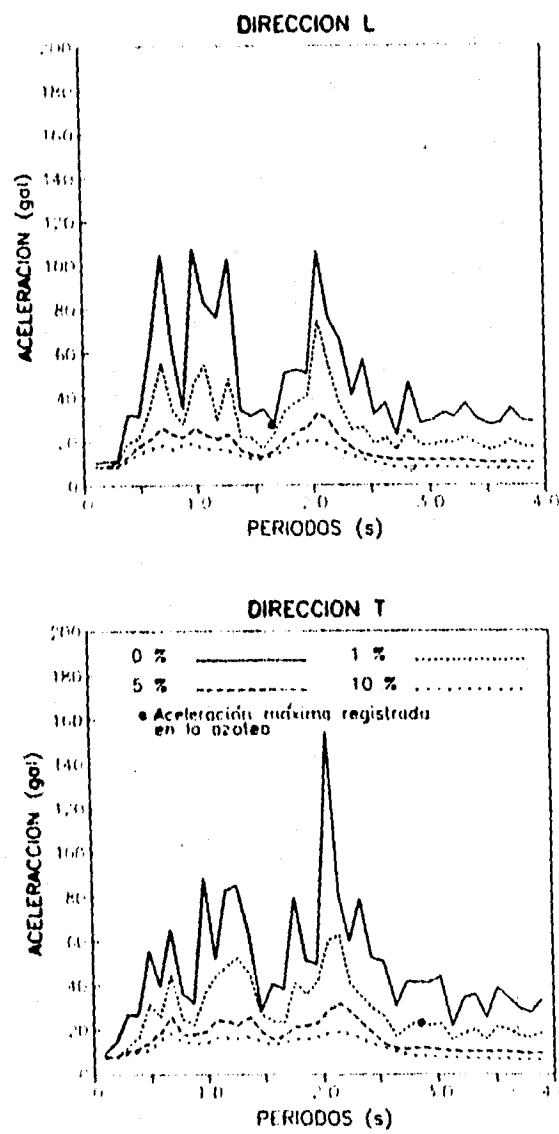


Fig 5-40 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-4 del registro sótano centro

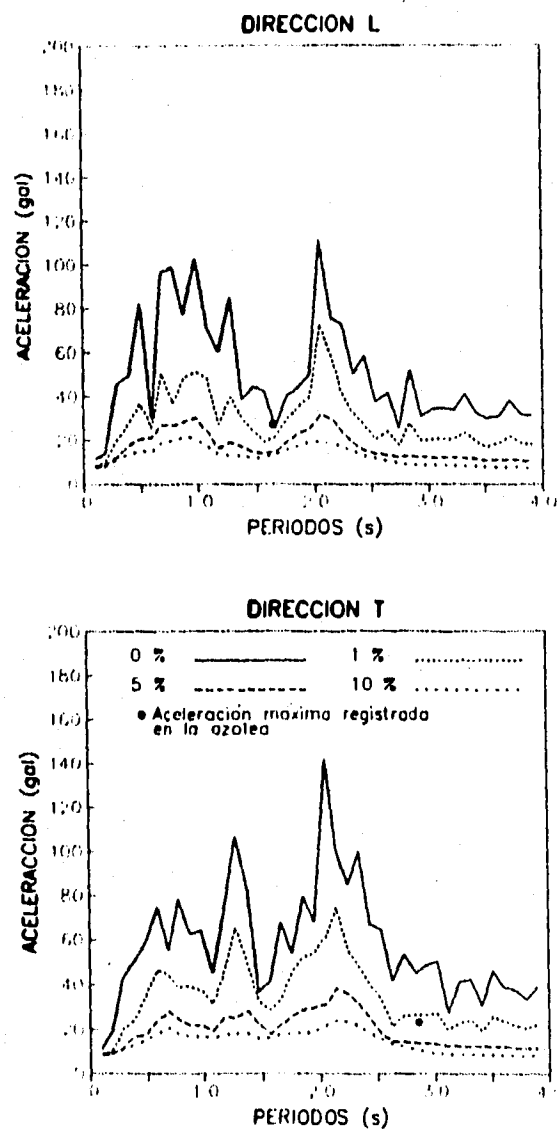


Fig 5-41 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-4 del registro terreno

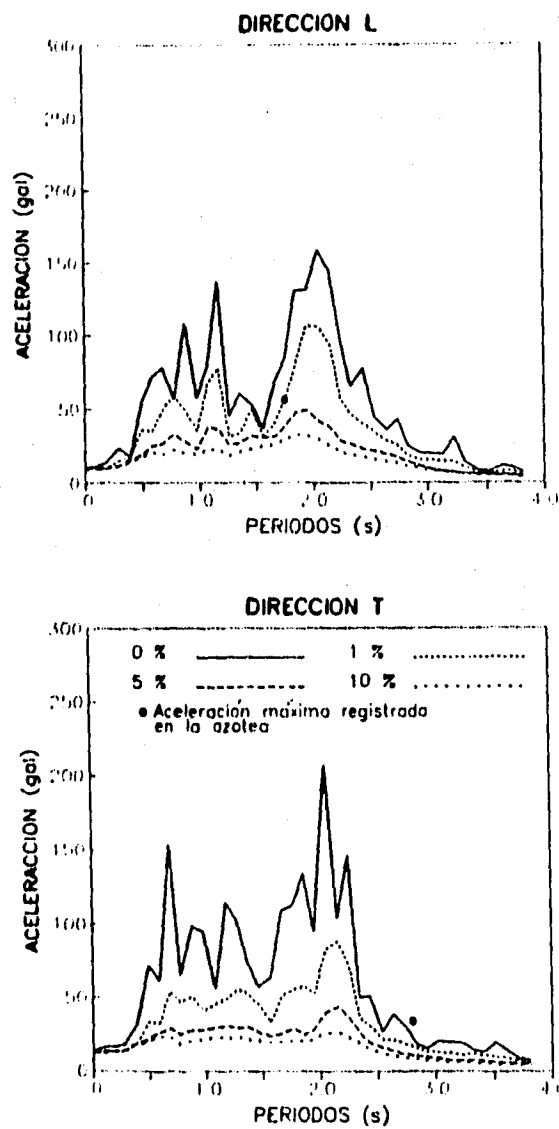


Fig 5-42 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-11 del registro sótano centro

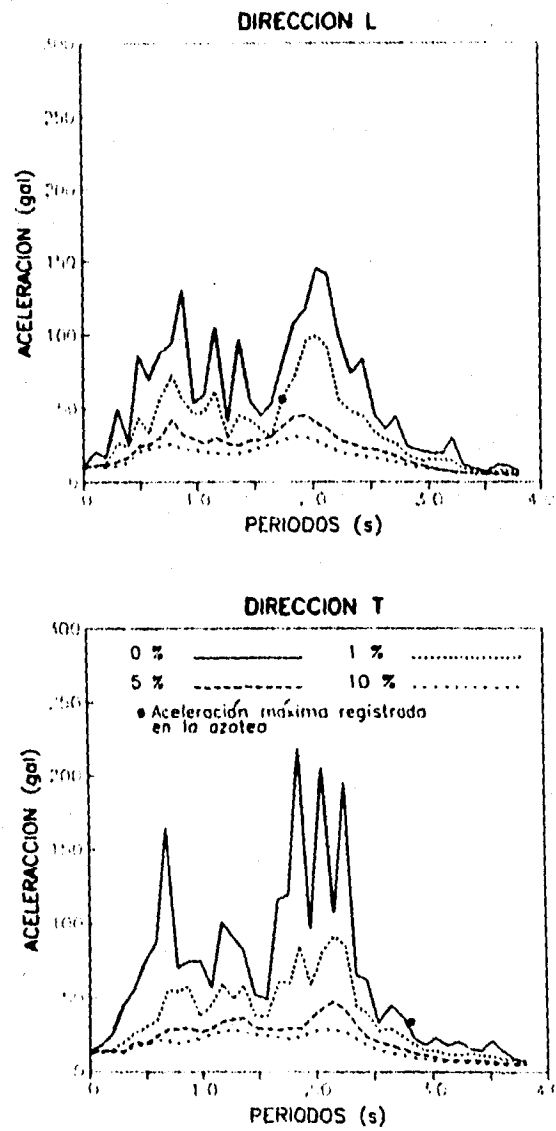


Fig 5-43 Espectro de respuesta, obtenido del evento 93-11 del registro terreno

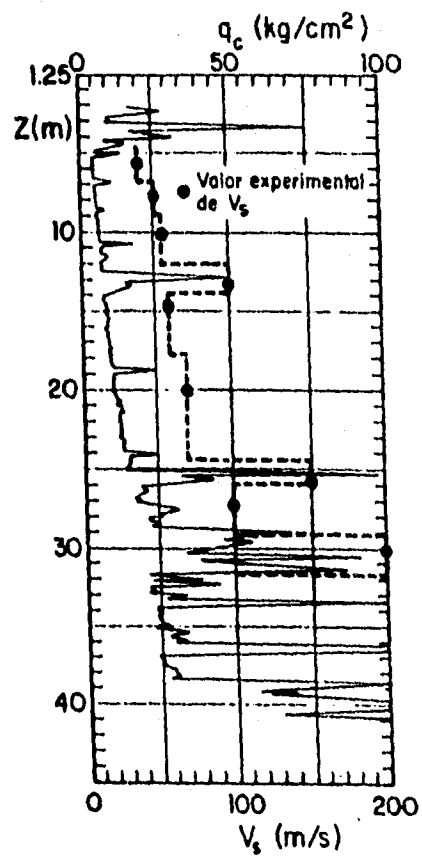


Fig 5-44 Variación de la velocidad de ondas de cortante V_s y de la resistencia de punta, q_c , con la profundidad

ANEXO I

ESQUINA ESTE

- 1 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-3
- 2 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-3
- 3 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-3
- 4 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-3
- 5 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-3
- 6 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-3

ESQUINA OESTE

- 7 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-3
- 8 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-3
- 9 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-3
- 10 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-3
- 11 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-3
- 12 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-3

ESQUINA ESTE

- 13 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-4
- 14 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-4
- 15 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-4
- 16 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-4
- 17 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-4
- 18 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-4

ESQUINA OESTE

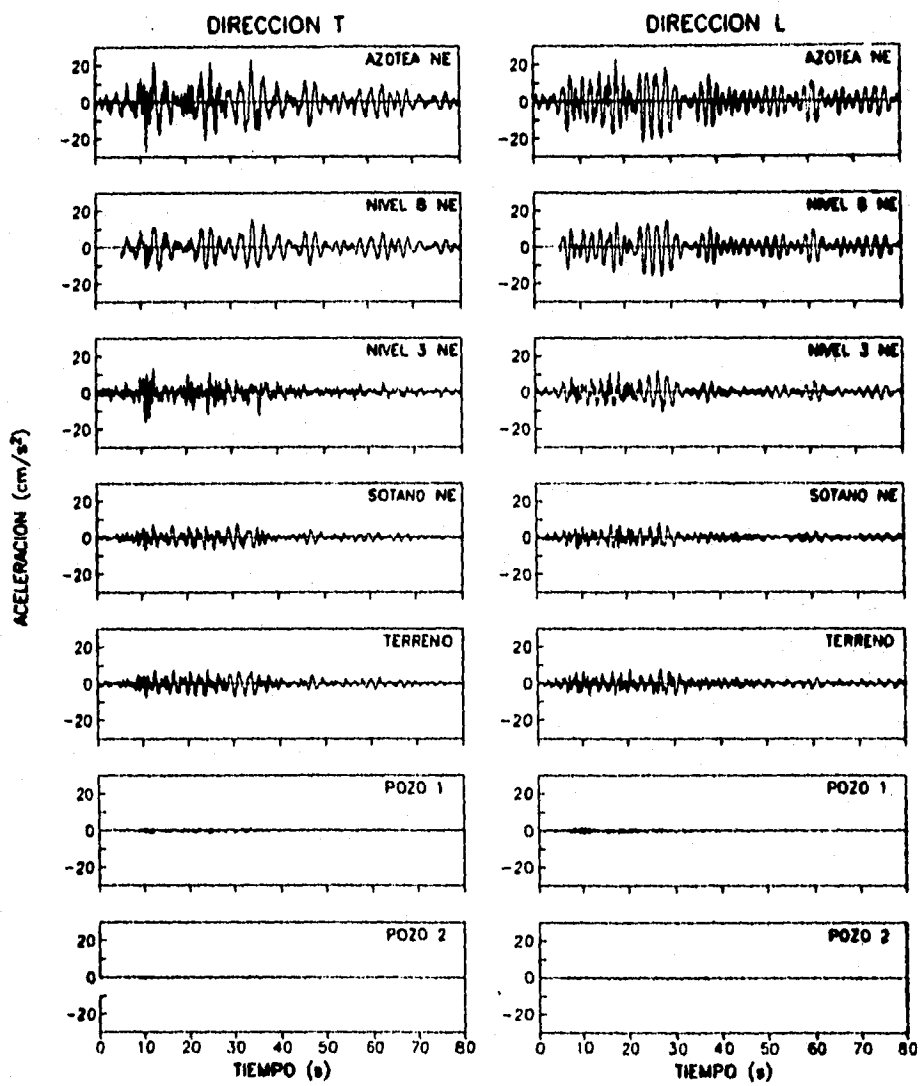
- 19 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-4
- 20 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-4
- 21 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-4
- 22 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-4
- 23 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-4
- 24 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-4

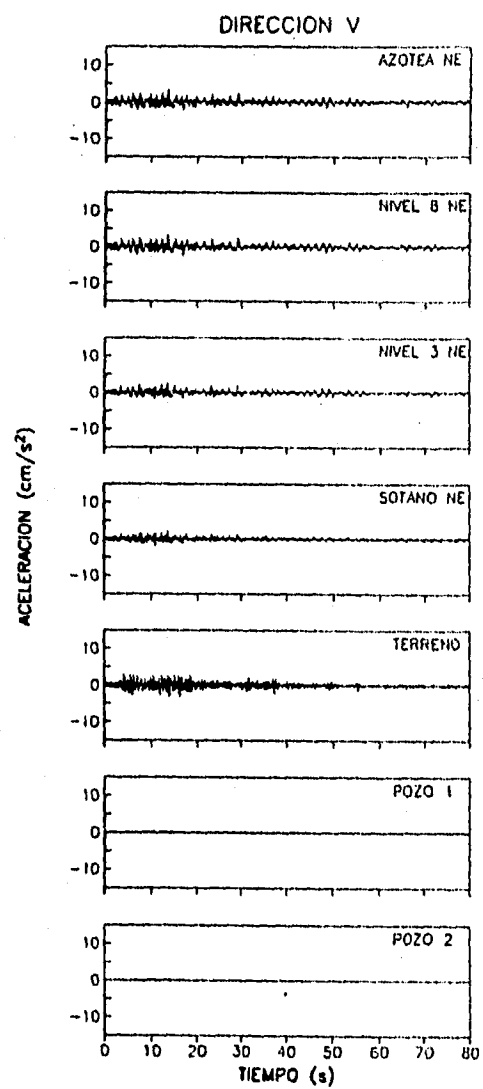
ESQUINA ESTE

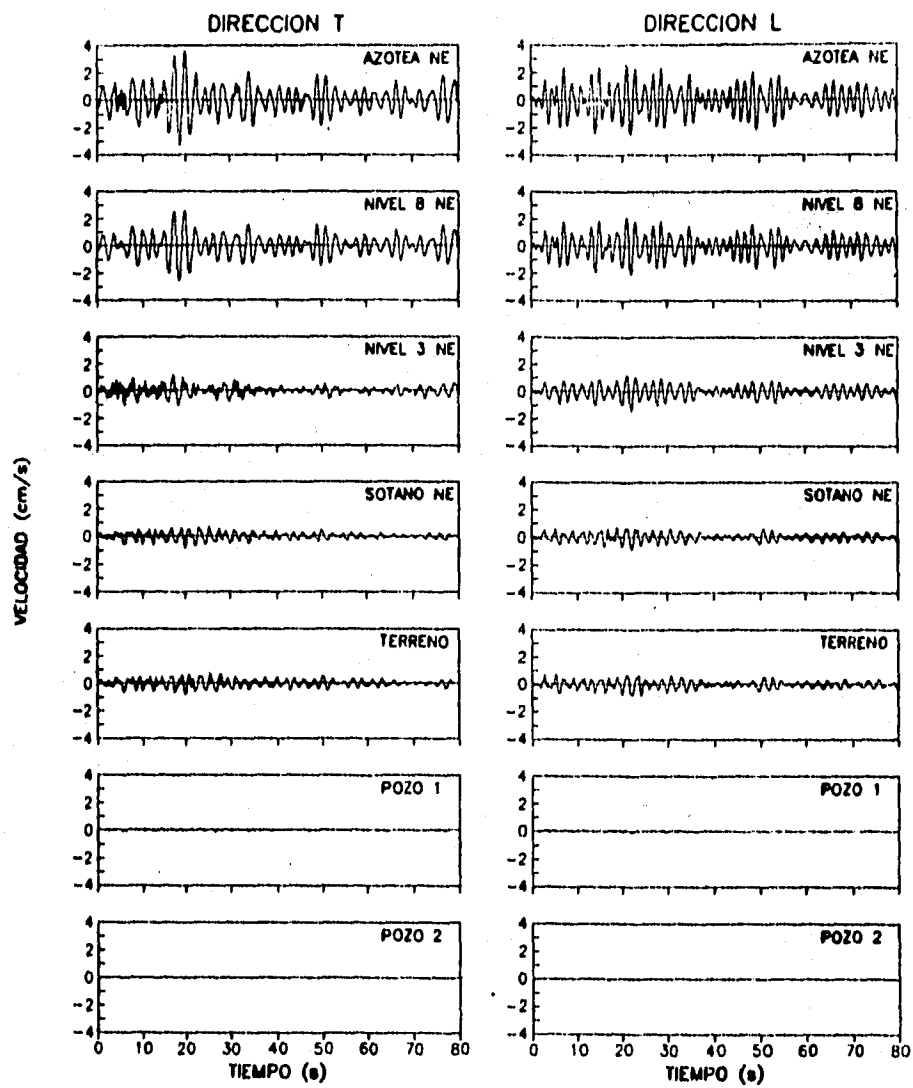
- 25 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-11
- 26 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-11
- 27 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-11
- 28 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-11
- 29 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-11
- 30 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-11

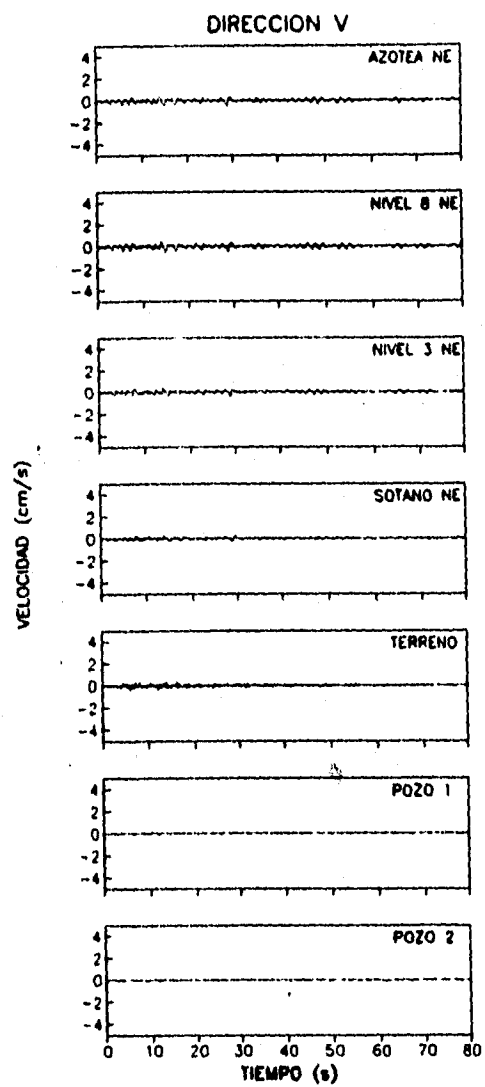
ESQUINA OESTE

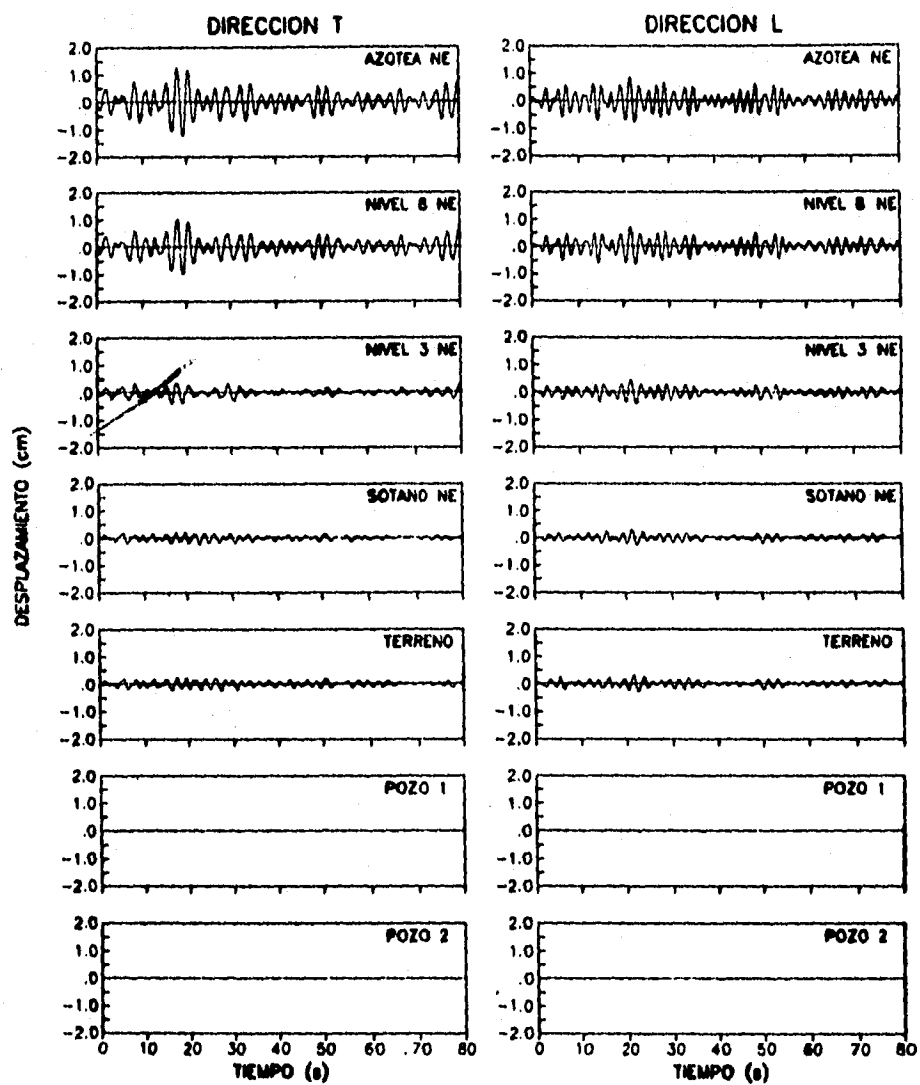
- 31 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-11
- 32 Historias de aceleración registradas en el sismo 93-11
- 33 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-11
- 34 Historias de velocidad registradas en el sismo 93-11
- 35 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-11
- 36 Historias de desplazamiento registradas en el sismo 93-11

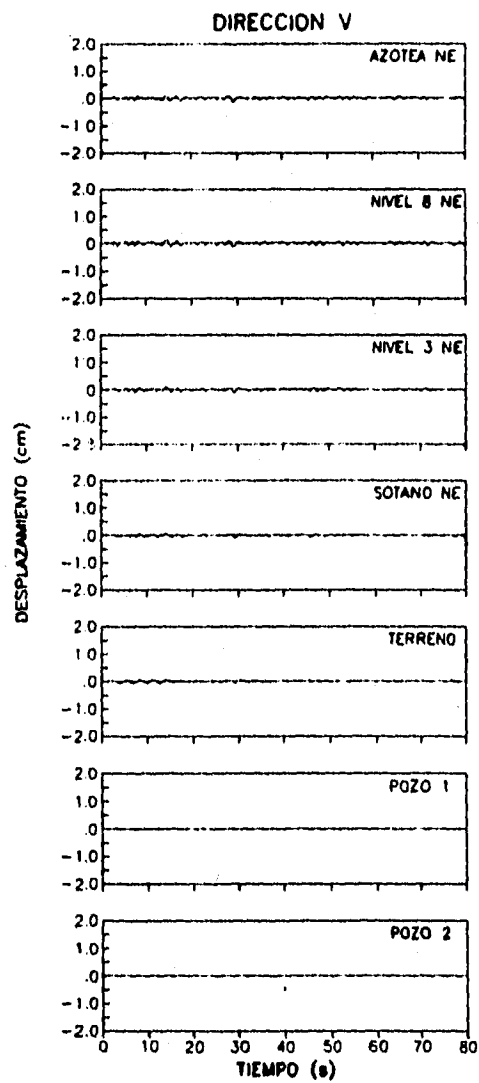


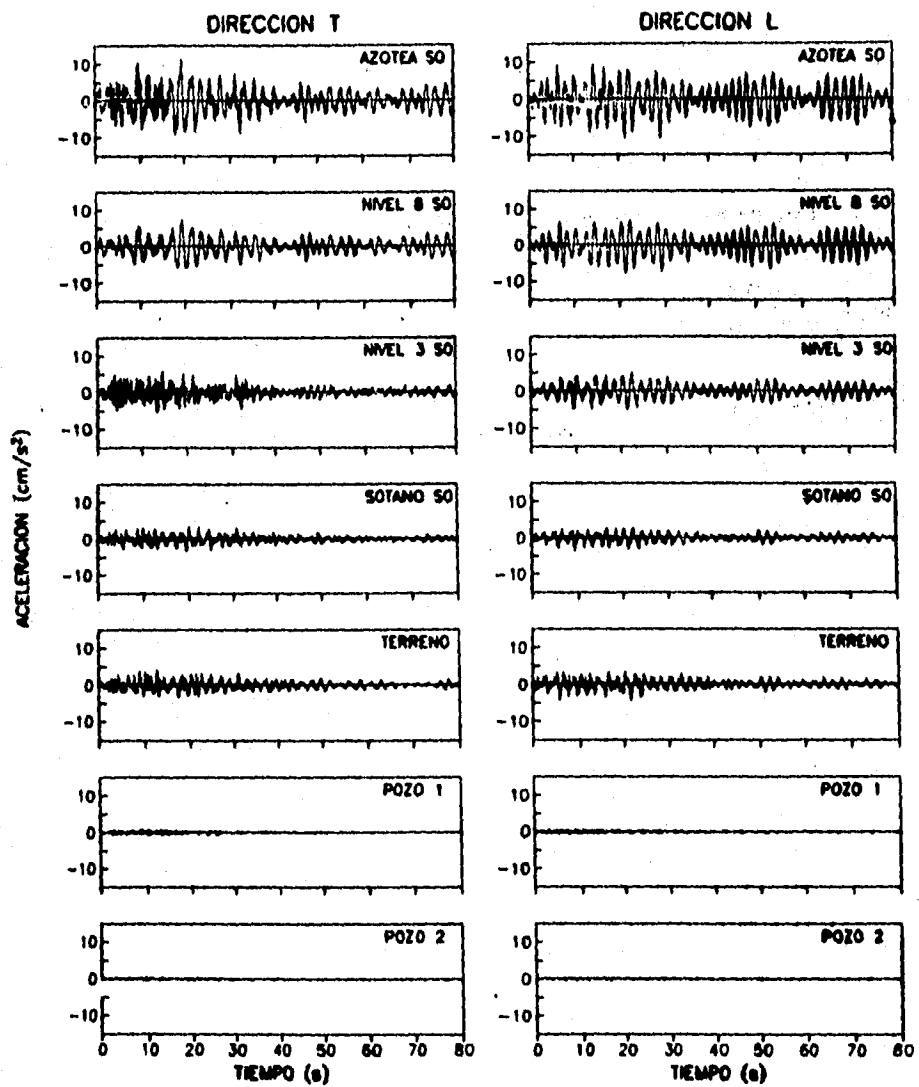


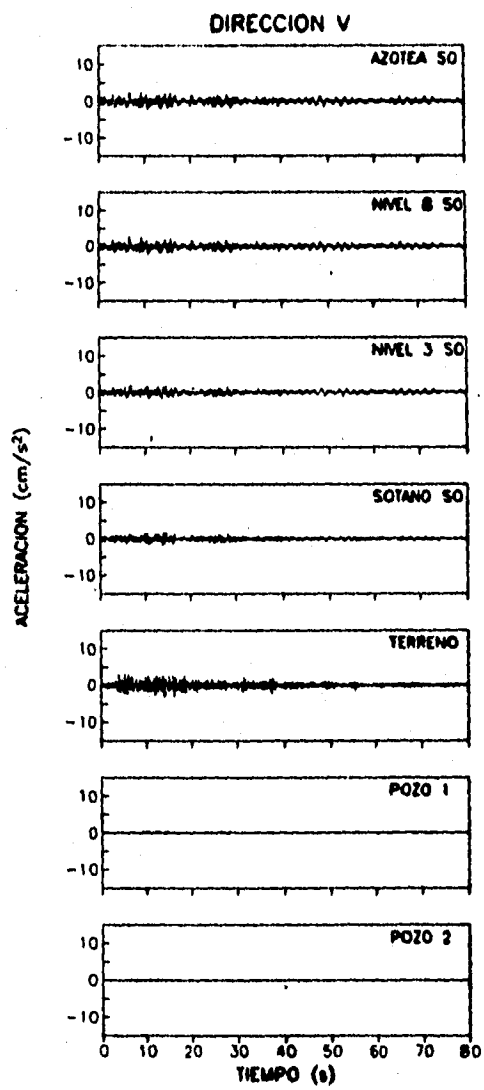


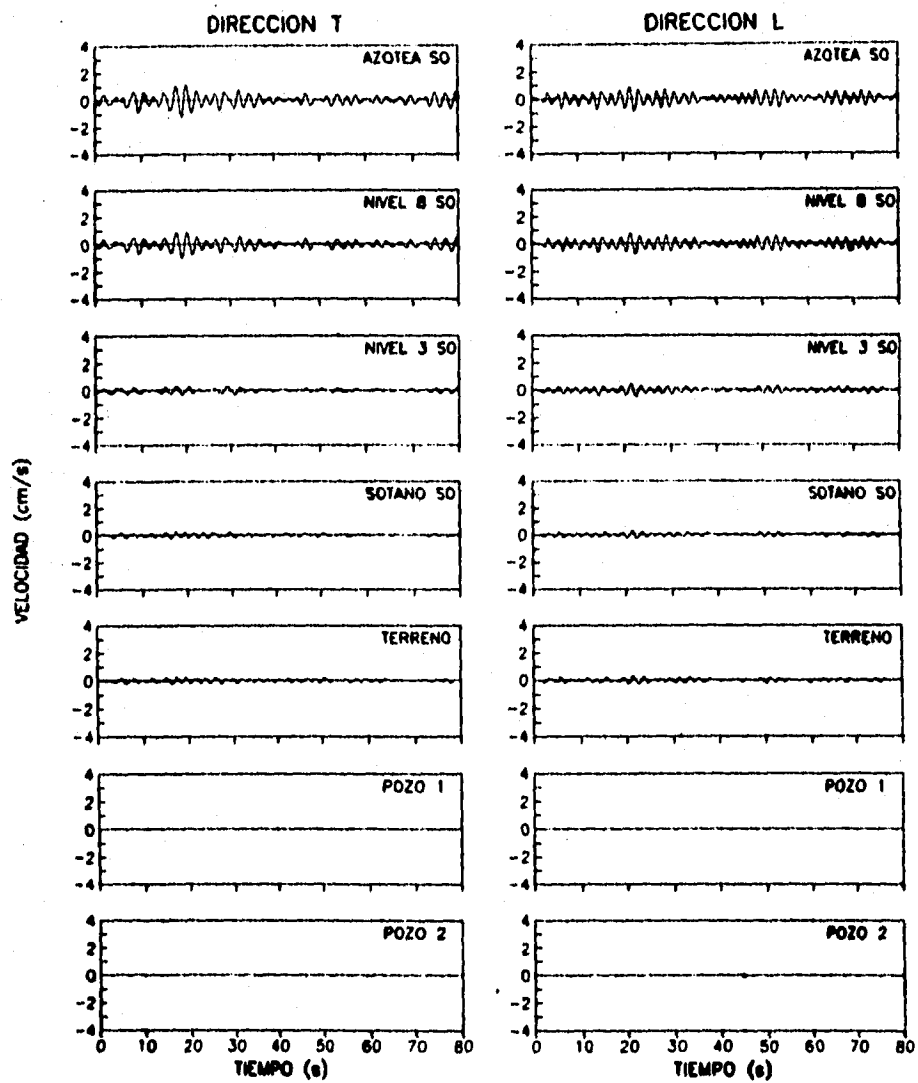


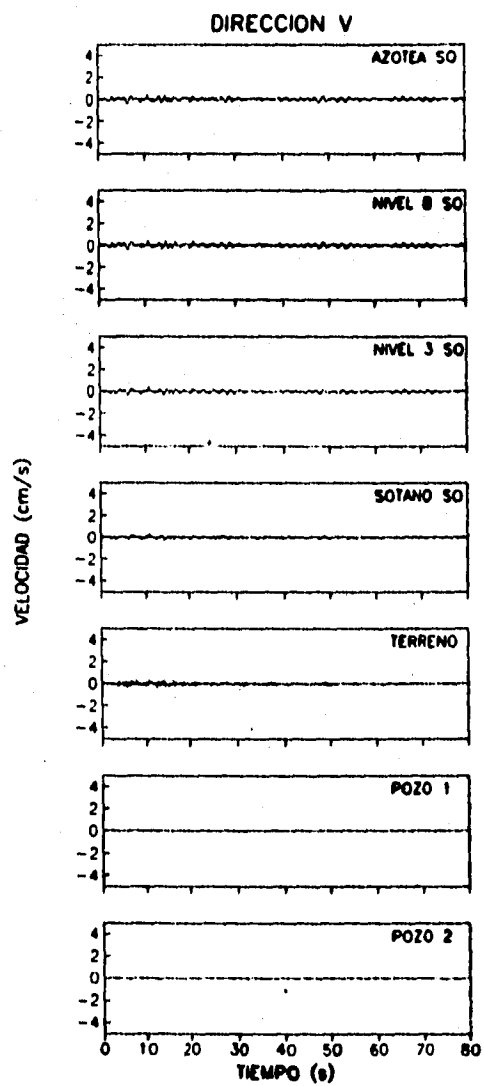


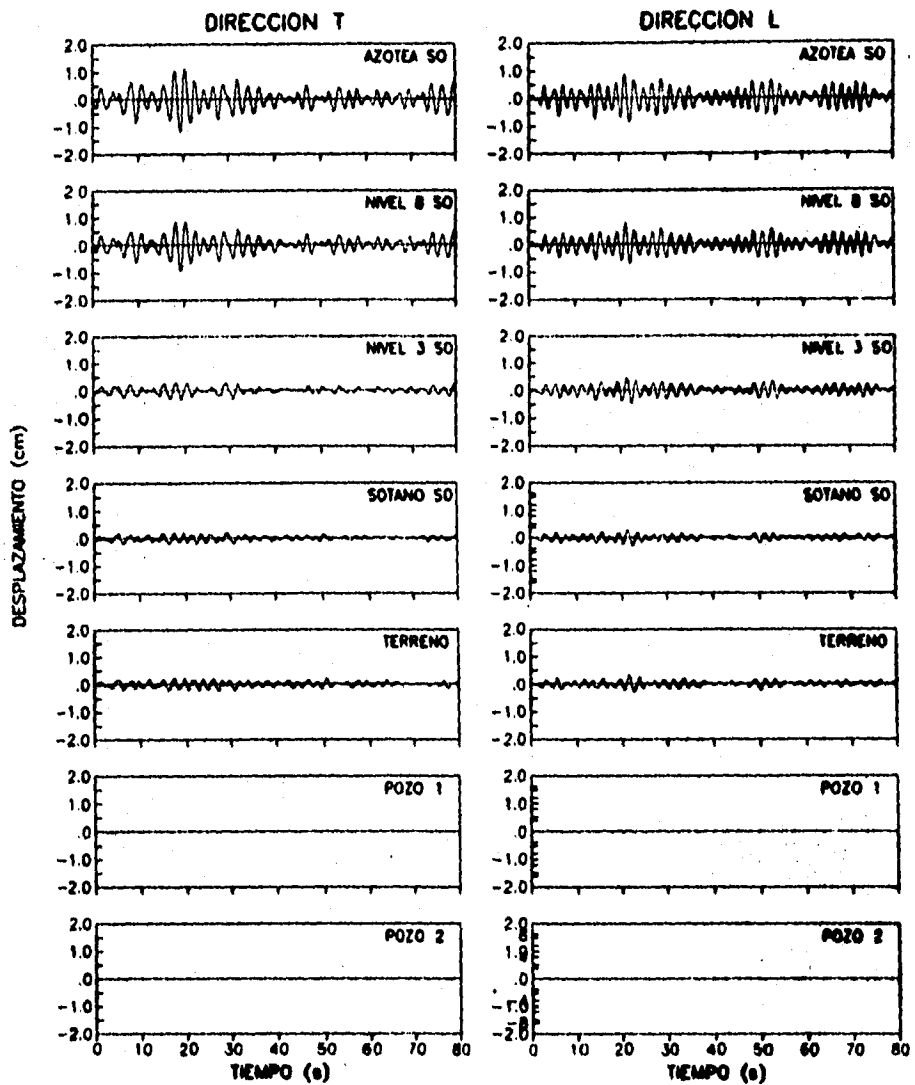


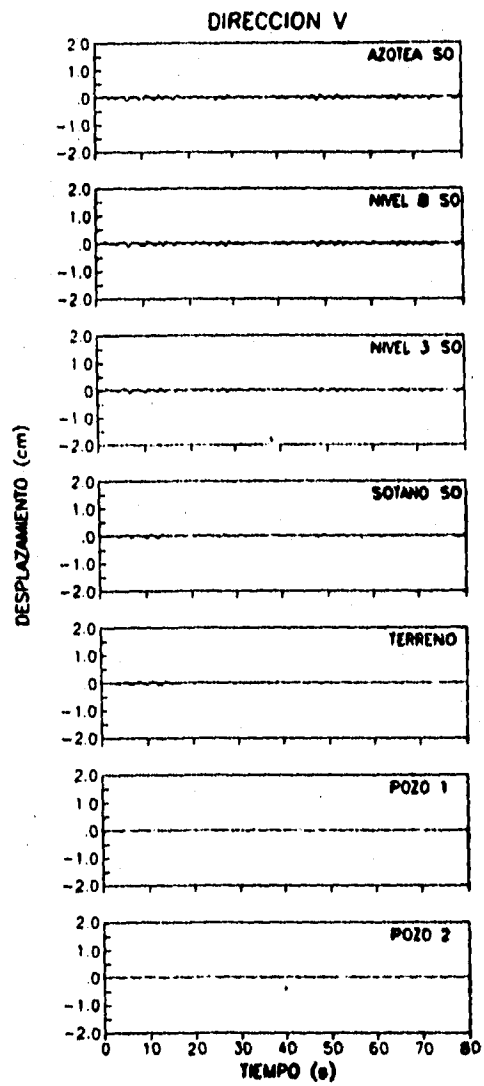


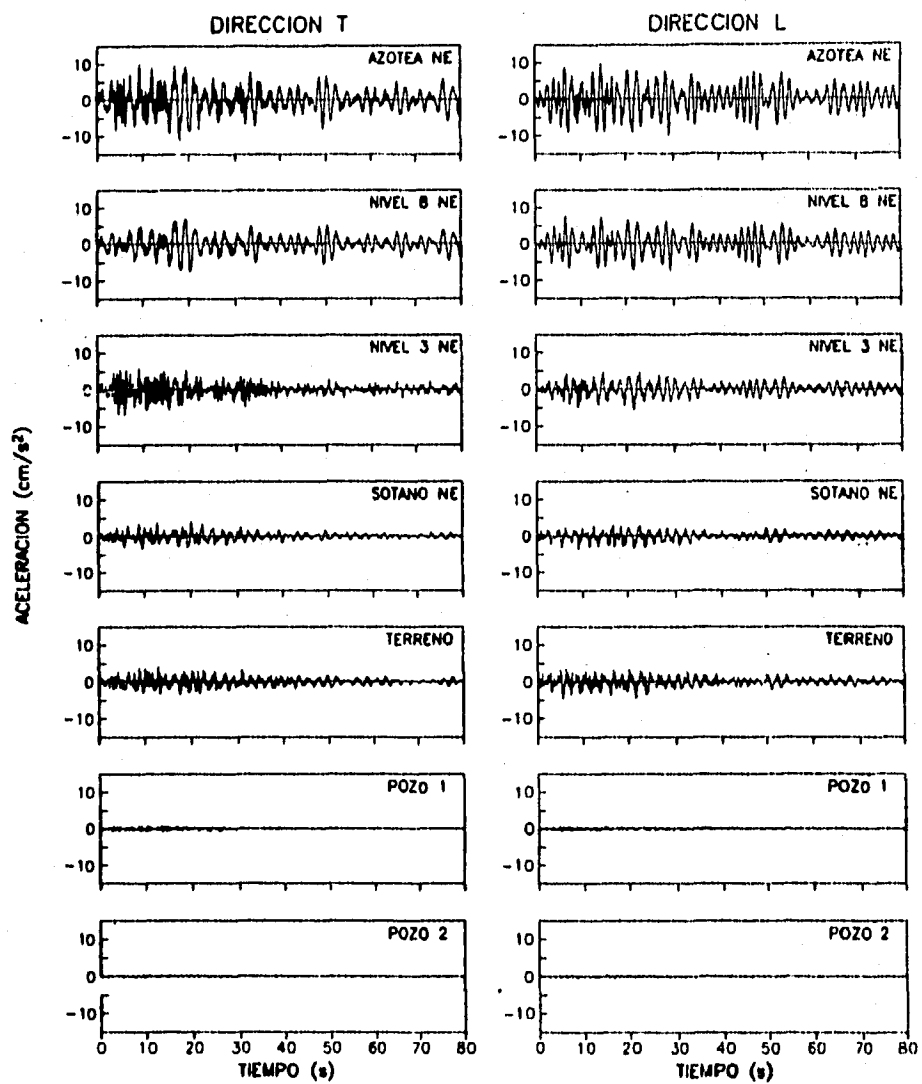


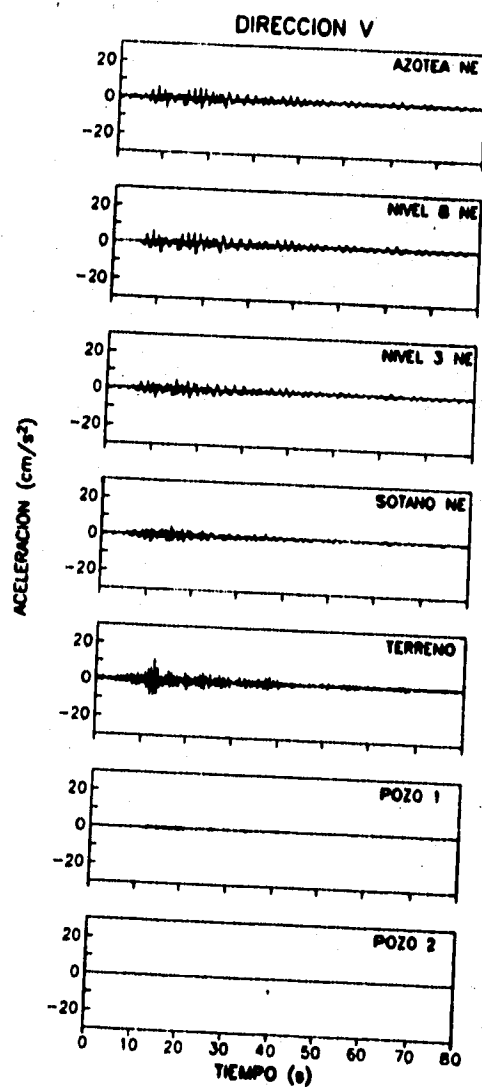


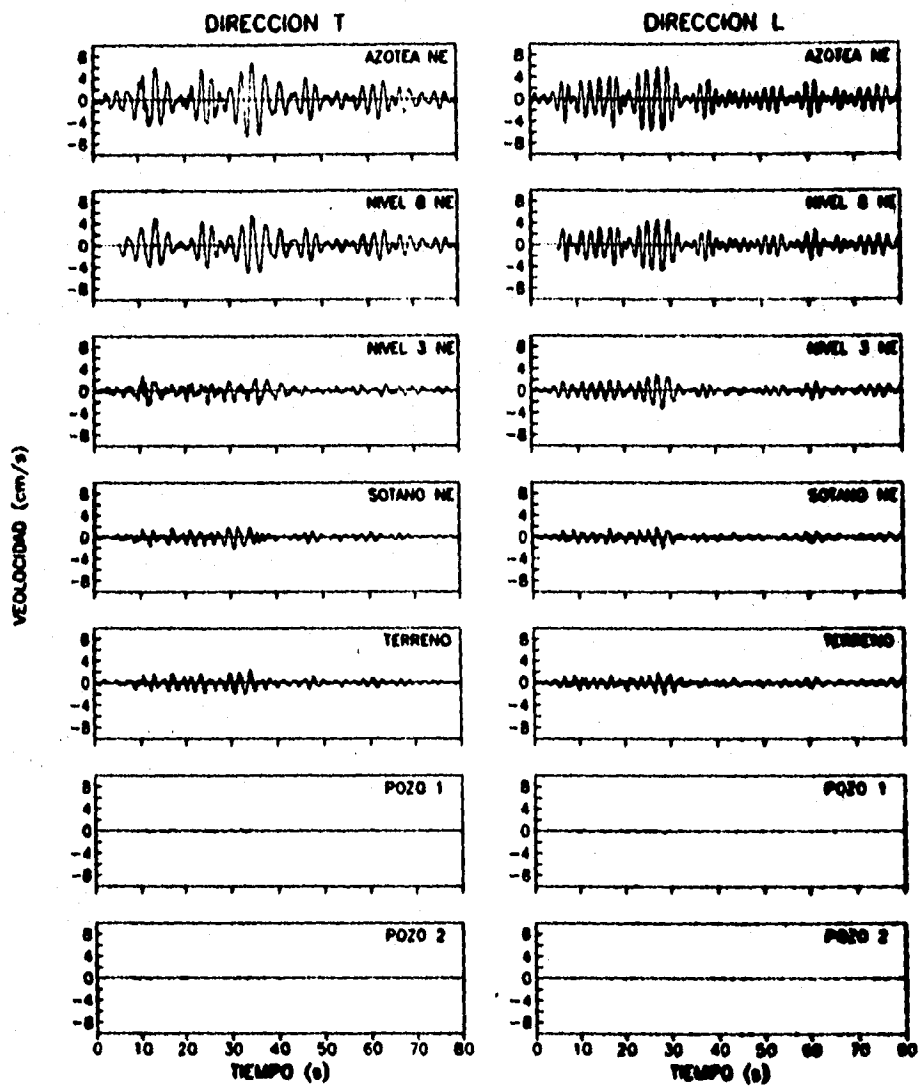


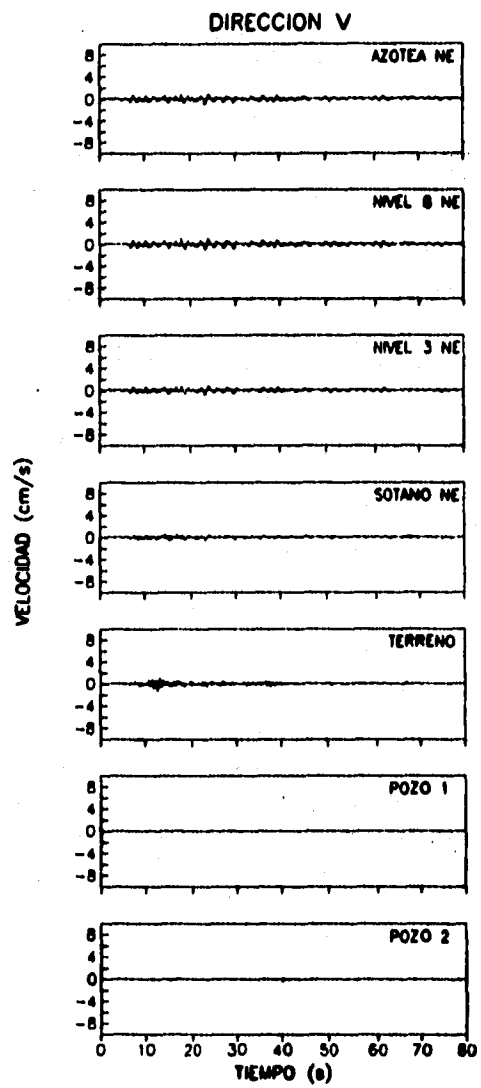


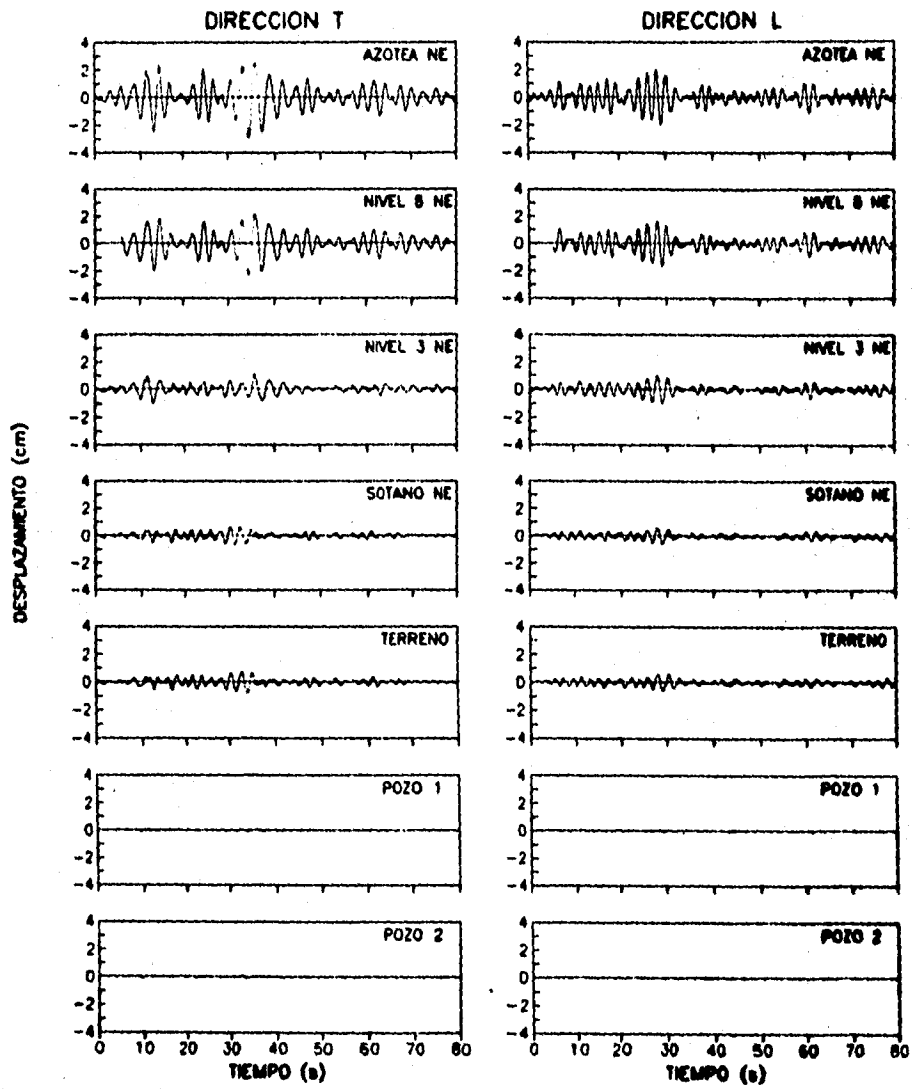


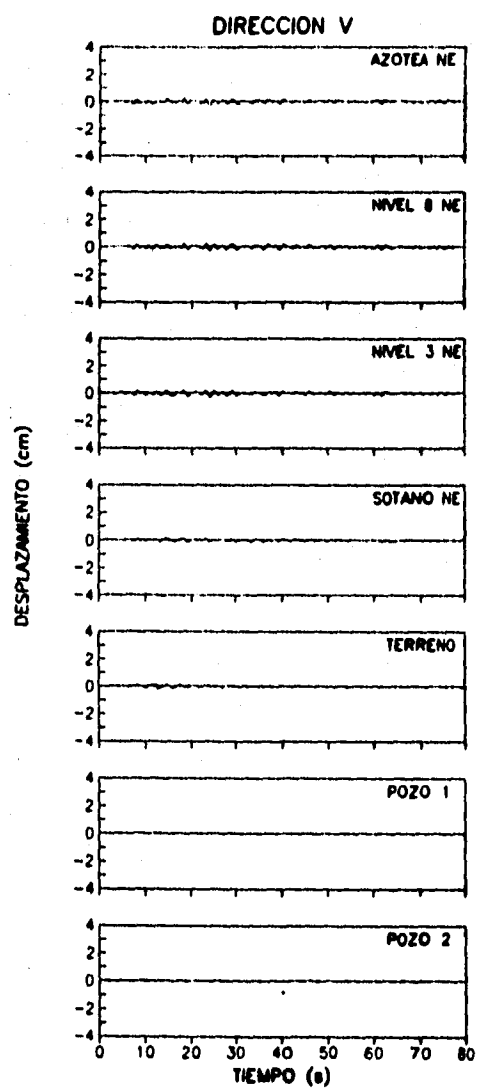


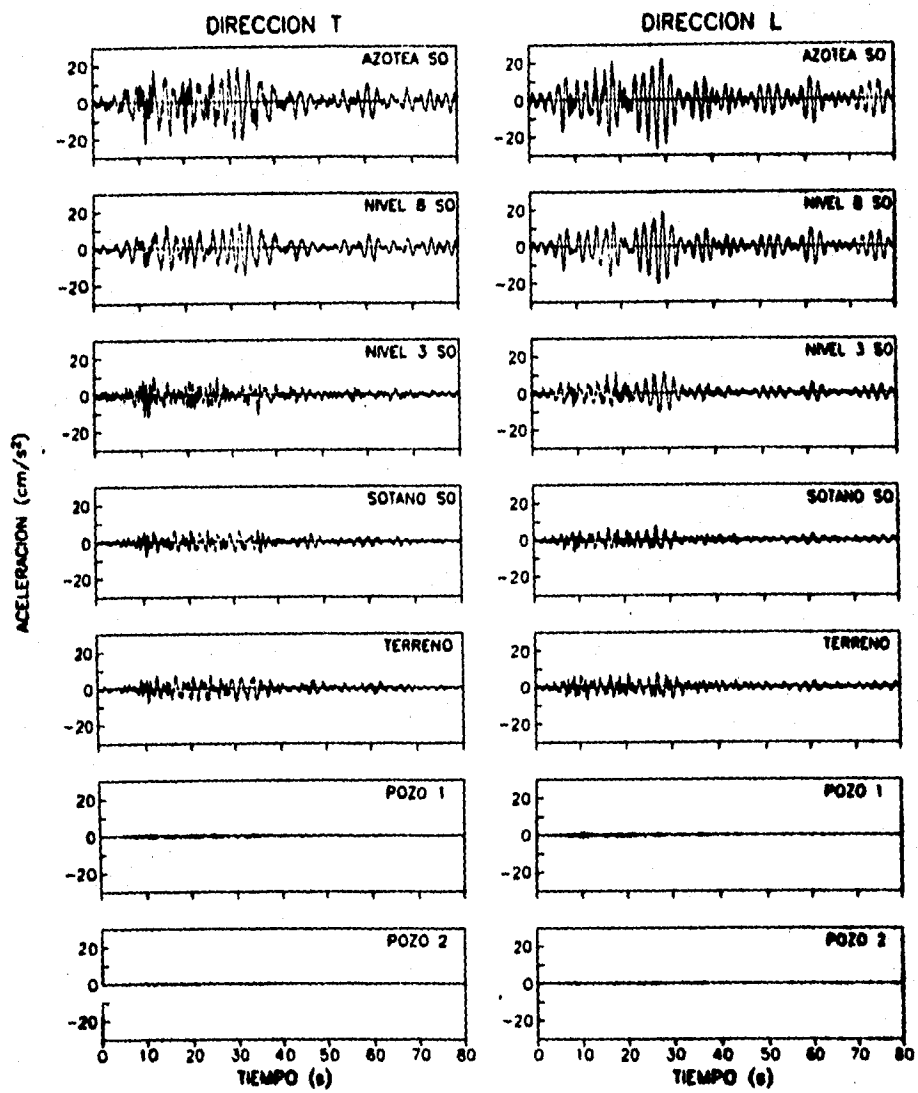


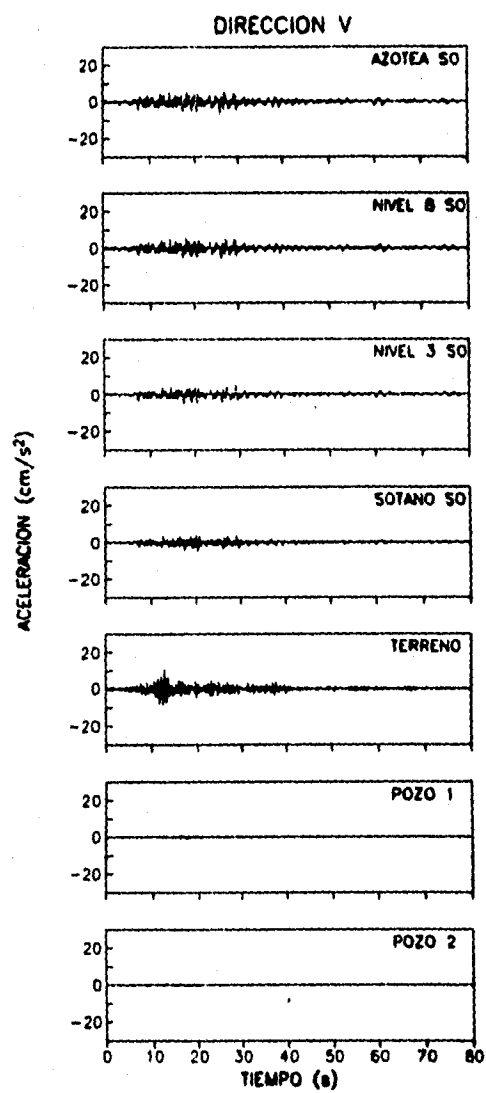


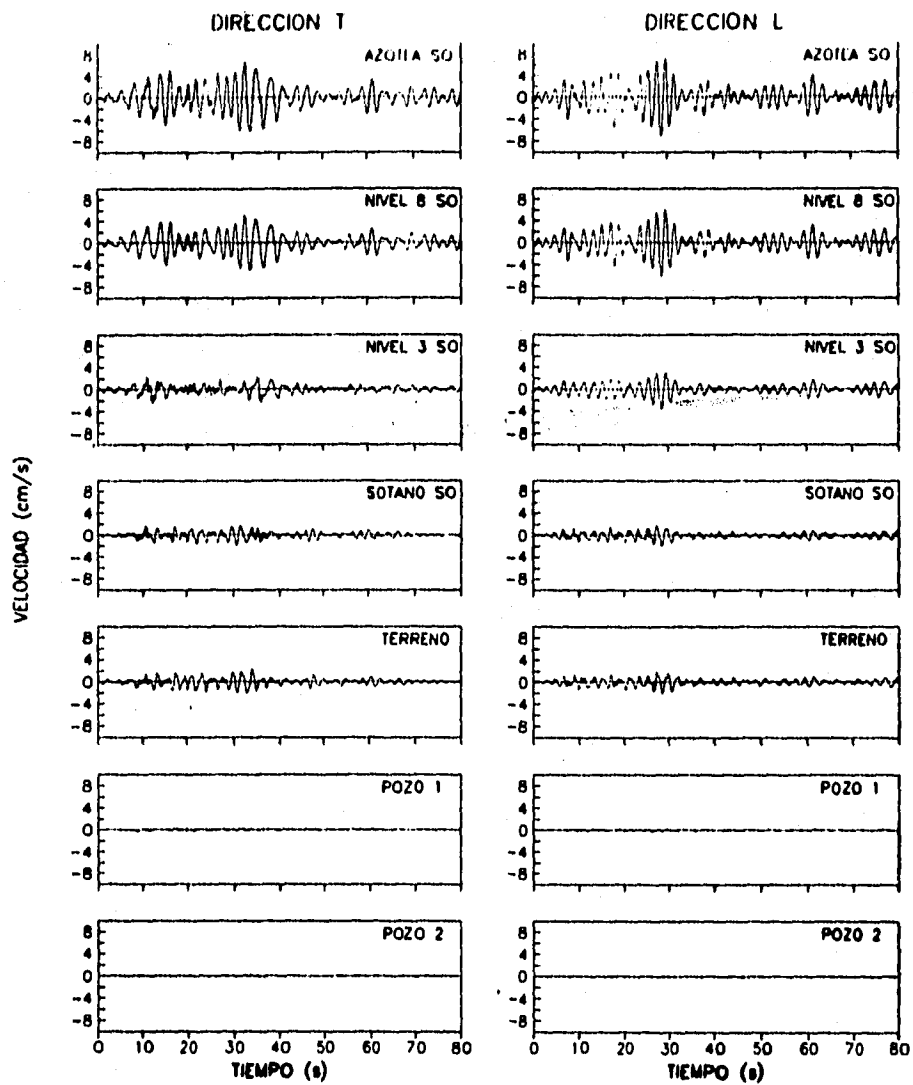


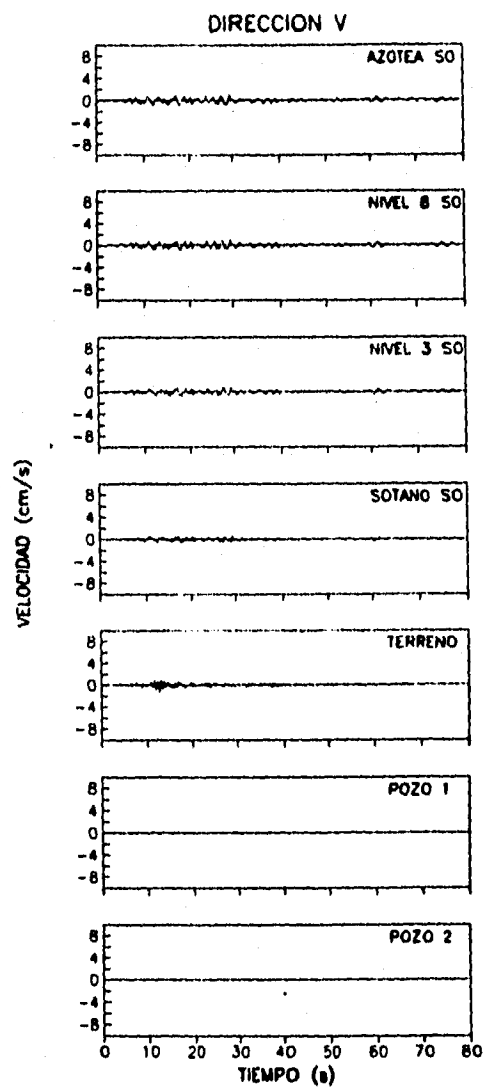


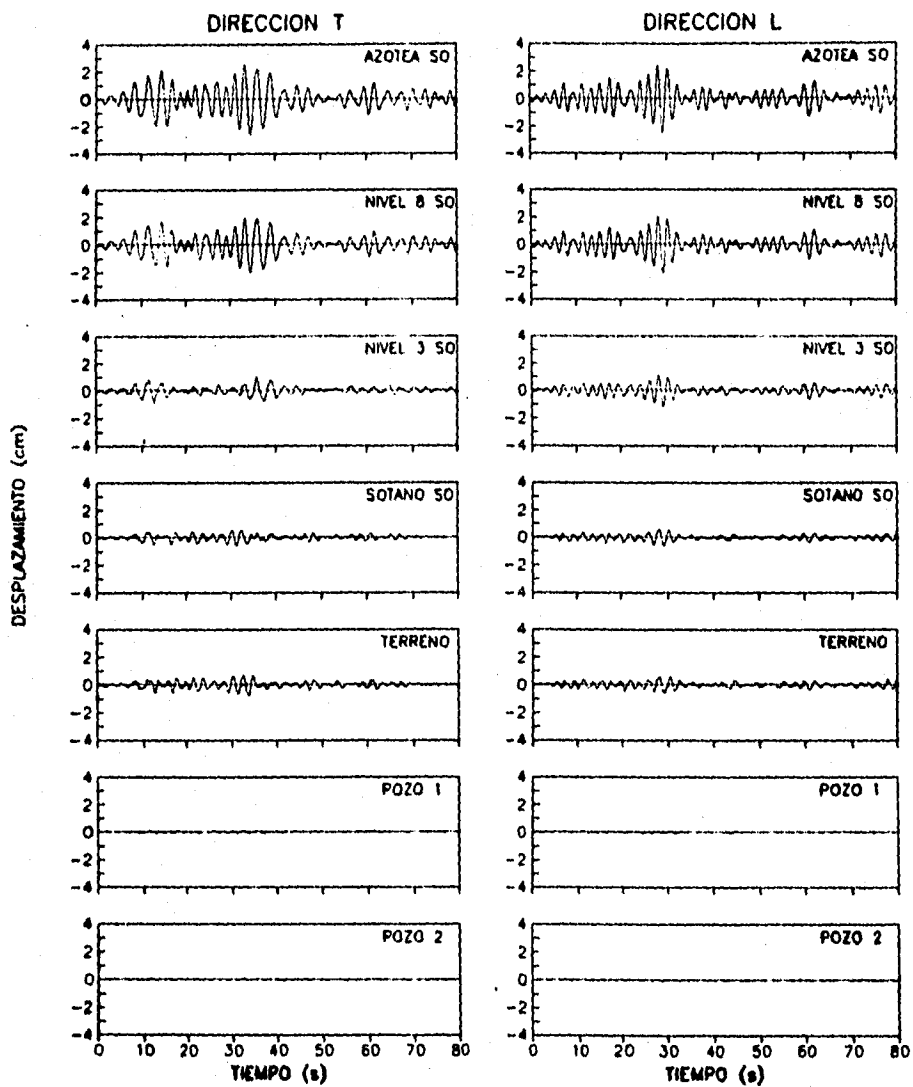


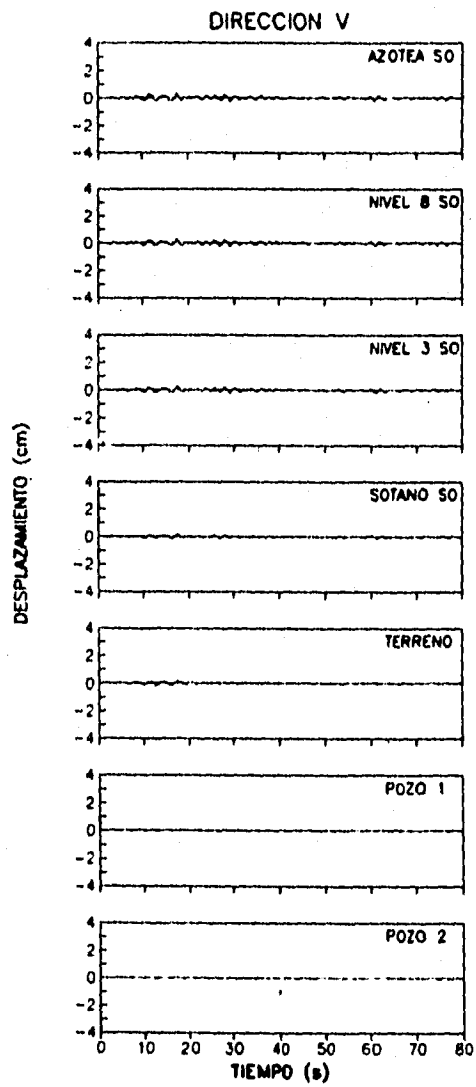


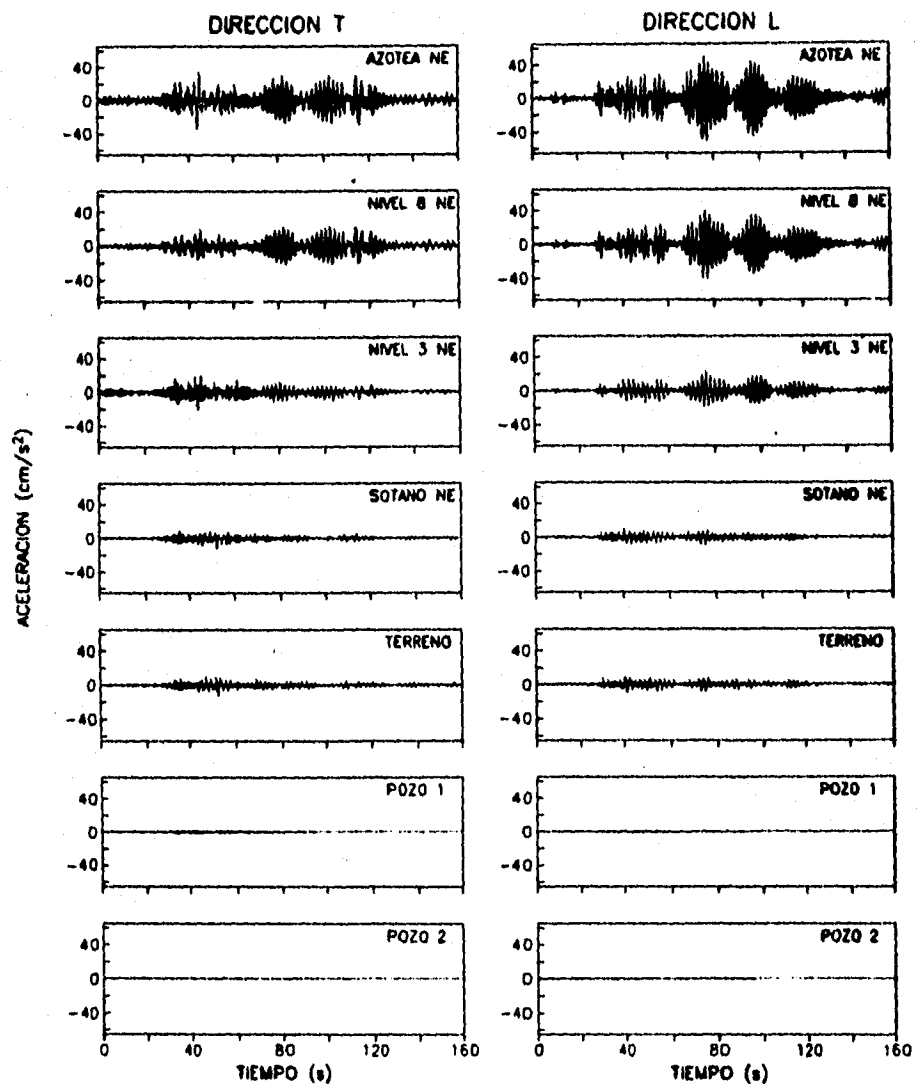


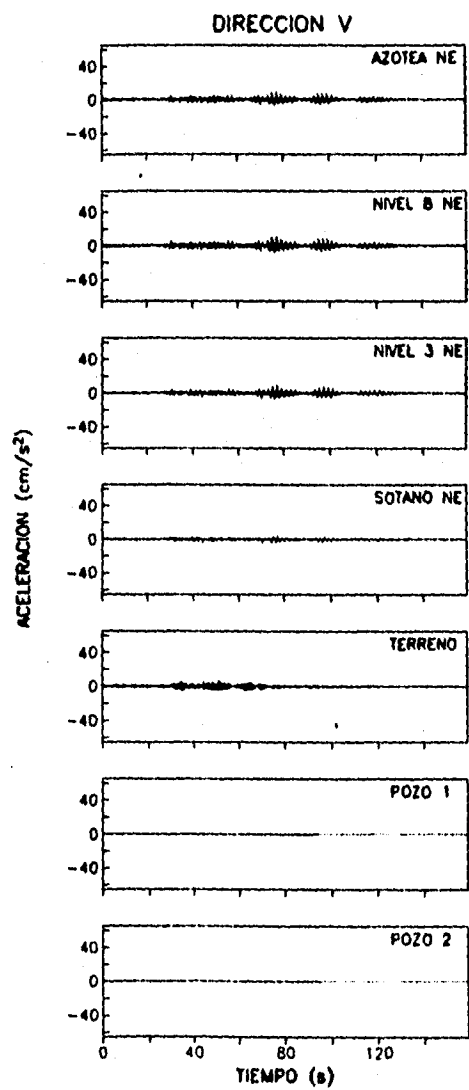


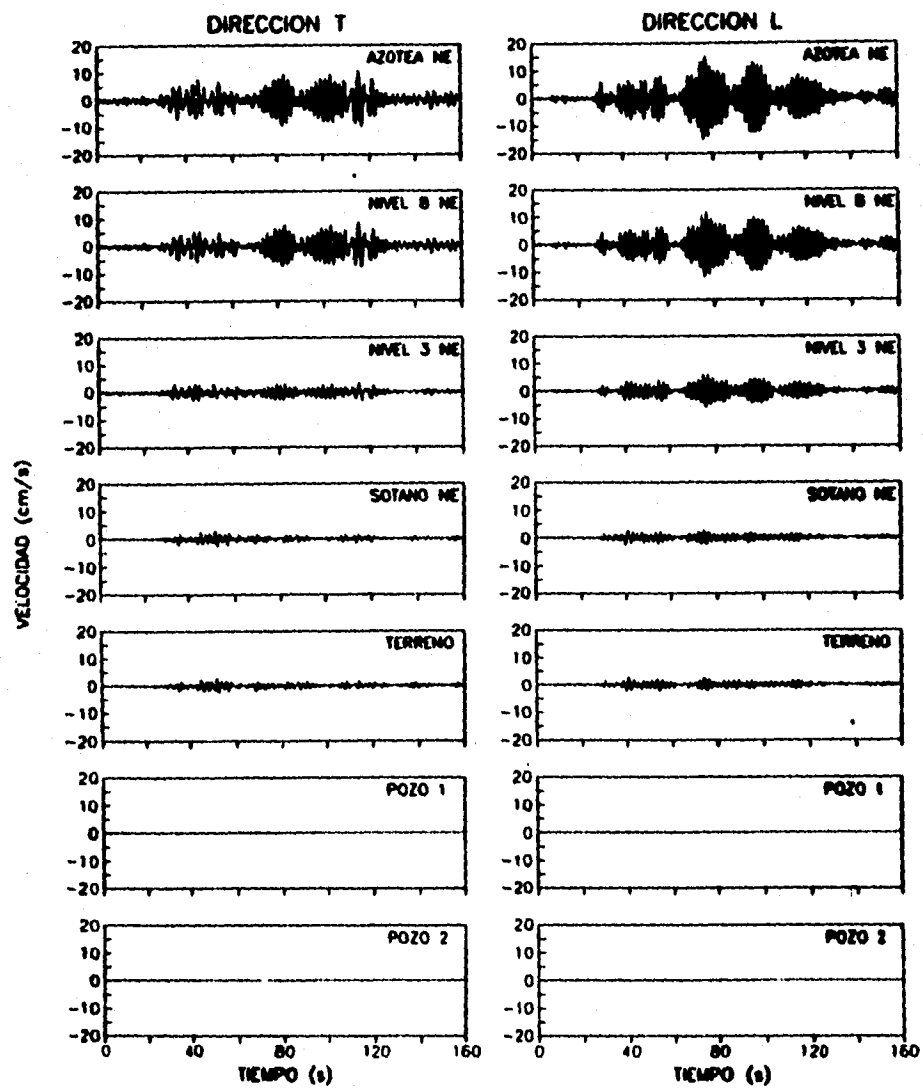


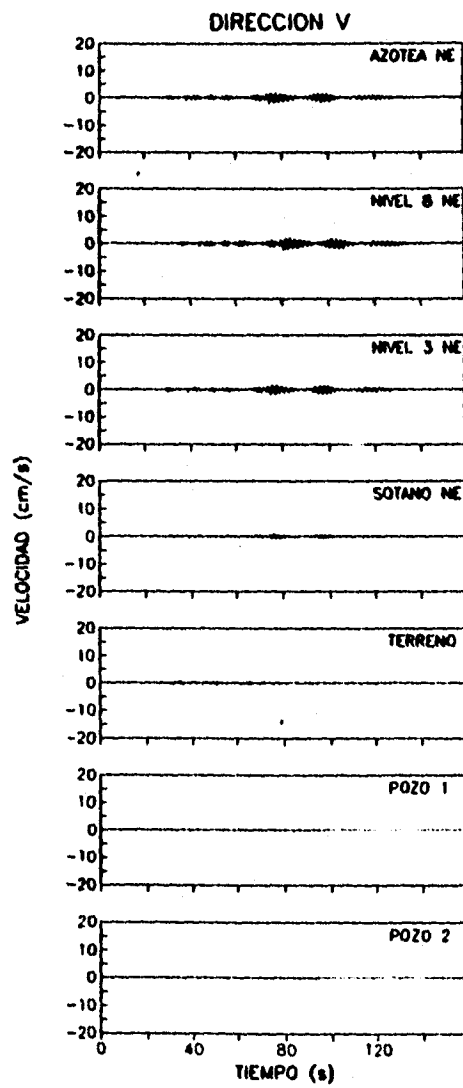


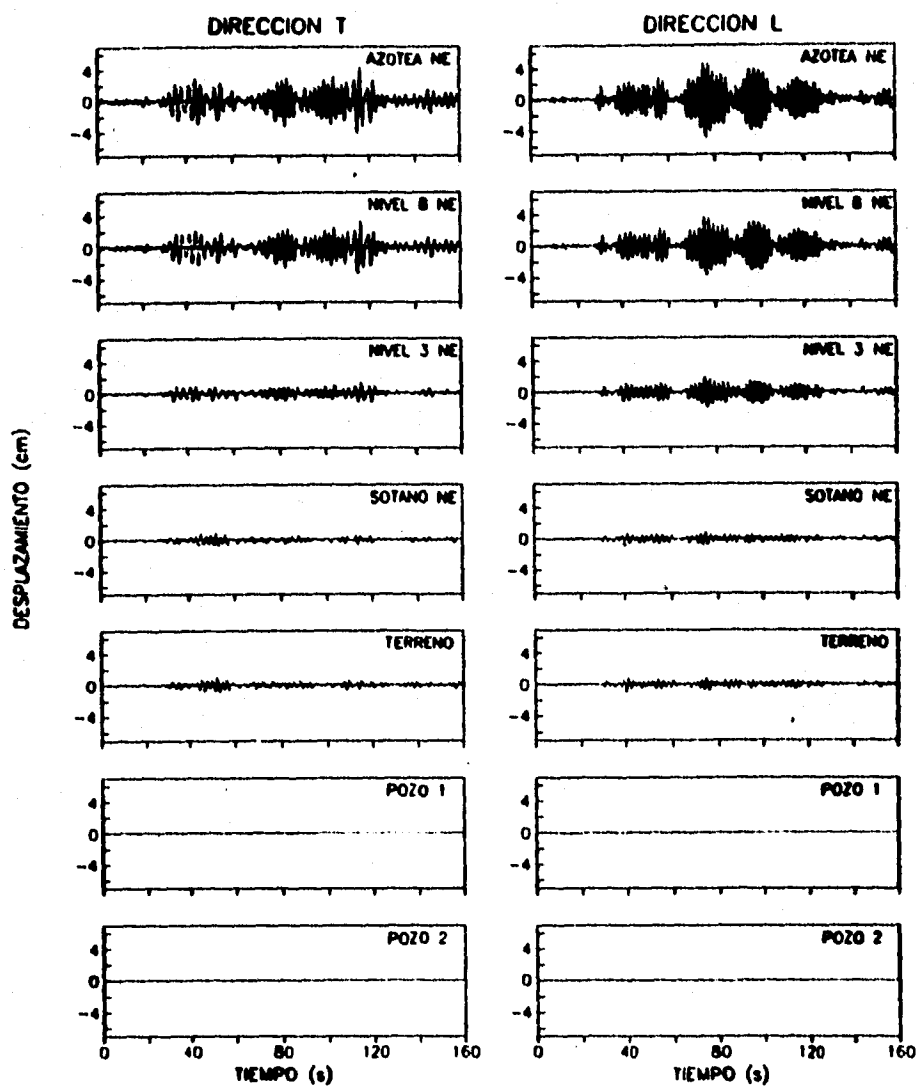


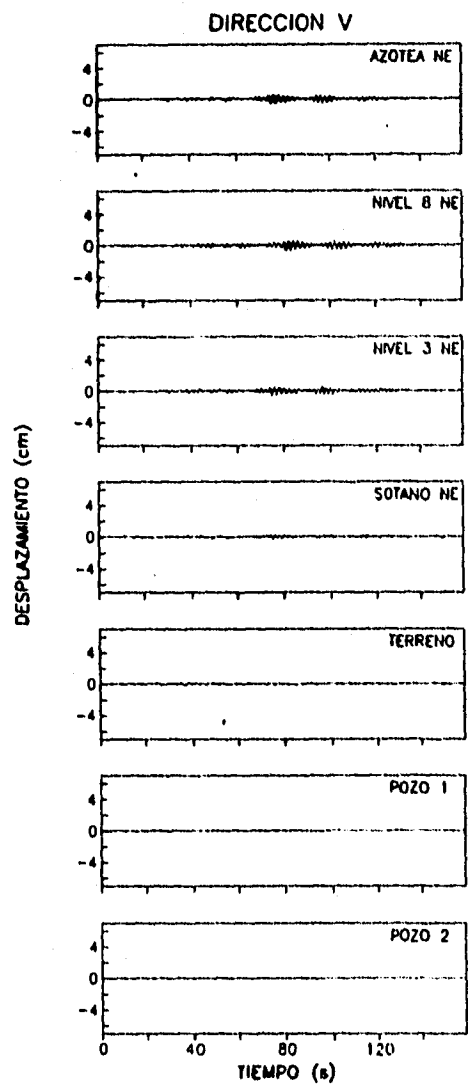


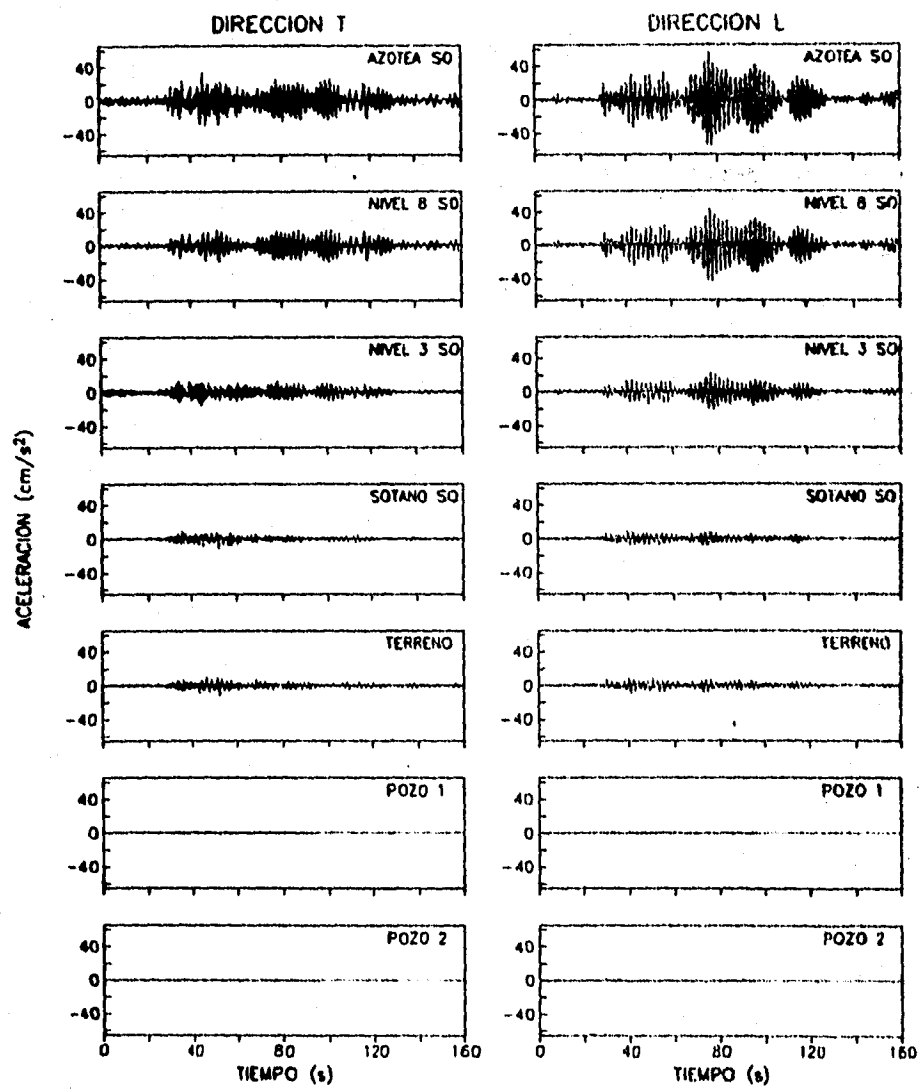


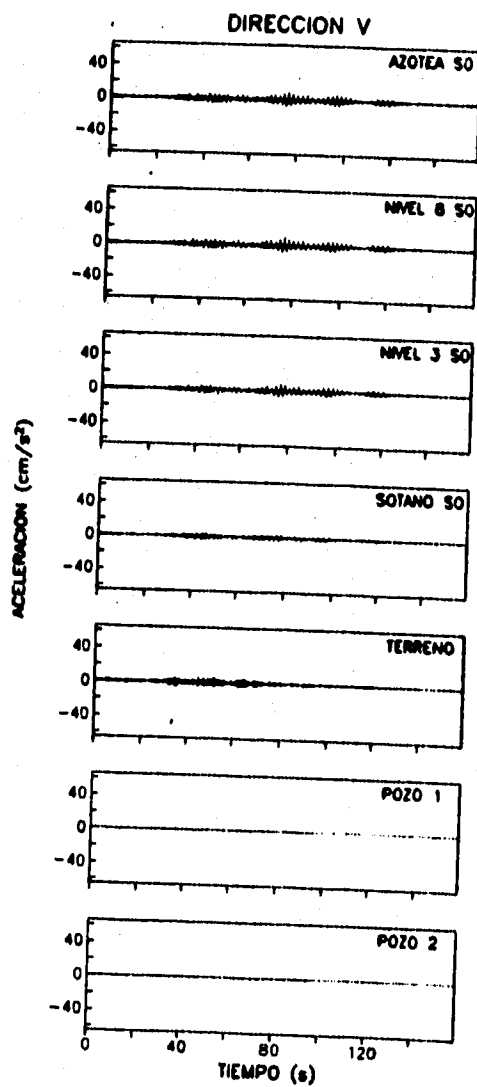


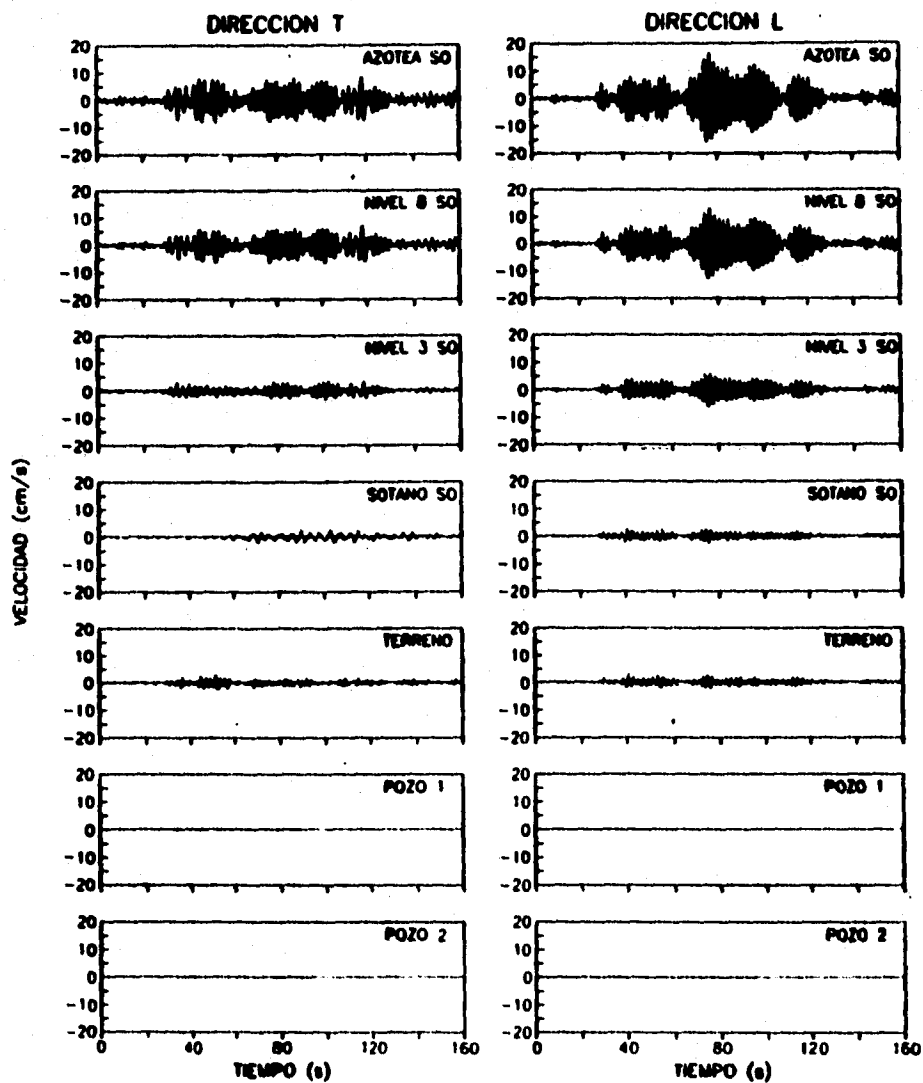


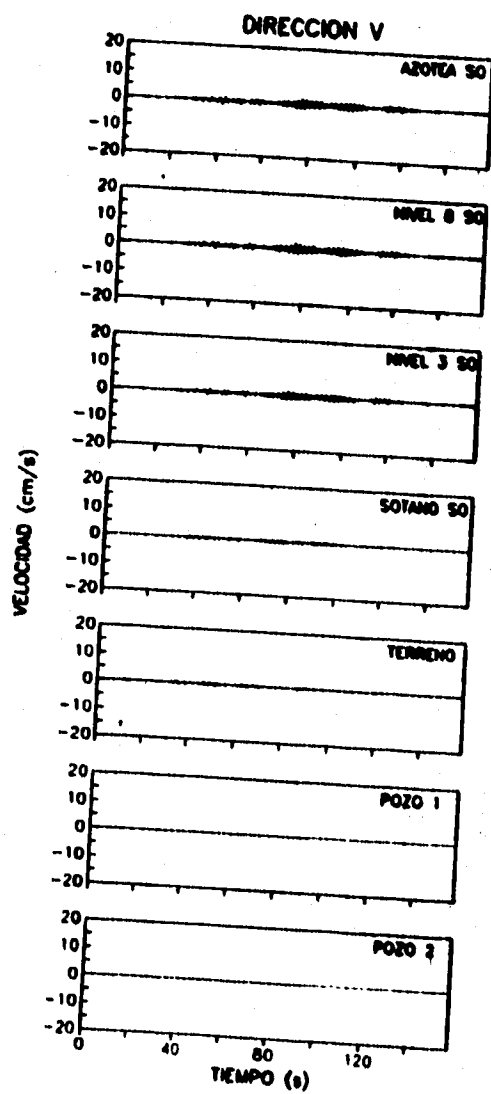


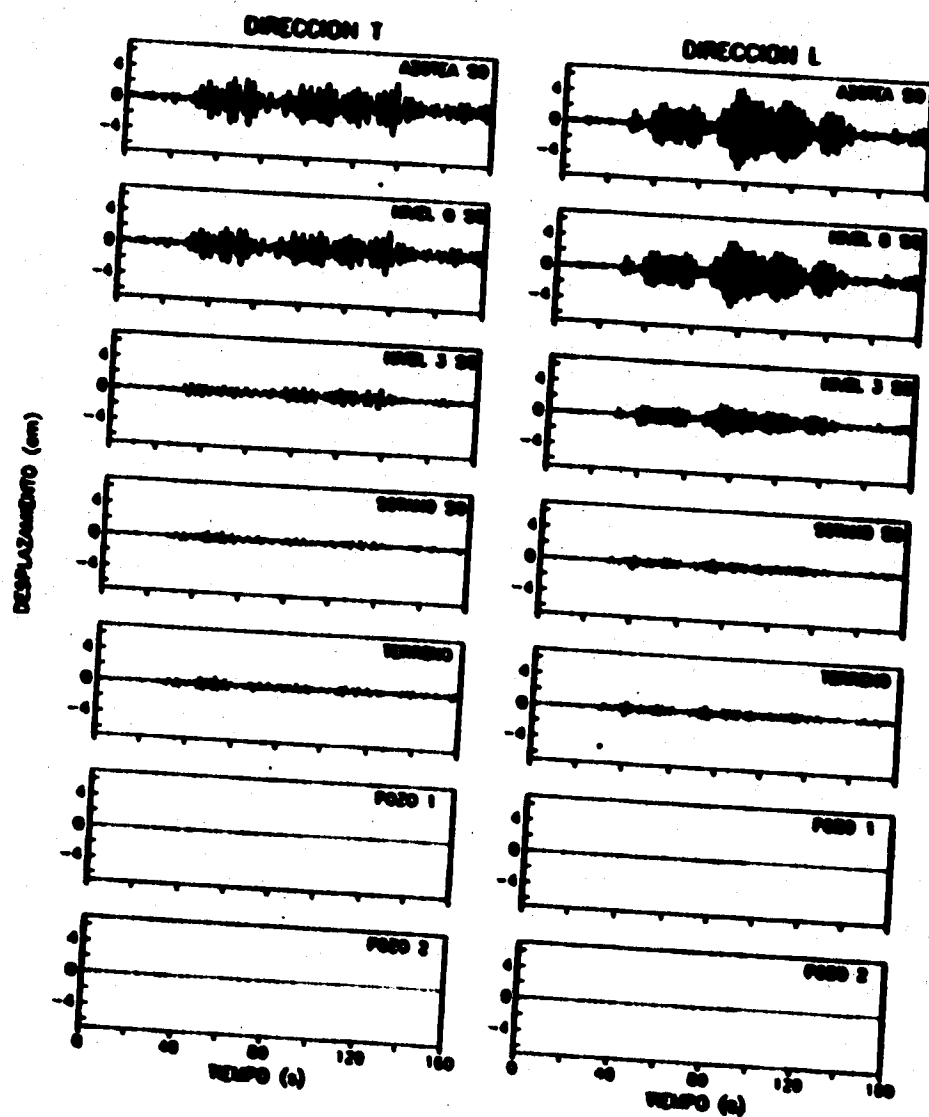


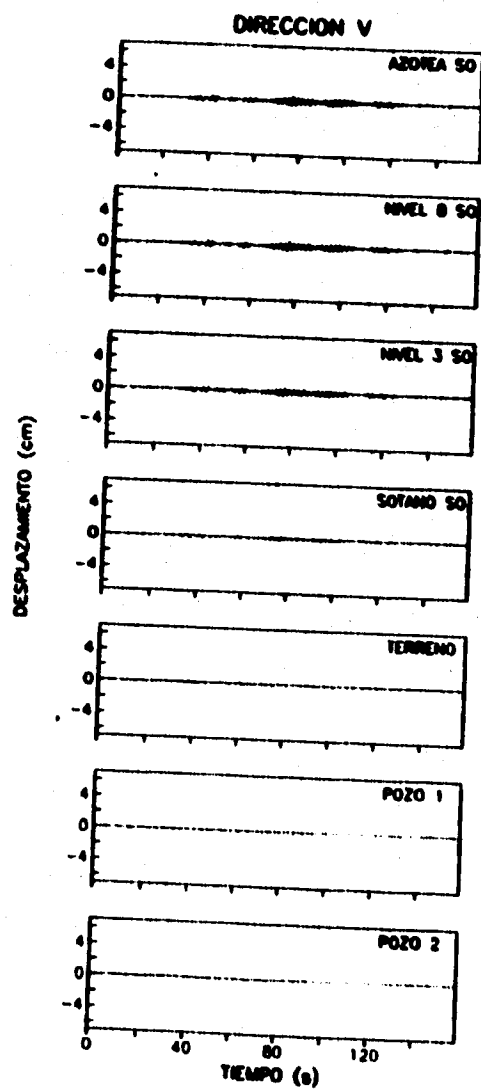












ANEXO II

DIRECCION T

- 1 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 2 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 3 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 4 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 5 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 6 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 7 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 8 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 9 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-3

DIRECCION L

- 10 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 11 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 12 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 13 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 14 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 15 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 16 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 17 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-3
- 18 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-3

DIRECCION T

- 19 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 20 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 21 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 22 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 23 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 24 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 25 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 26 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 27 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-4

DIRECCION L

- 28 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 29 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 30 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 31 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 32 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 33 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 34 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 35 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-4
- 36 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-4

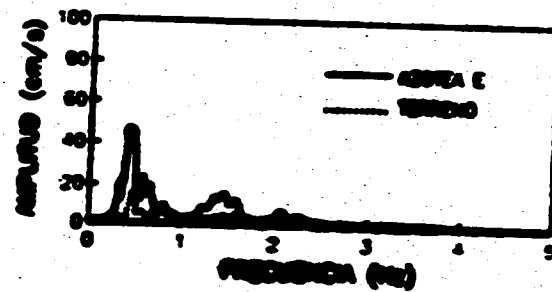
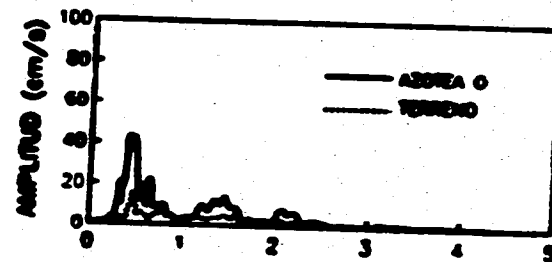
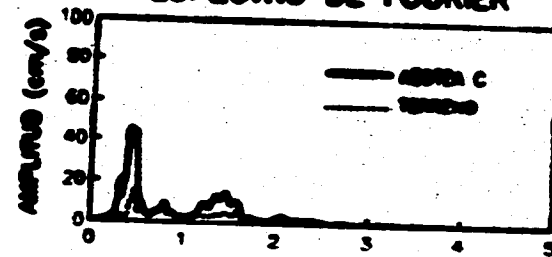
DIRECCION T

- 37 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 38 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 39 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 40 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 41 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 42 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 43 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 44 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 45 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-11

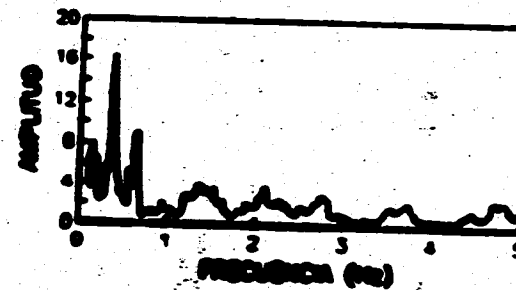
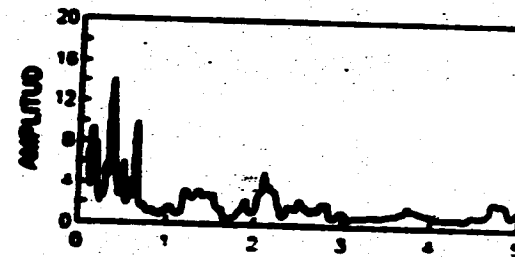
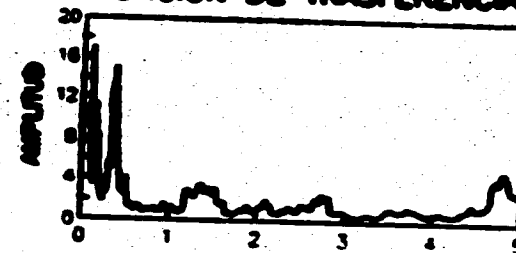
DIRECCION L

- 46 Espectros de azotea y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 47 Espectros de azotea y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 48 Espectros de nivel 10 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 49 Espectros de nivel 5 y sótano obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 50 Espectros de pozos, sótano y terreno obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 51 Espectros de azotea este y oeste obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 52 Espectros de azotea nivel 10 y nivel 5 obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 53 Espectros de sótano este, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-11
- 54 Espectros de sótano este, centro, oeste y norte obtenidos de los registros del sismo 93-11

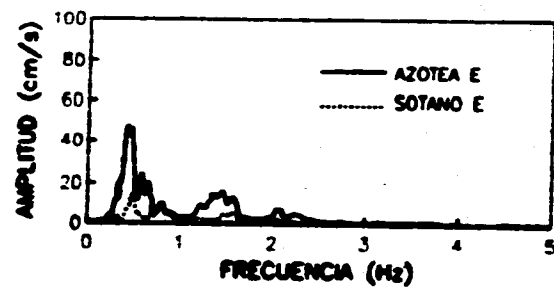
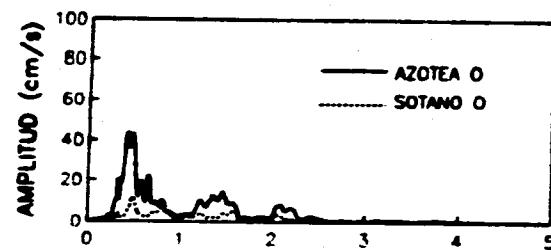
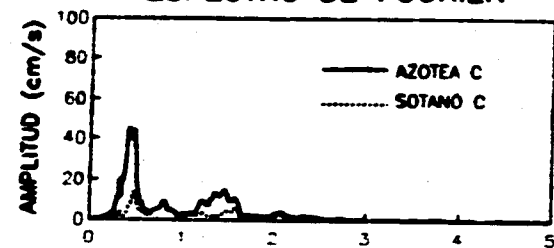
ESPECTRO DE FOURIER



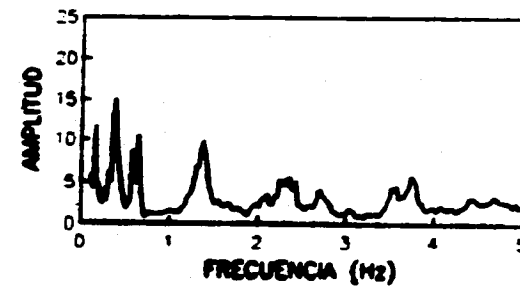
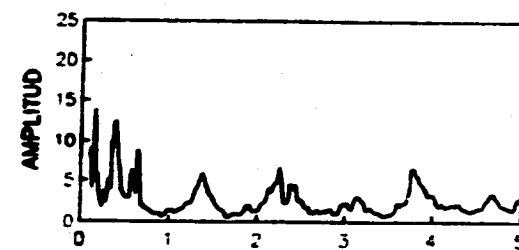
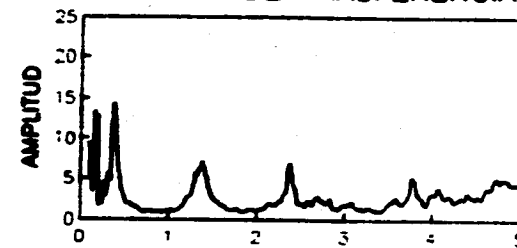
FUNCION DE TRASFERENCIA



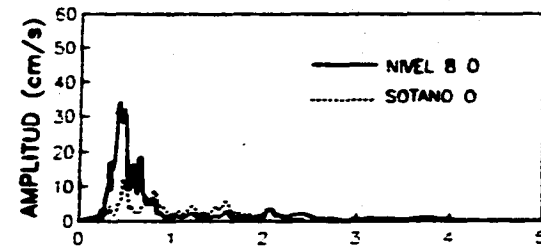
ESPECTRO DE FOURIER



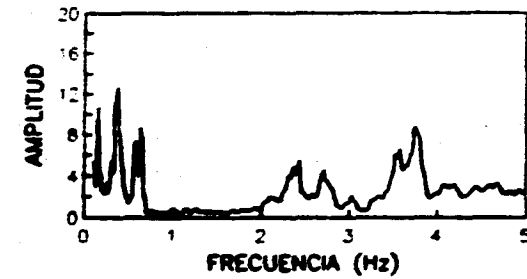
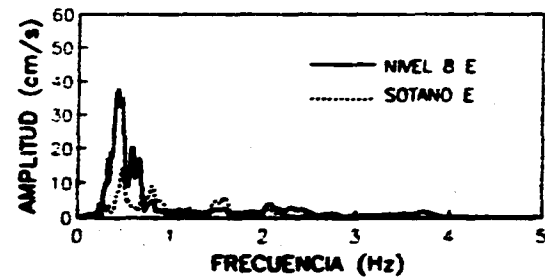
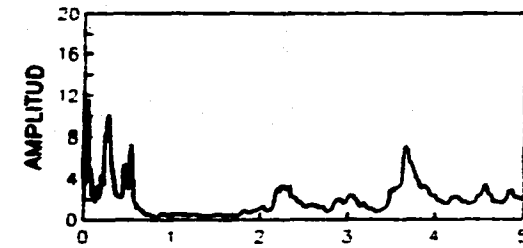
FUNCION DE TRASFERENCIA



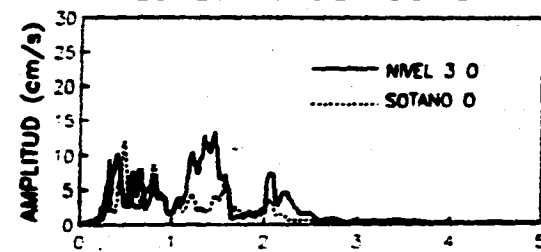
ESPECTRO DE FOURIER



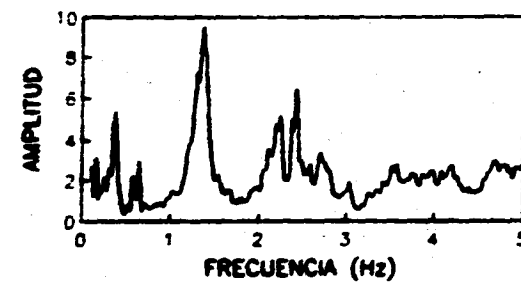
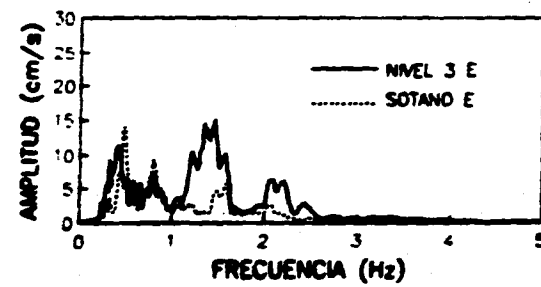
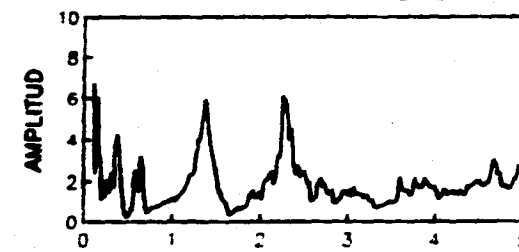
FUNCION DE TRASFERENCIA



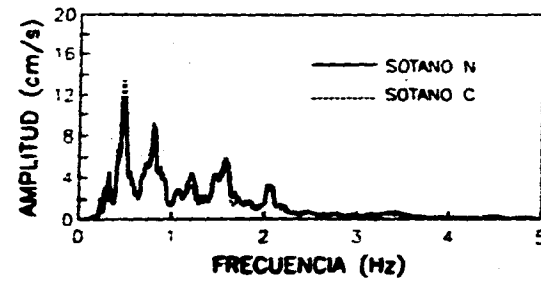
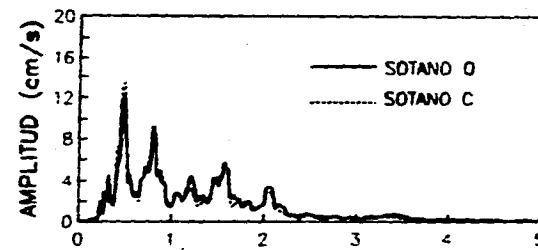
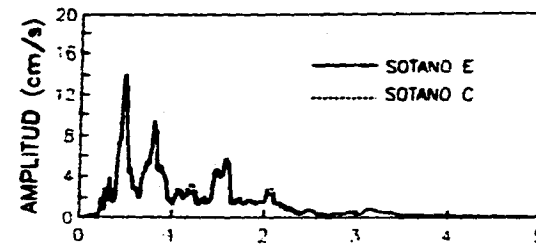
ESPECTRO DE FOURIER



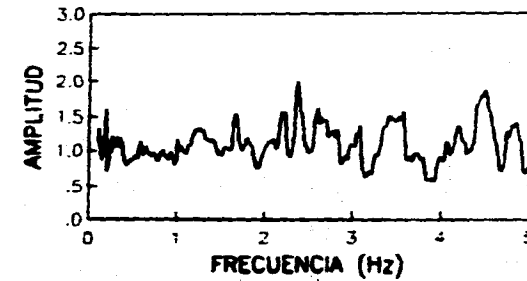
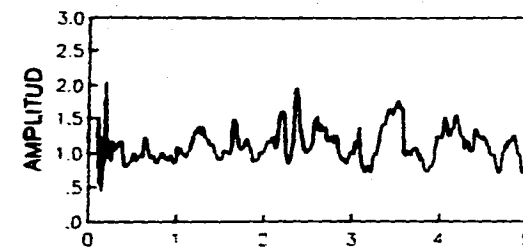
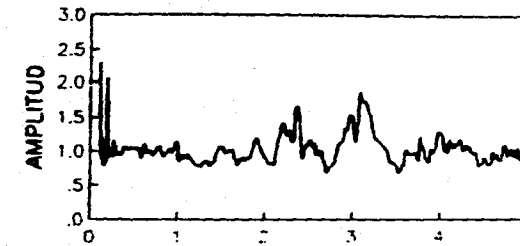
FUNCION DE TRASFERENCIA



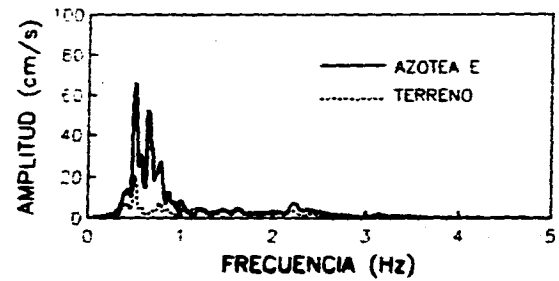
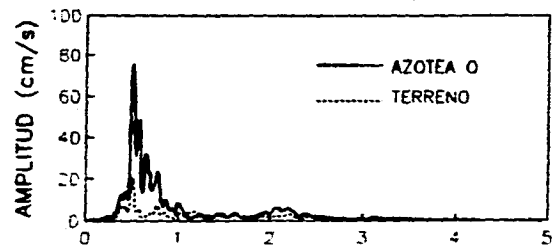
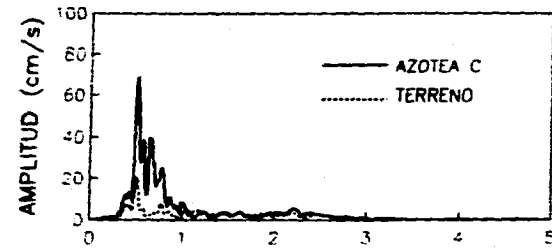
ESPECTRO DE FOURIER



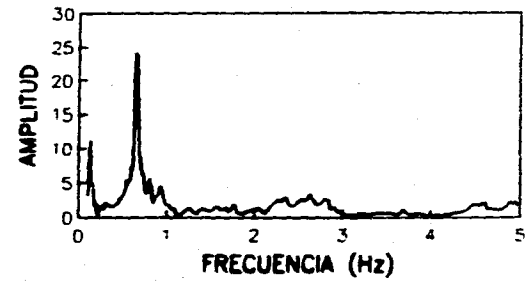
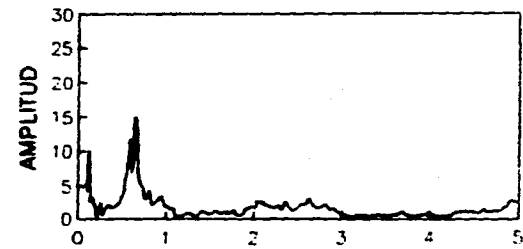
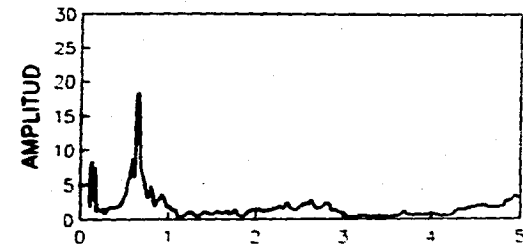
FUNCION DE TRASFERENCIA



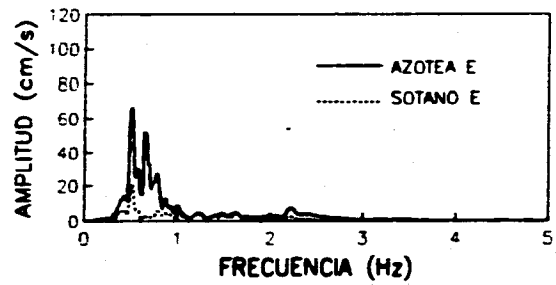
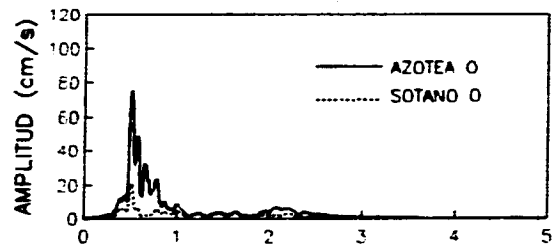
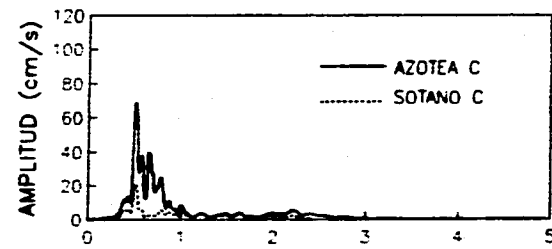
ESPECTRO DE FOURIER



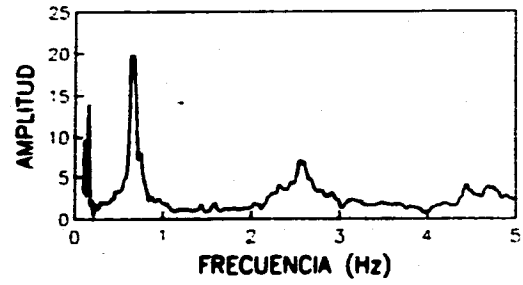
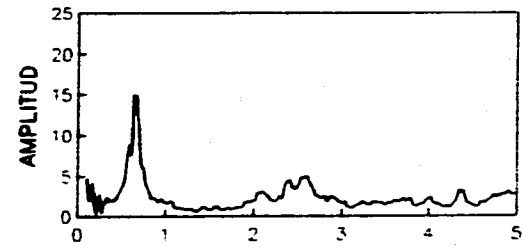
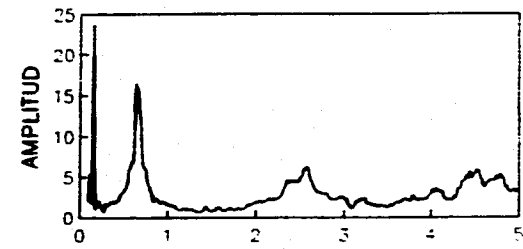
FUNCION DE TRASFERENCIA



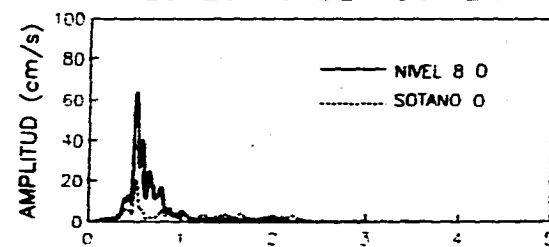
ESPECTRO DE FOURIER



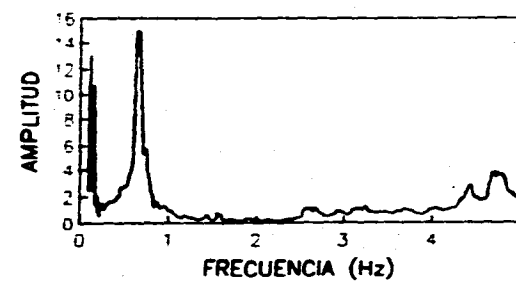
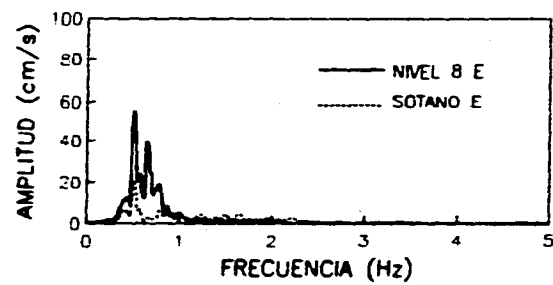
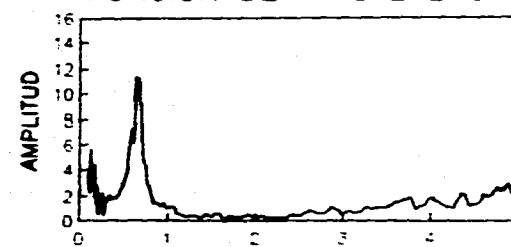
FUNCION DE TRASFERENCIA



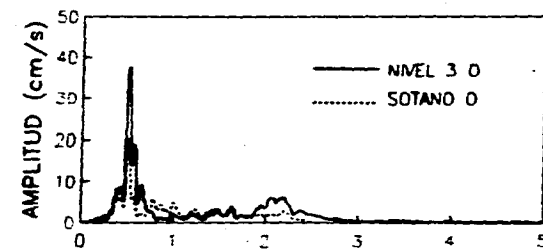
ESPECTRO DE FOURIER



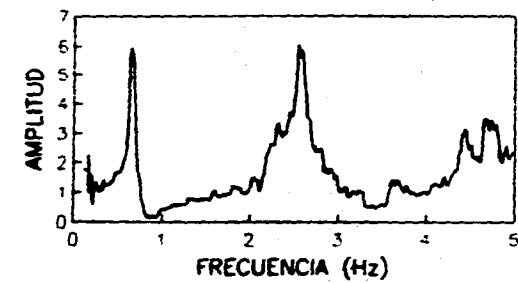
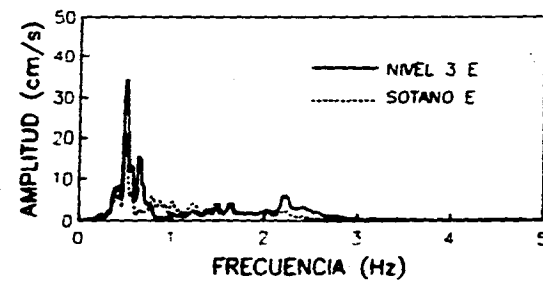
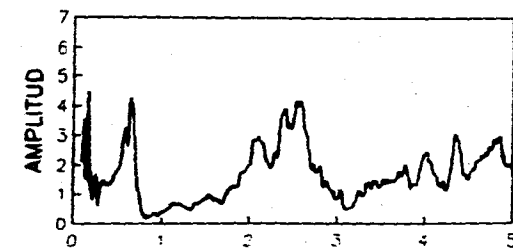
FUNCION DE TRASFERENCIA



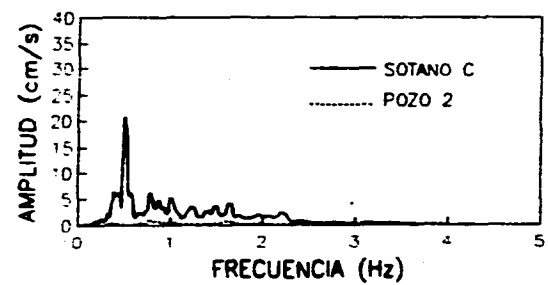
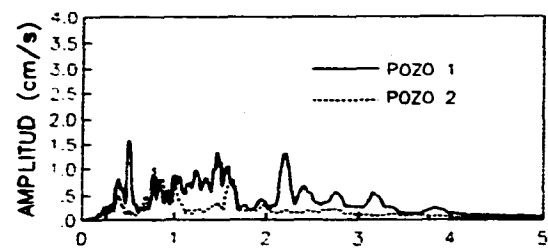
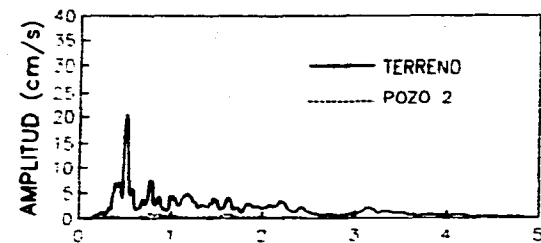
ESPECTRO DE FOURIER



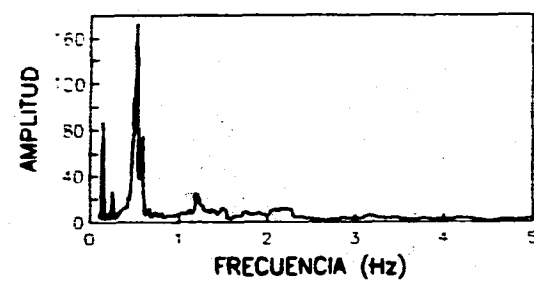
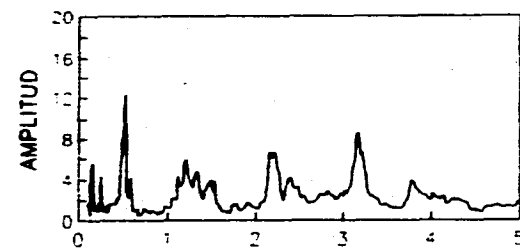
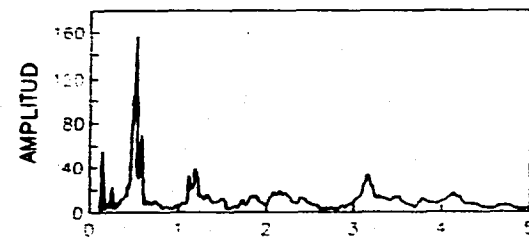
FUNCION DE TRASFERENCIA

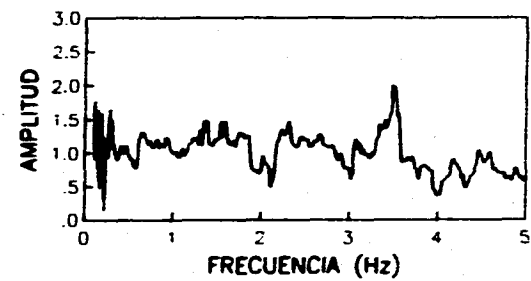
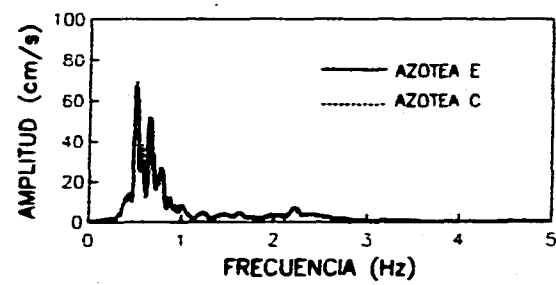
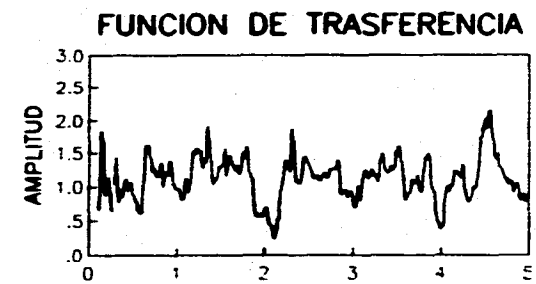
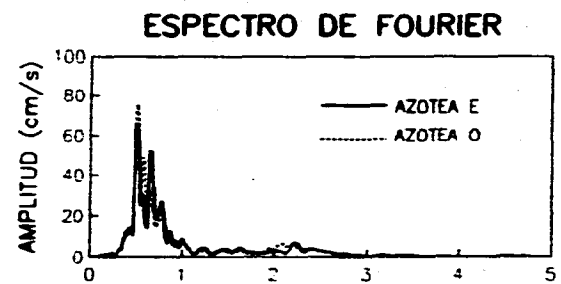


ESPECTRO DE FOURIER

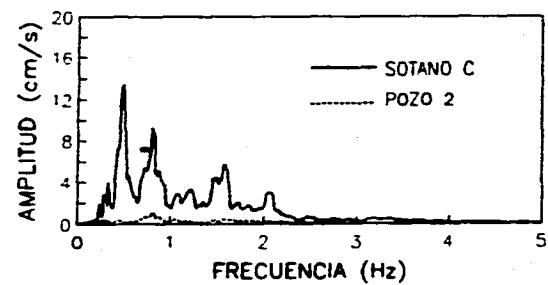
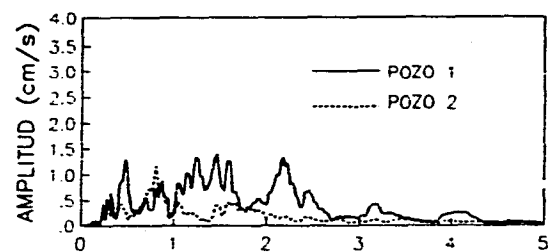
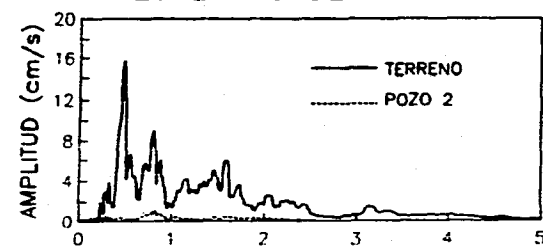


FUNCION DE TRASFERENCIA

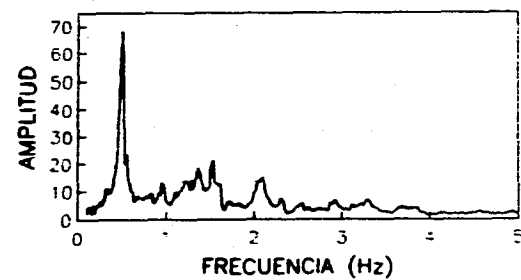
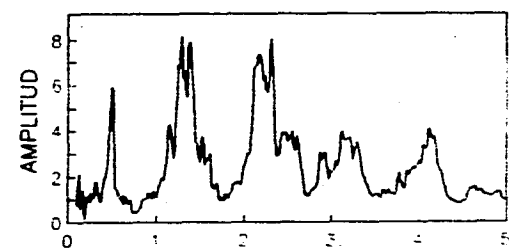
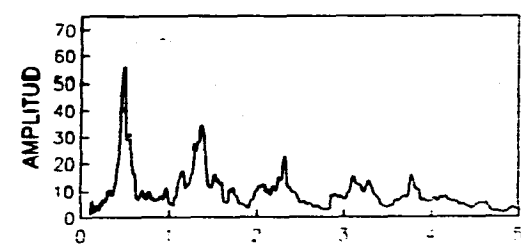


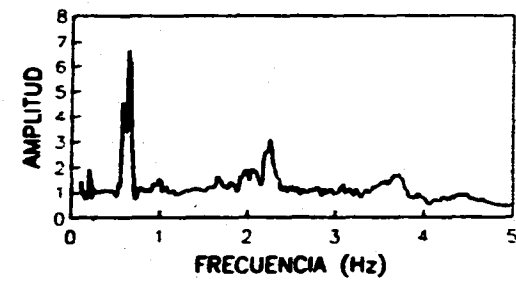
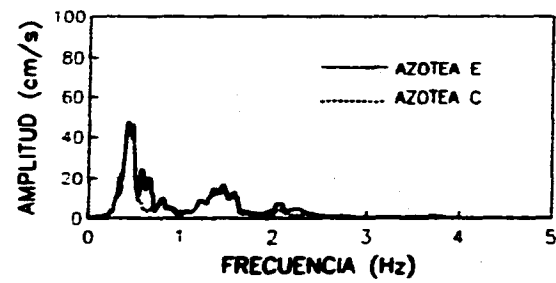
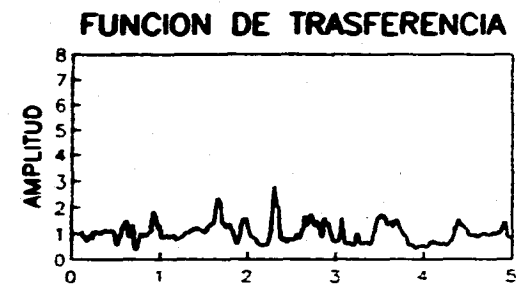
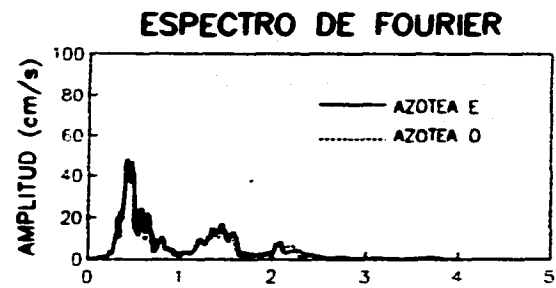


ESPECTRO DE FOURIER

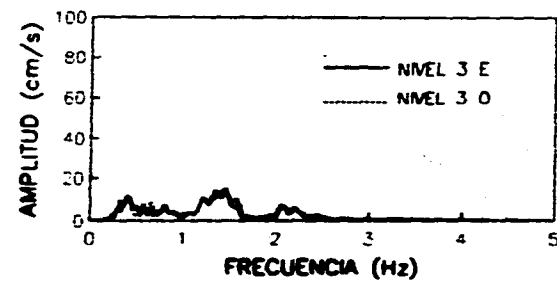
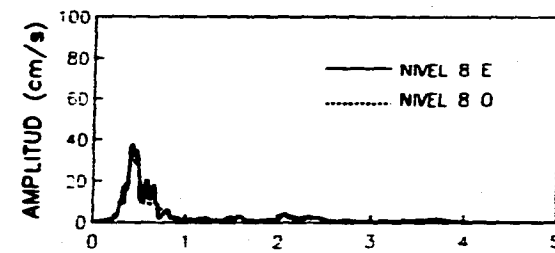
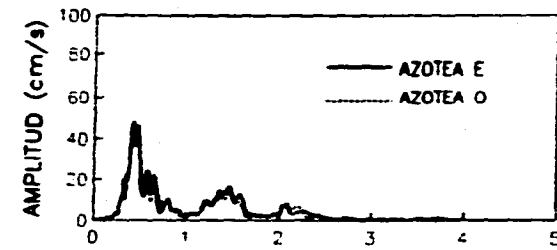


FUNCION DE TRASFERENCIA

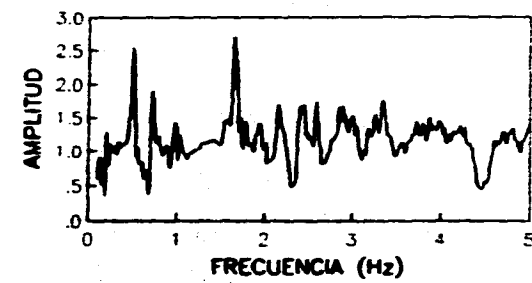
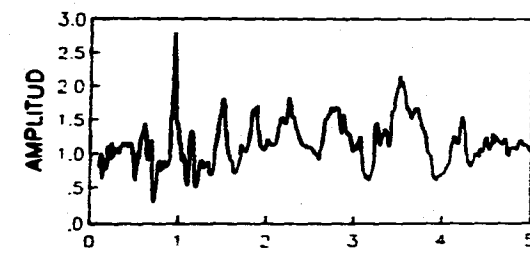
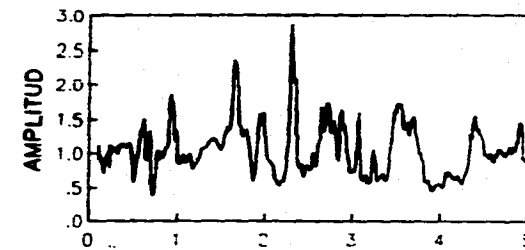




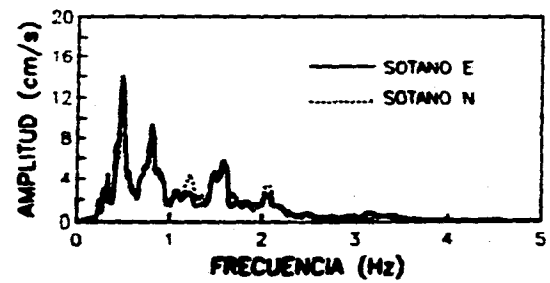
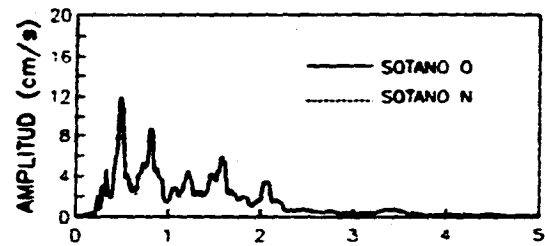
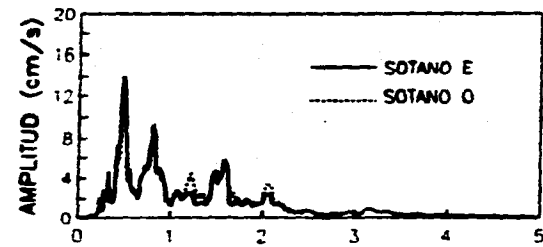
ESPECTRO DE FOURIER



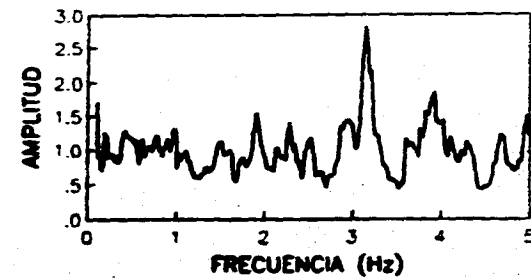
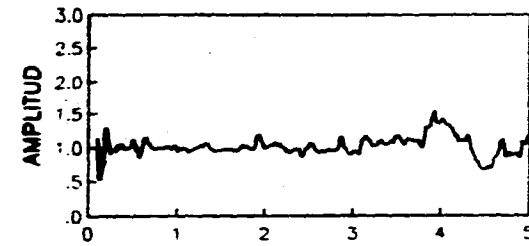
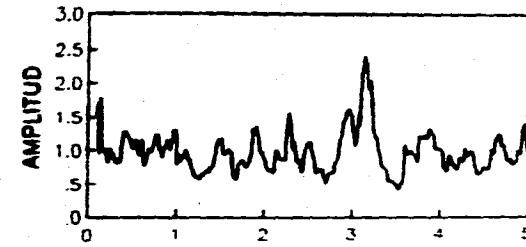
FUNCION DE TRASFERENCIA

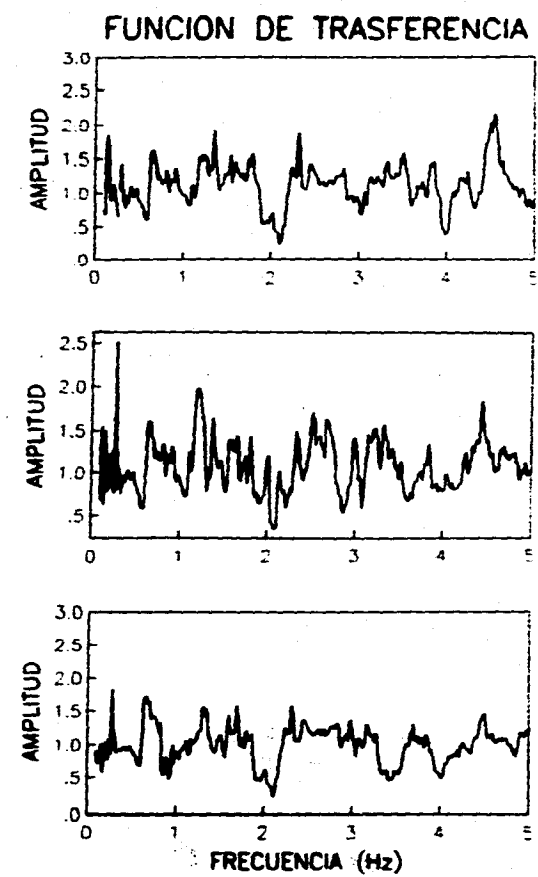
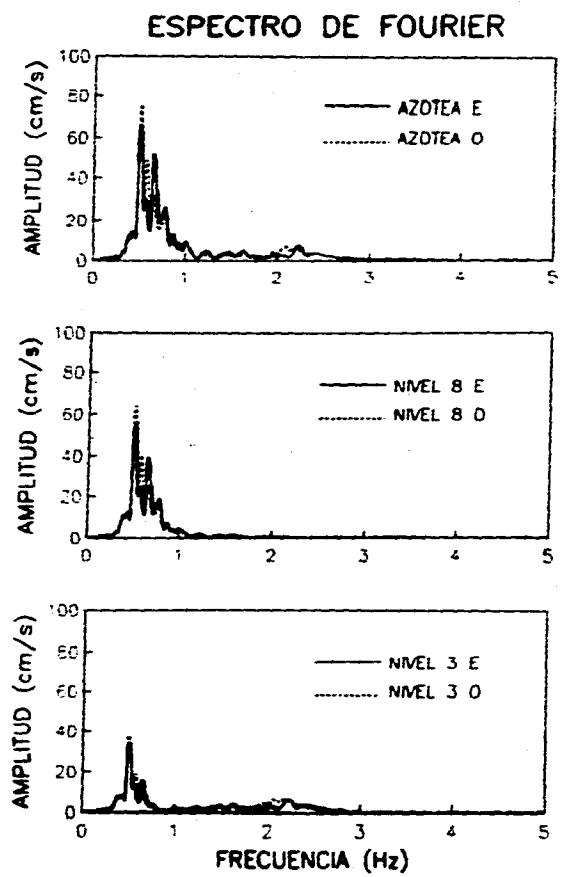


ESPECTRO DE FOURIER

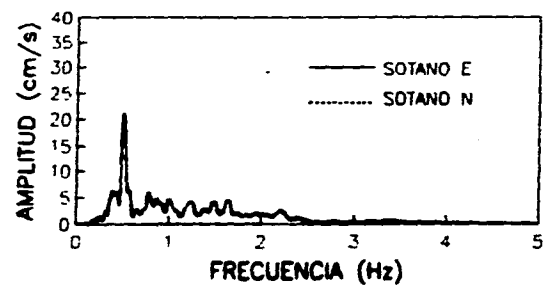
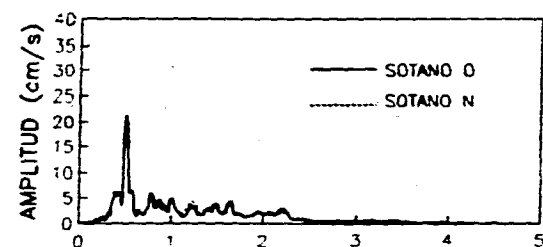
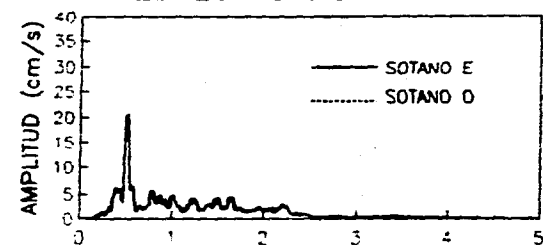


FUNCION DE TRASFERENCIA

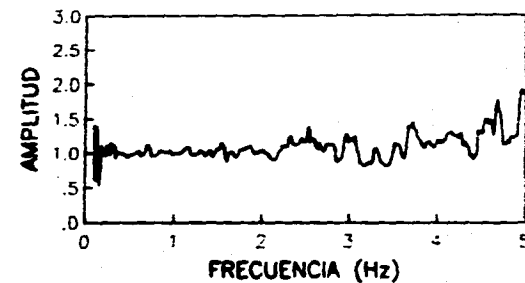
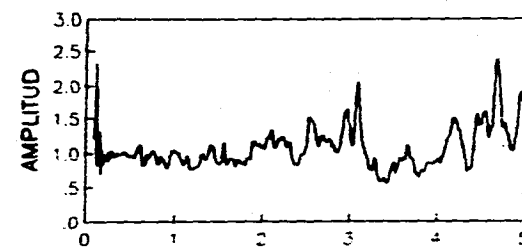
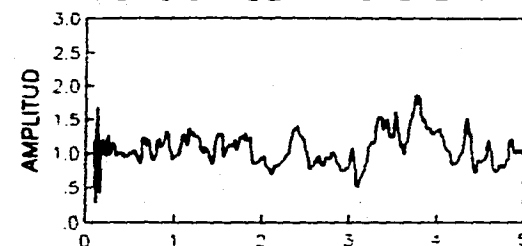




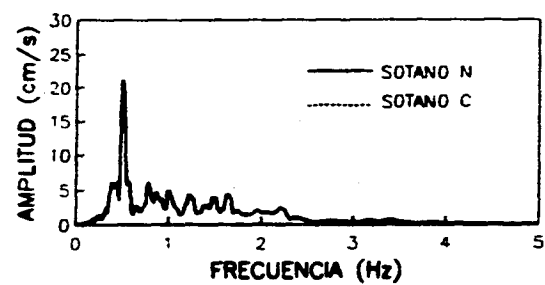
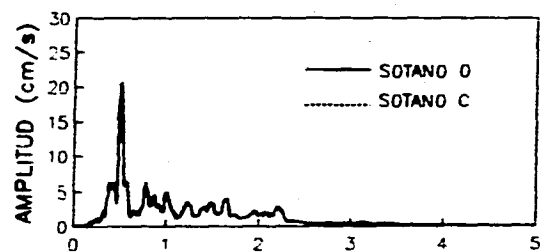
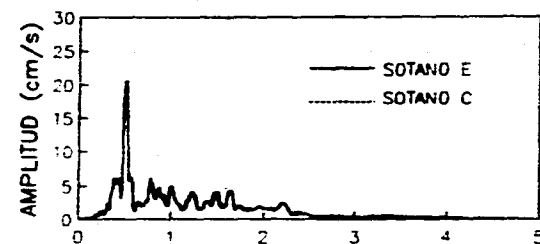
ESPECTRO DE FOURIER



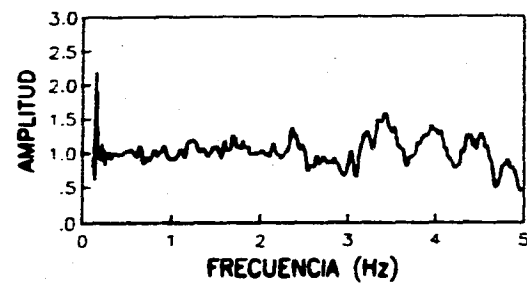
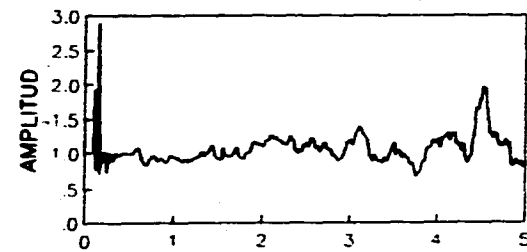
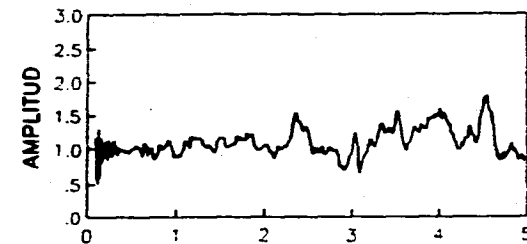
FUNCION DE TRASFERENCIA



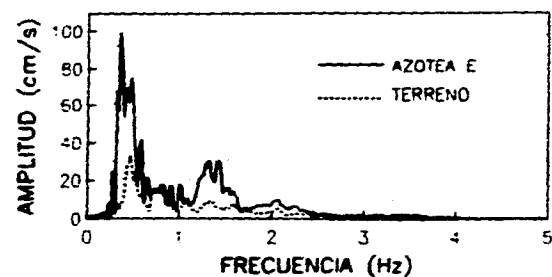
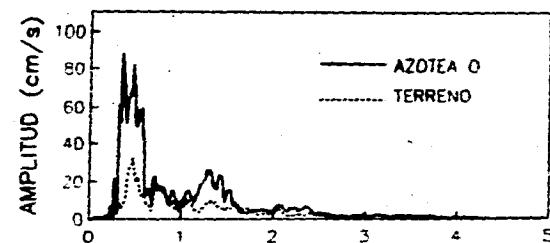
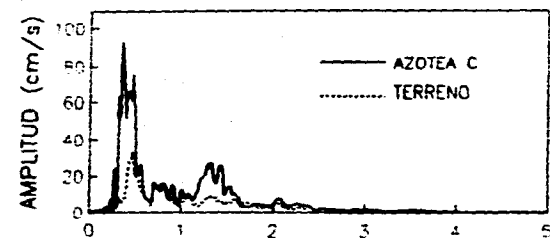
ESPECTRO DE FOURIER



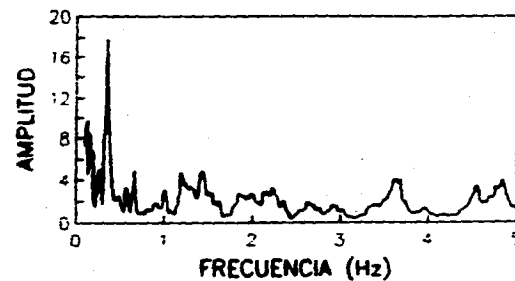
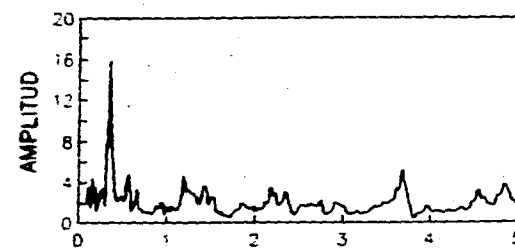
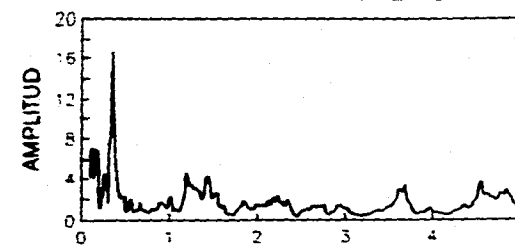
FUNCION DE TRASFERENCIA



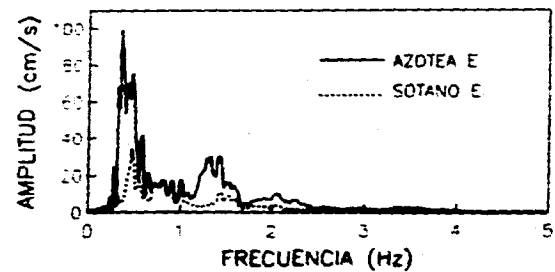
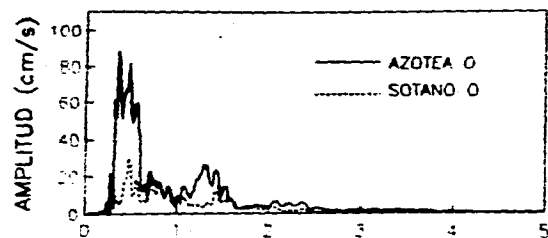
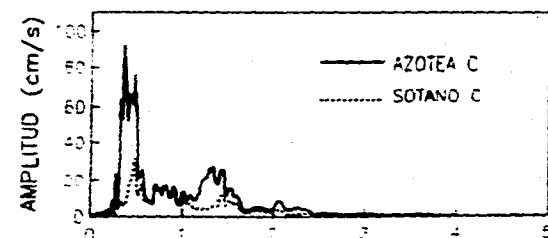
ESPECTRO DE FOURIER



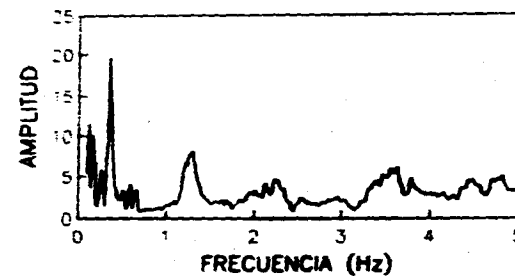
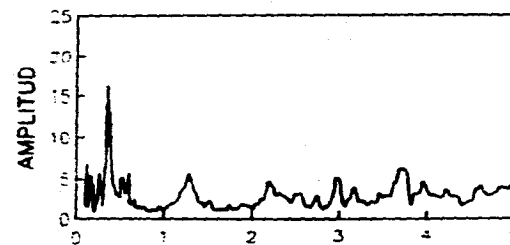
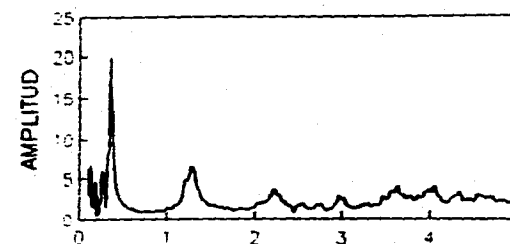
FUNCION DE TRASFERENCIA



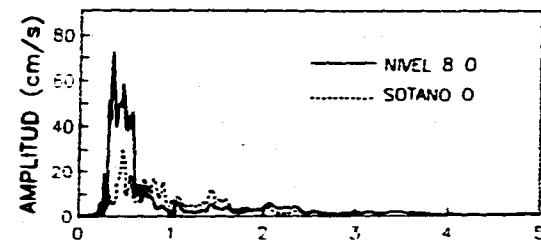
ESPECTRO DE FOURIER



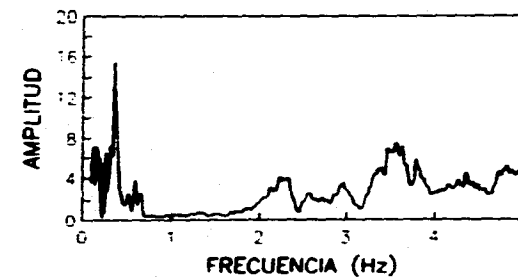
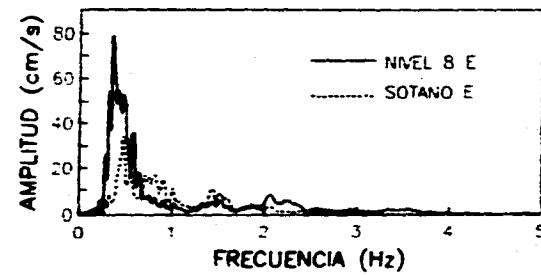
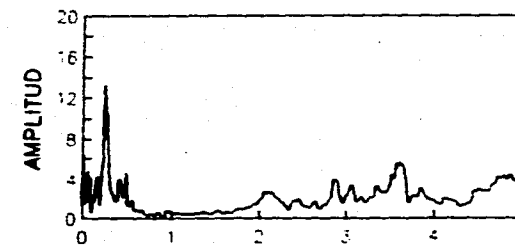
FUNCION DE TRASFERENCIA

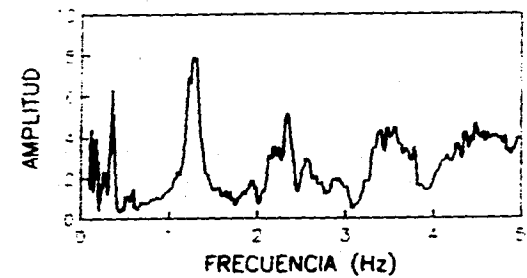
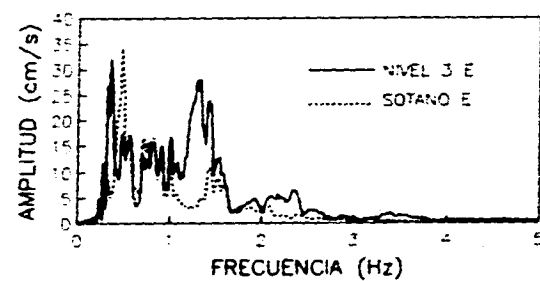
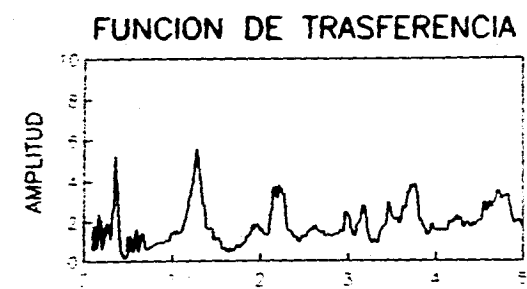
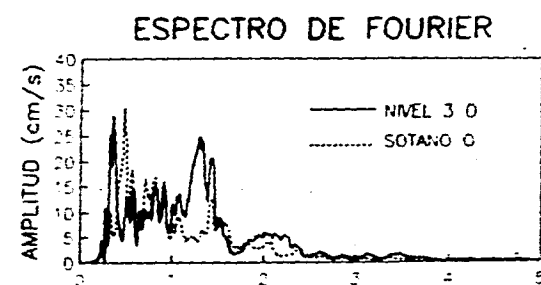


ESPECTRO DE FOURIER

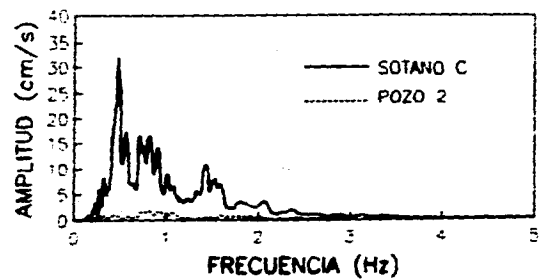
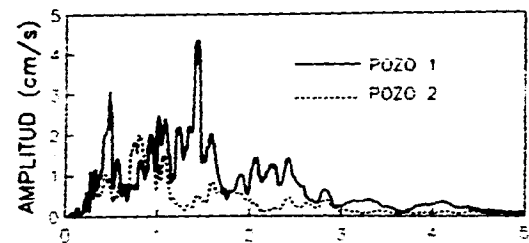
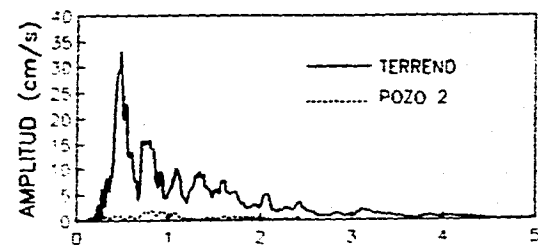


FUNCION DE TRASFERENCIA

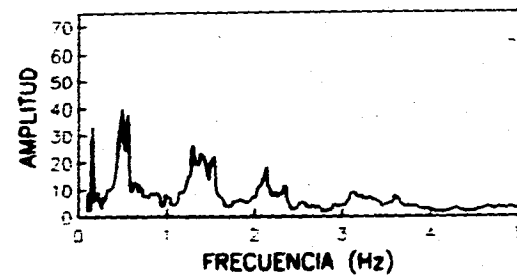
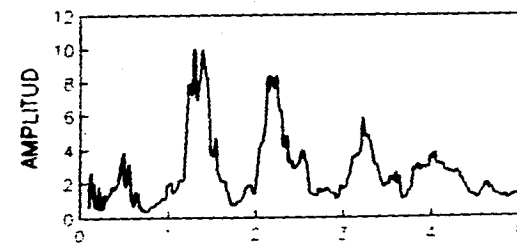
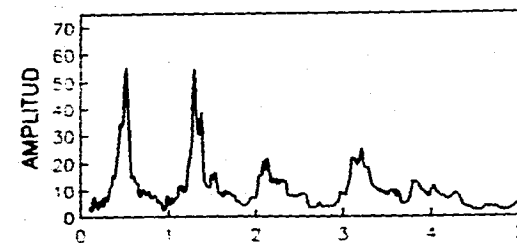


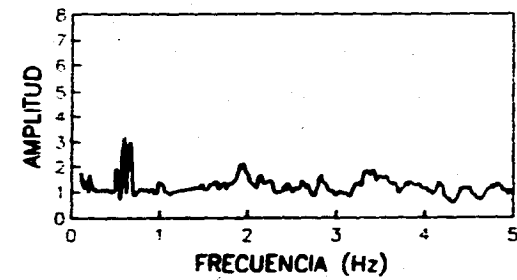
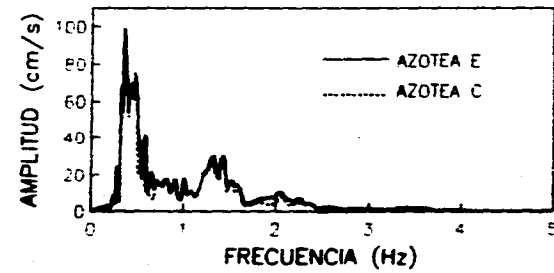
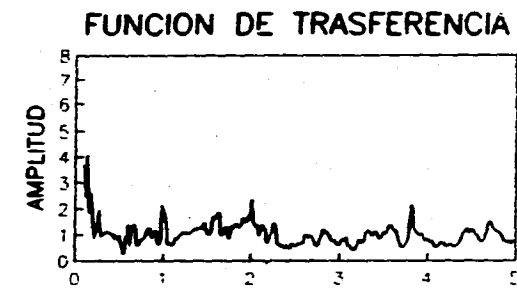
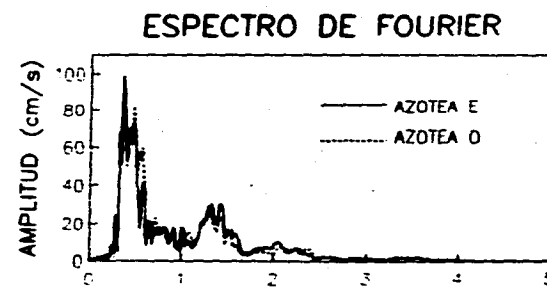


ESPECTRO DE FOURIER

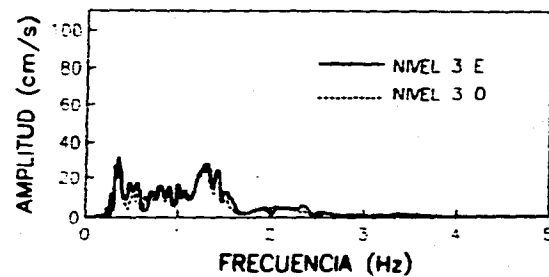
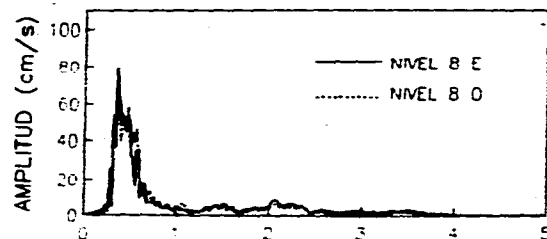
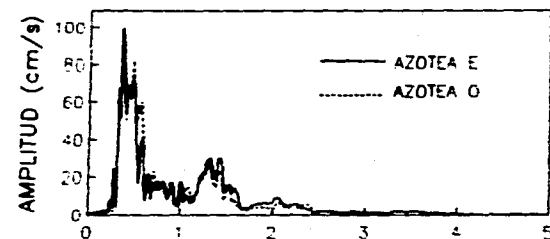


FUNCION DE TRASFERENCIA

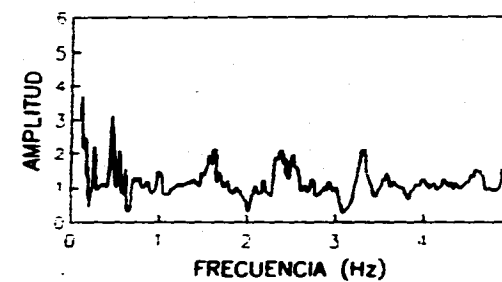
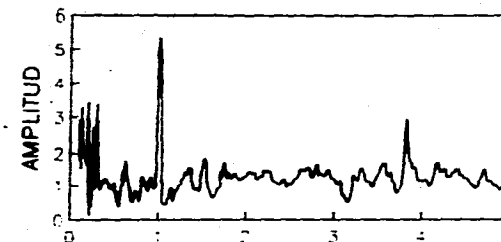
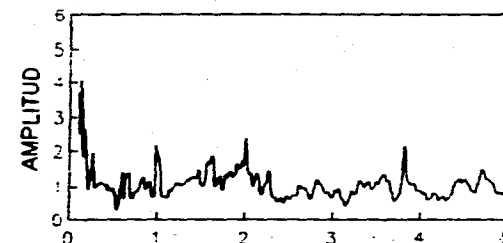




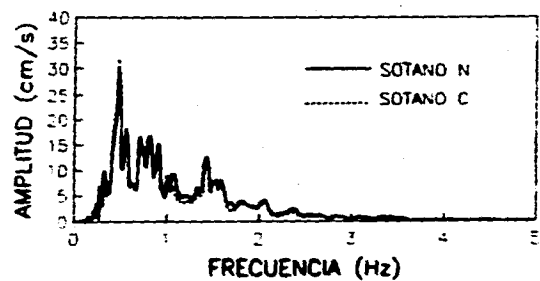
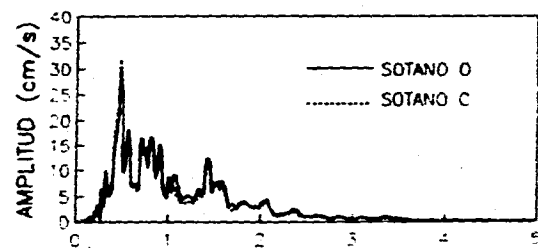
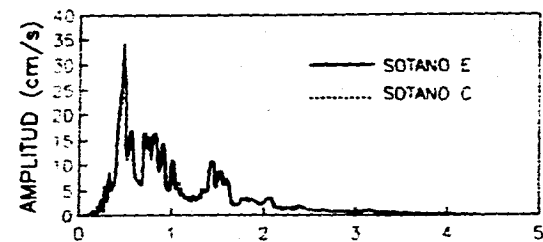
ESPECTRO DE FOURIER



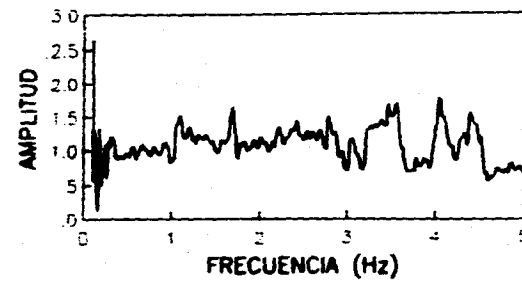
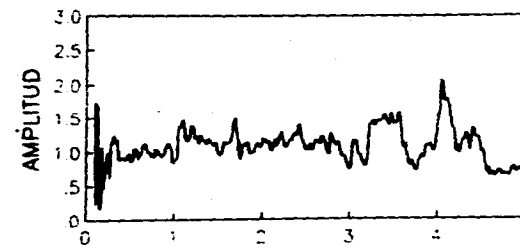
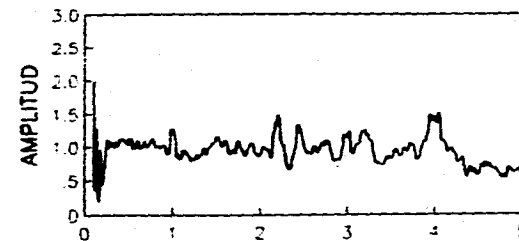
FUNCION DE TRASFERENCIA



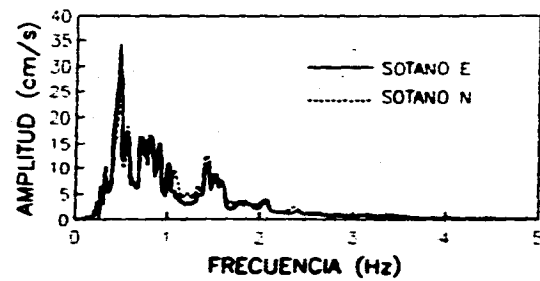
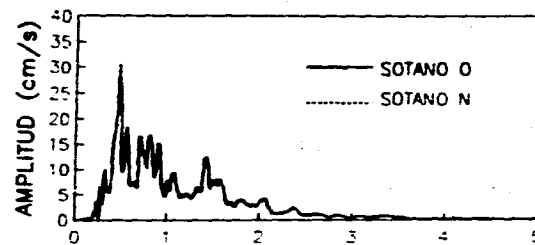
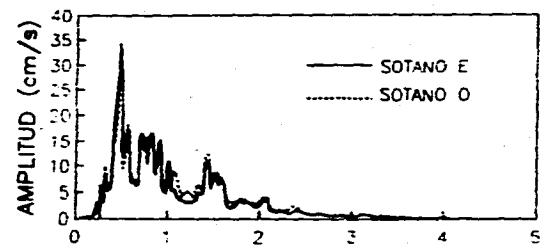
ESPECTRO DE FOURIER



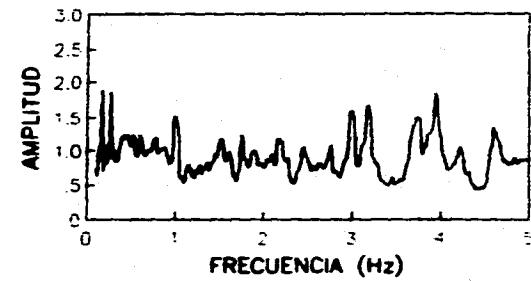
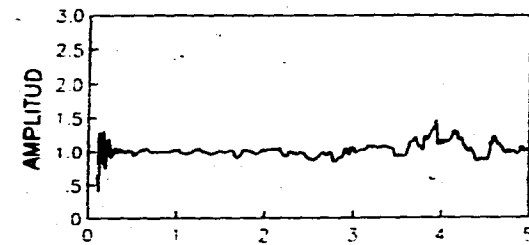
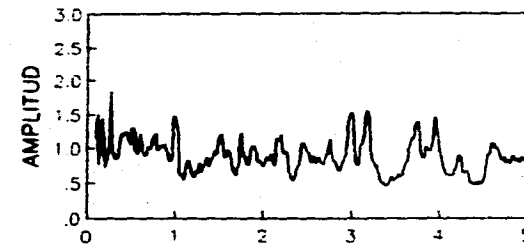
FUNCION DE TRASFERENCIA



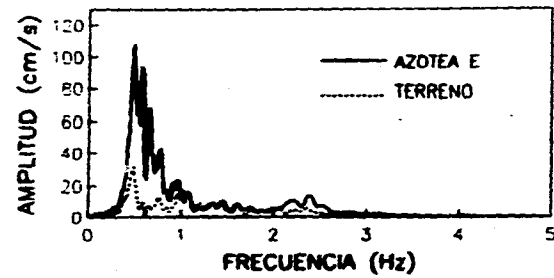
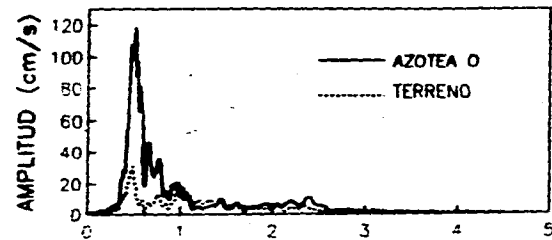
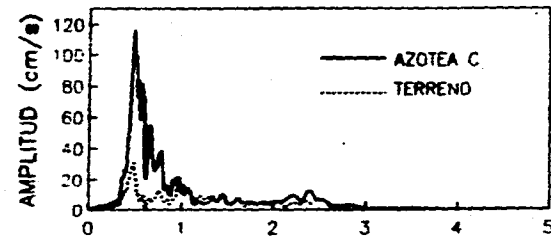
ESPECTRO DE FOURIER



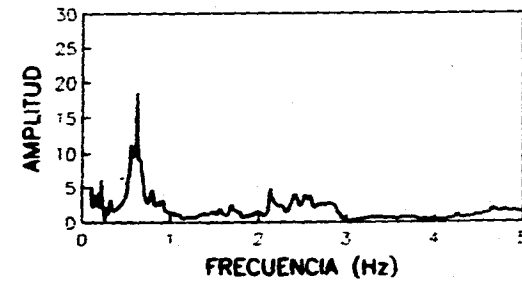
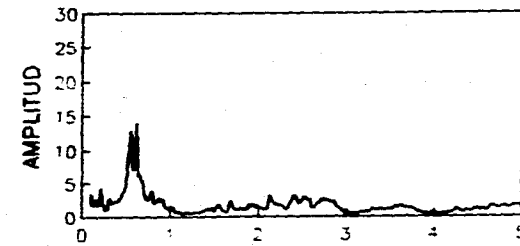
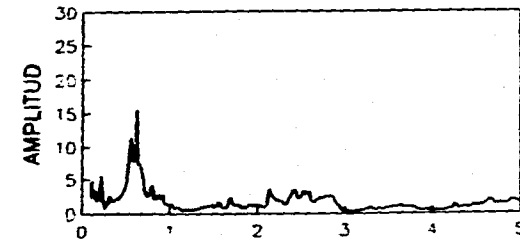
FUNCION DE TRASFERENCIA



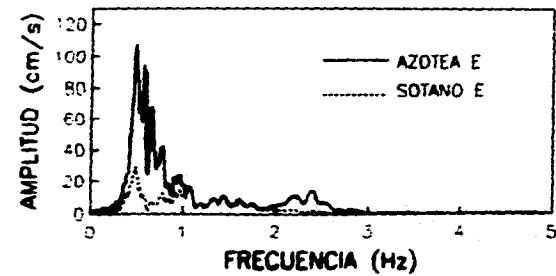
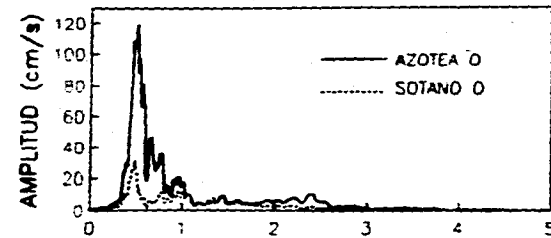
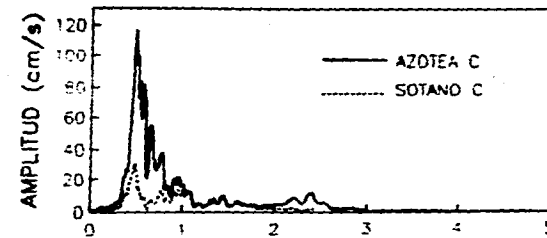
ESPECTRO DE FOURIER



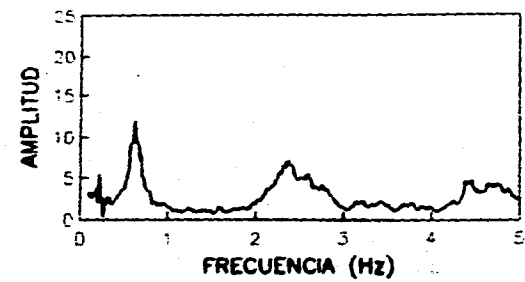
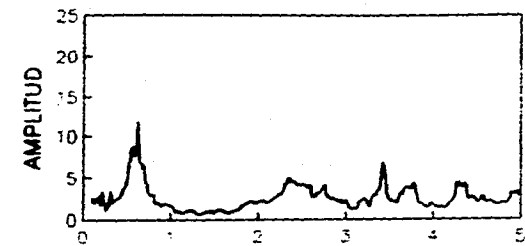
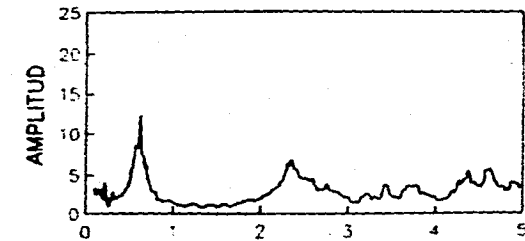
FUNCION DE TRASFERENCIA

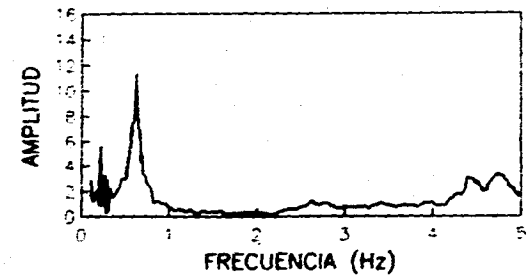
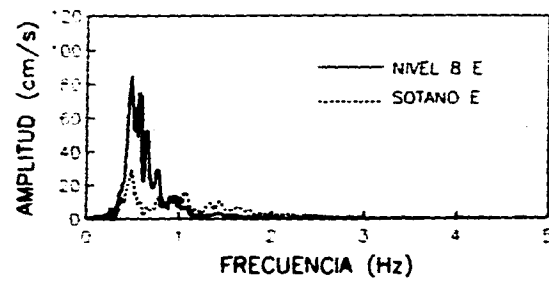
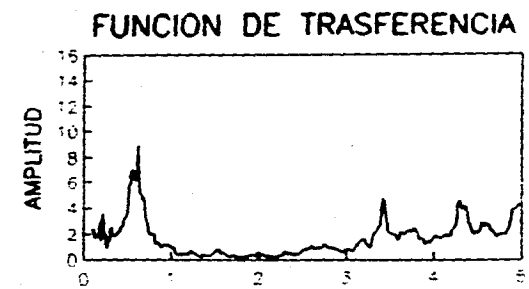
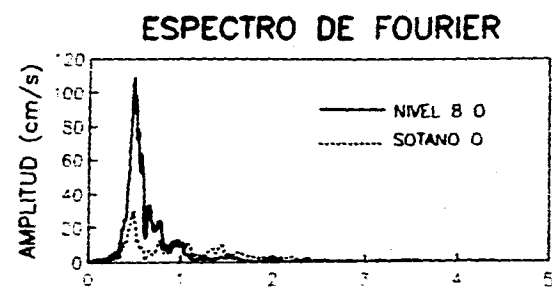


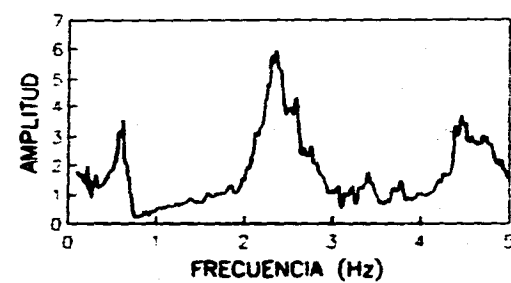
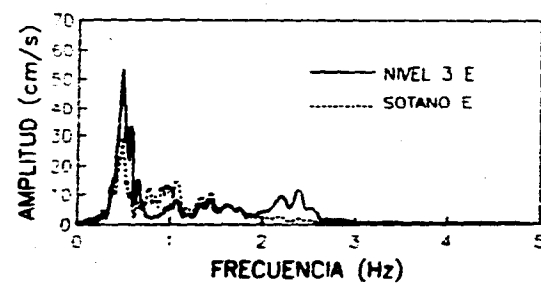
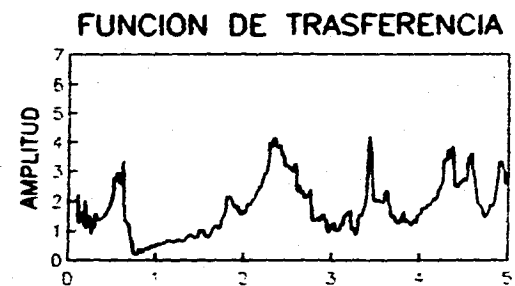
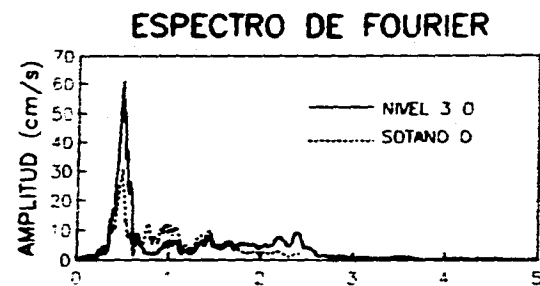
ESPECTRO DE FOURIER



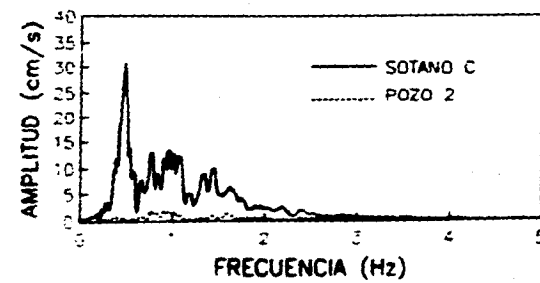
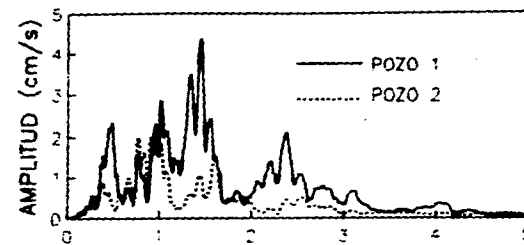
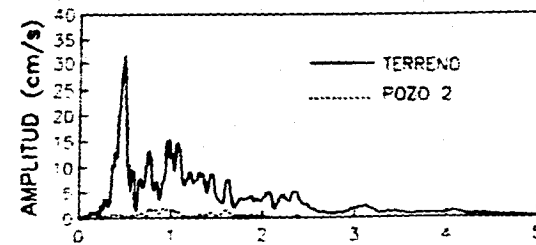
FUNCION DE TRASFERENCIA



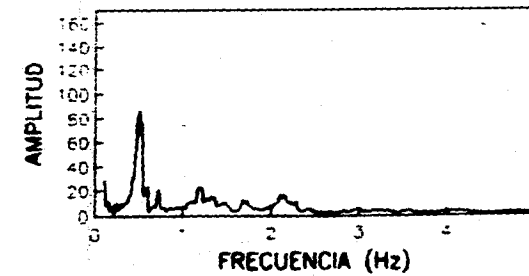
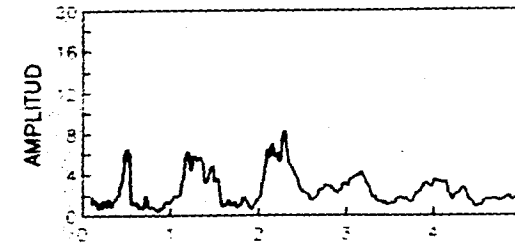
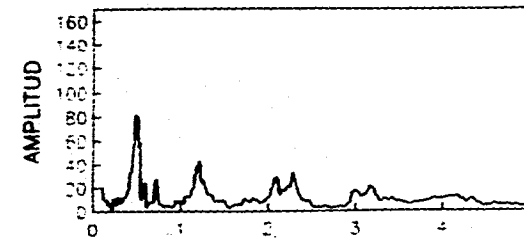




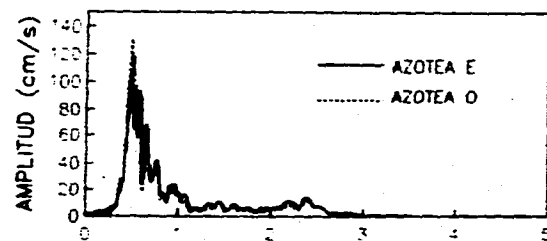
ESPECTRO DE FOURIER



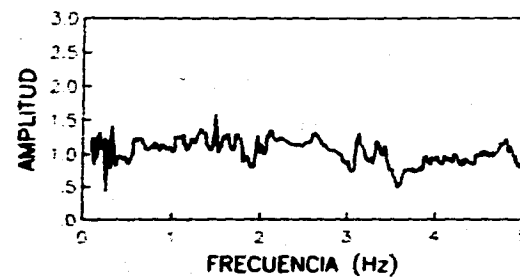
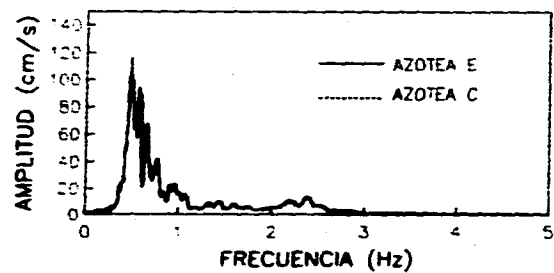
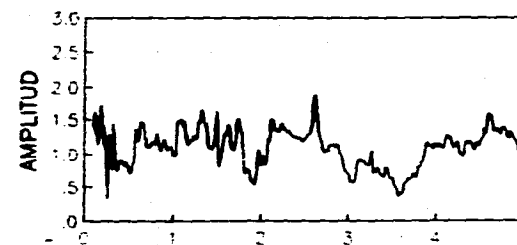
FUNCION DE TRASFERENCIA



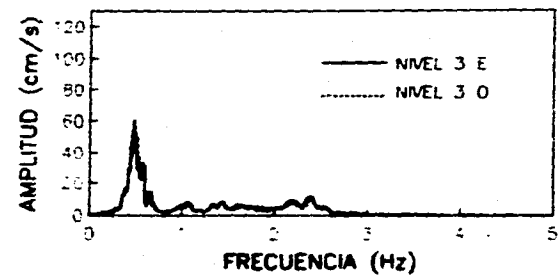
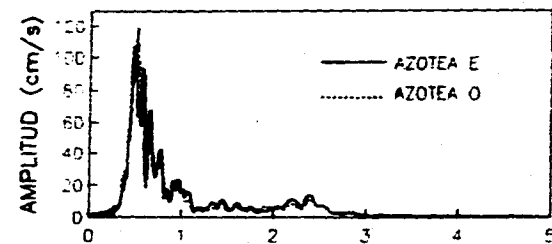
ESPECTRO DE FOURIER



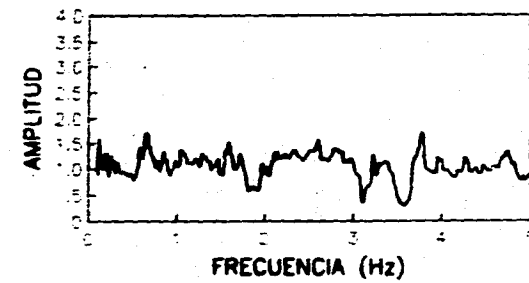
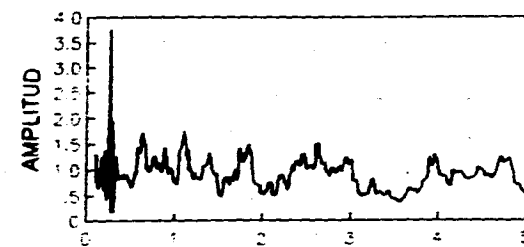
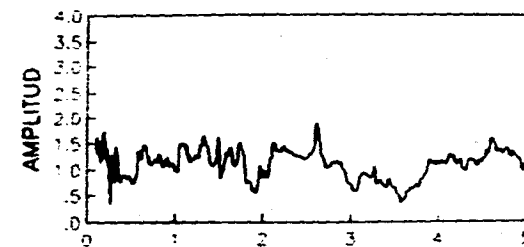
FUNCION DE TRASFERENCIA



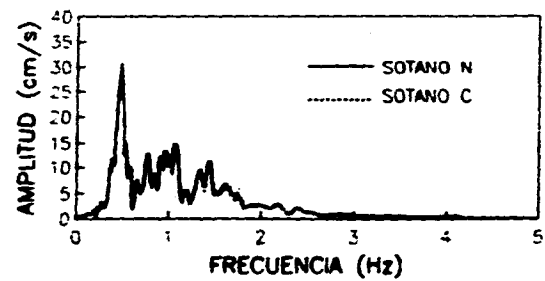
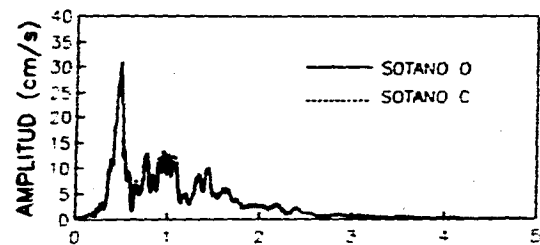
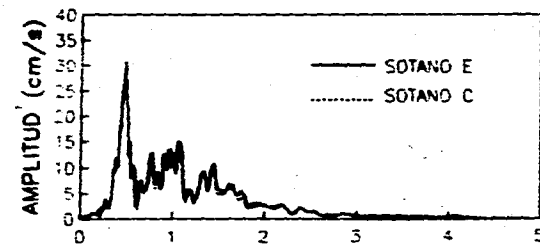
ESPECTRO DE FOURIER



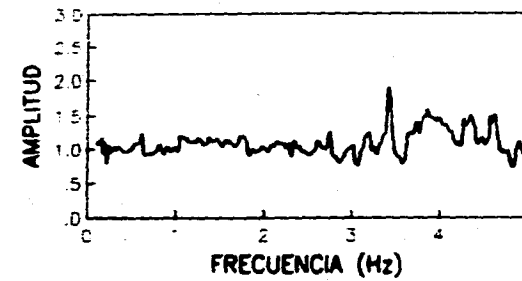
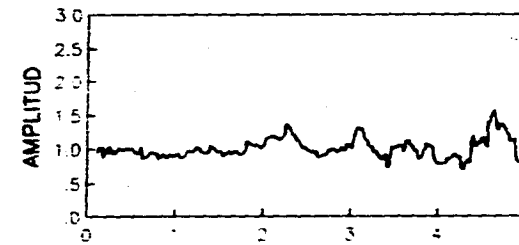
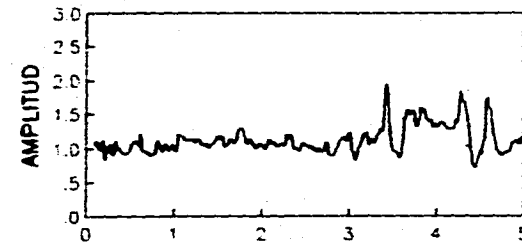
FUNCION DE TRASFERENCIA



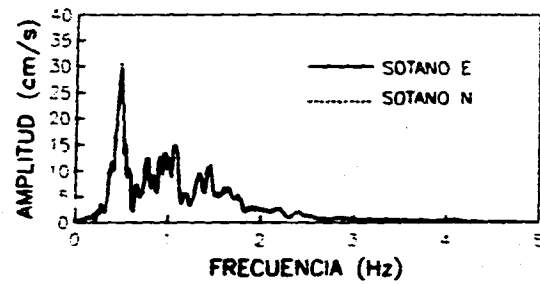
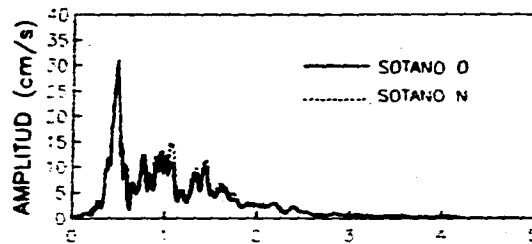
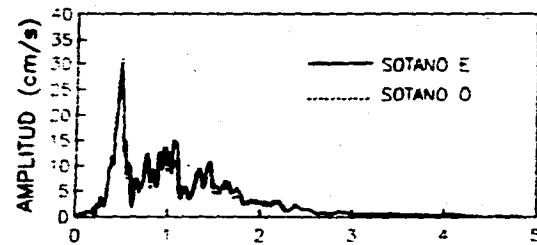
ESPECTRO DE FOURIER



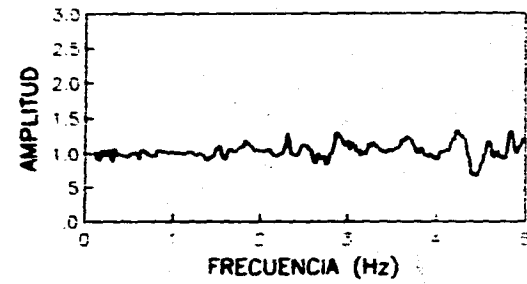
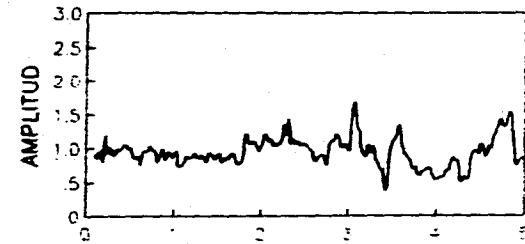
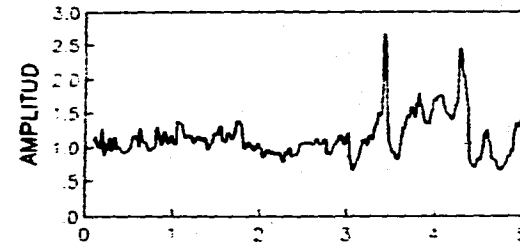
FUNCION DE TRASFERENCIA



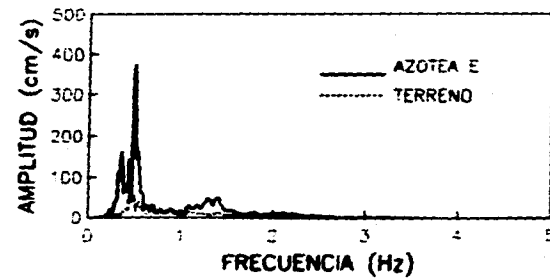
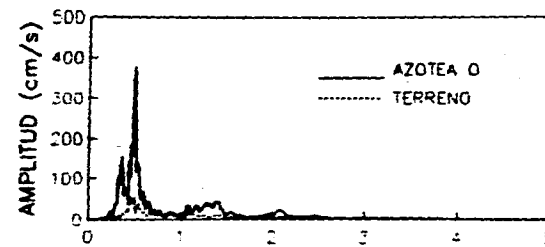
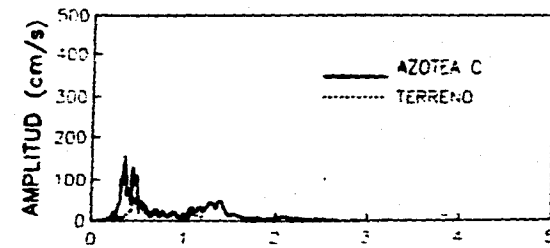
ESPECTRO DE FOURIER



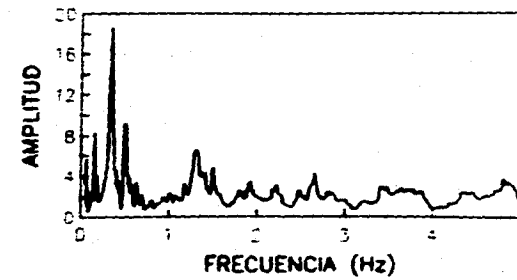
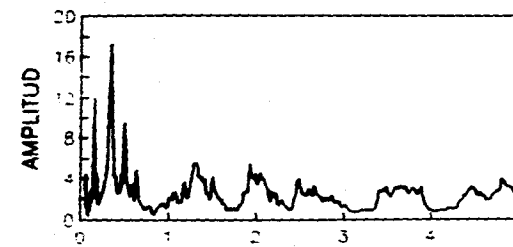
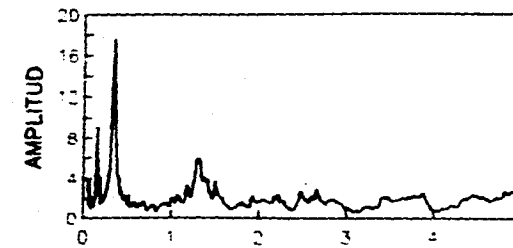
FUNCION DE TRASFERENCIA



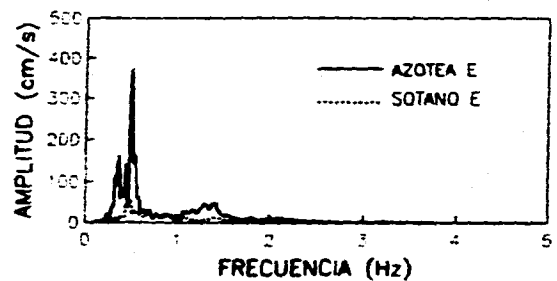
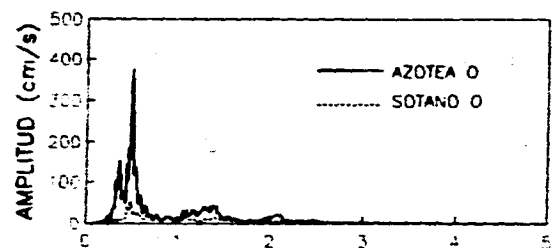
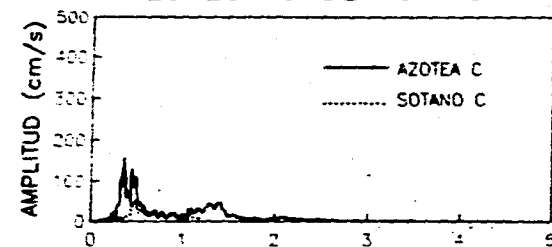
ESPECTRO DE FOURIER



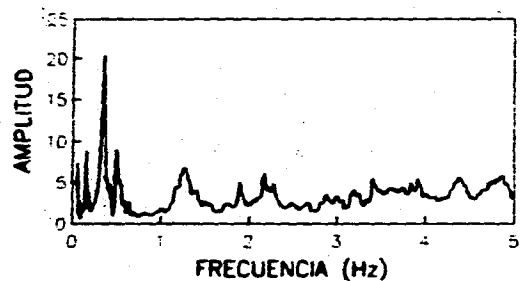
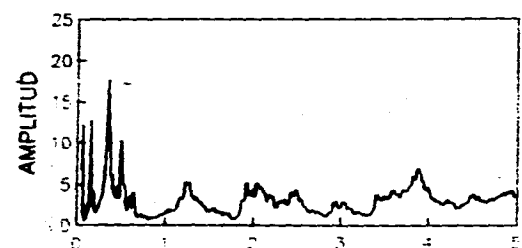
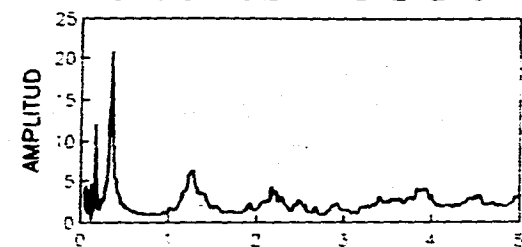
FUNCION DE TRASFERENCIA

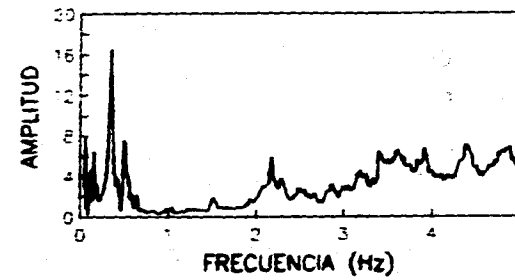
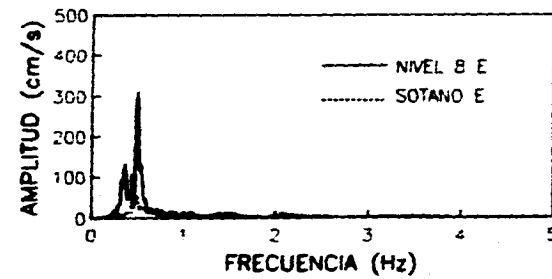
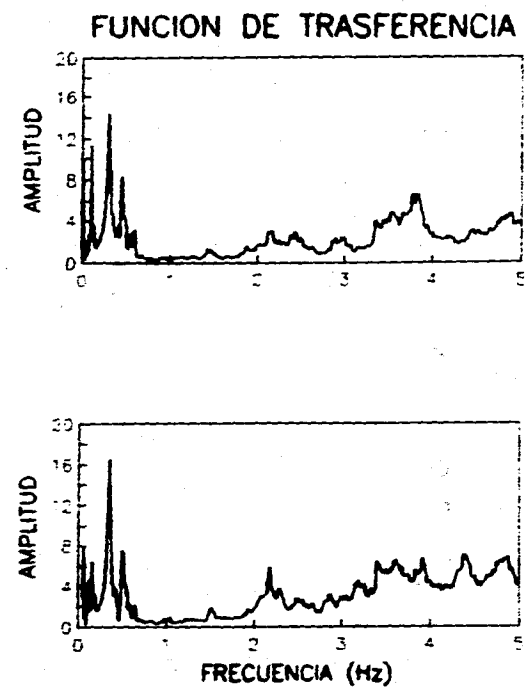
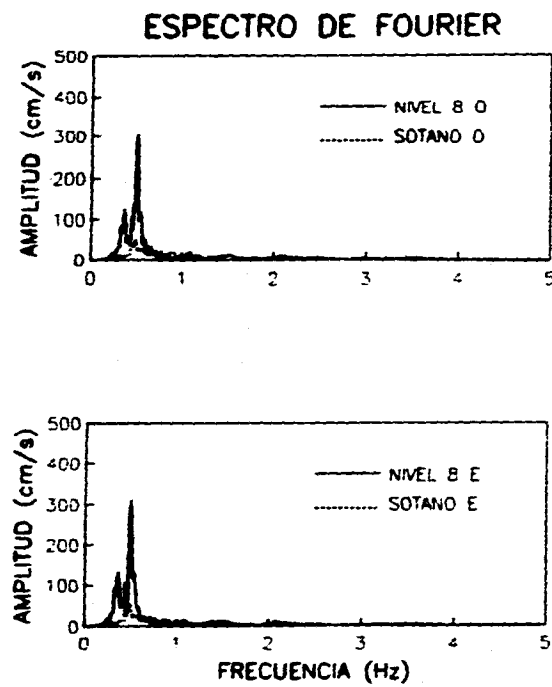


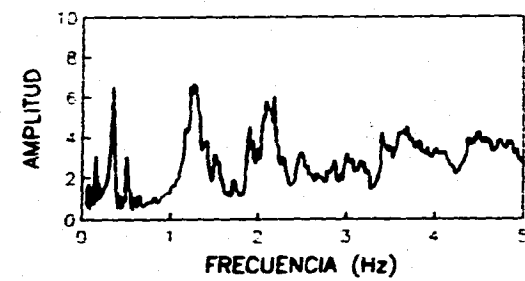
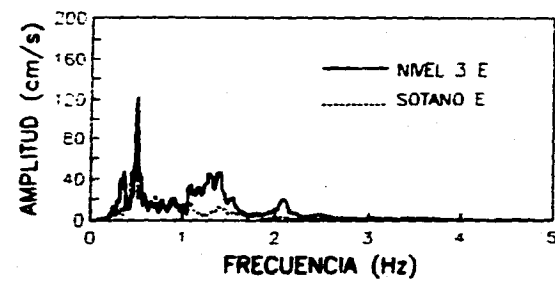
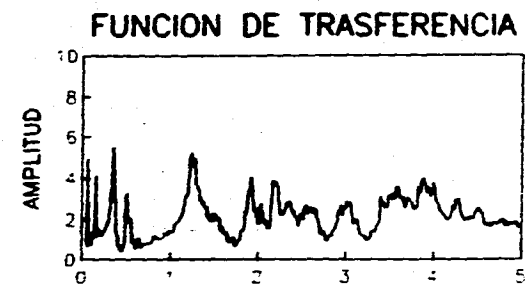
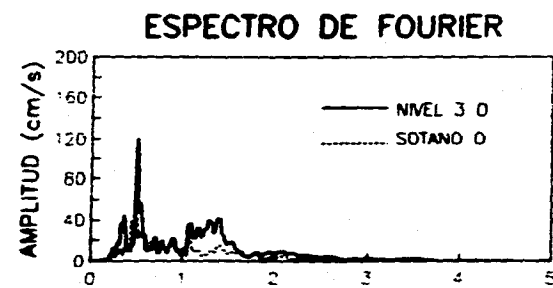
ESPECTRO DE FOURIER



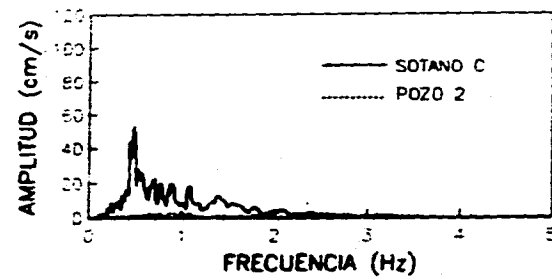
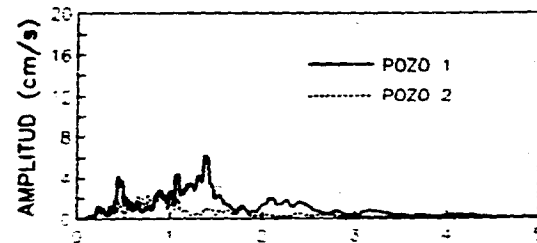
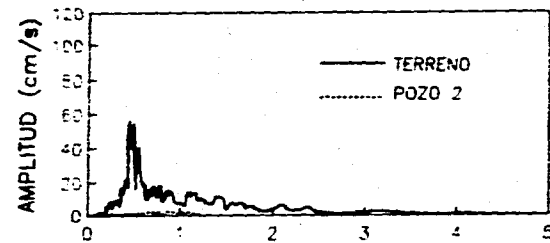
FUNCION DE TRASFERENCIA



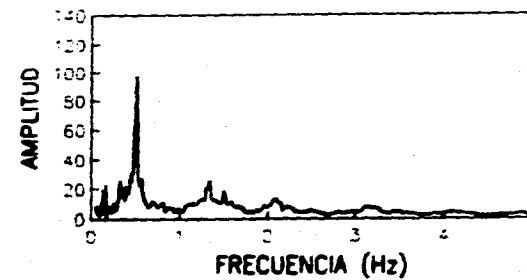
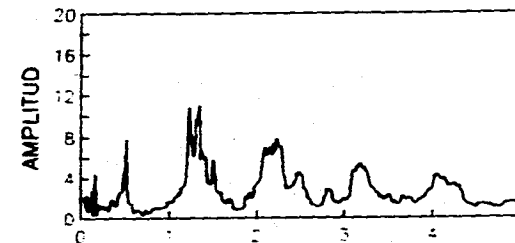
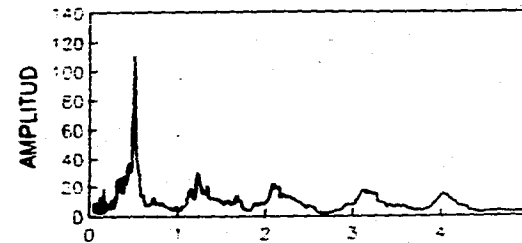




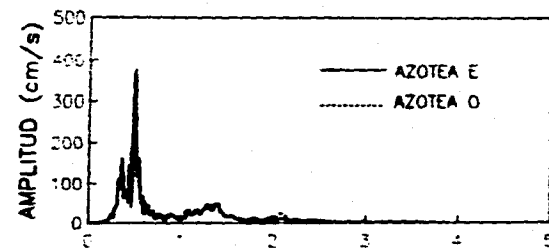
ESPECTRO DE FOURIER



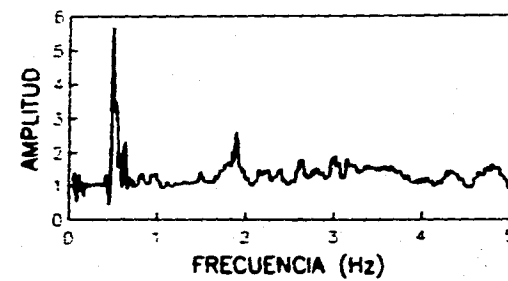
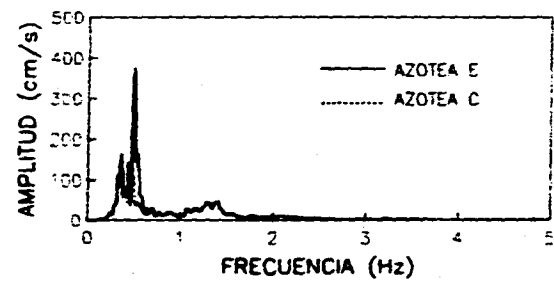
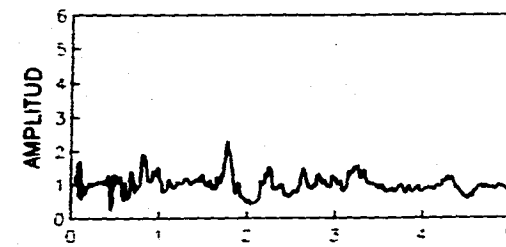
FUNCION DE TRASFERENCIA



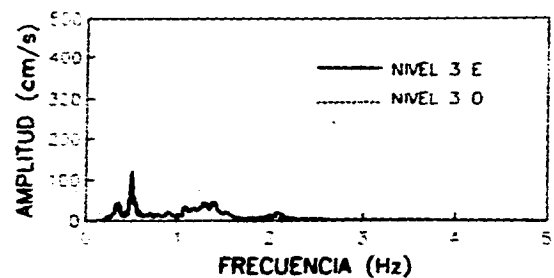
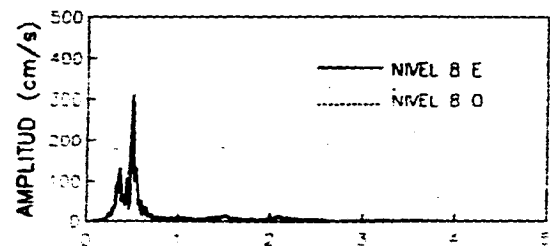
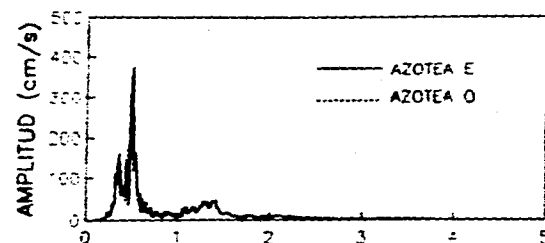
ESPECTRO DE FOURIER



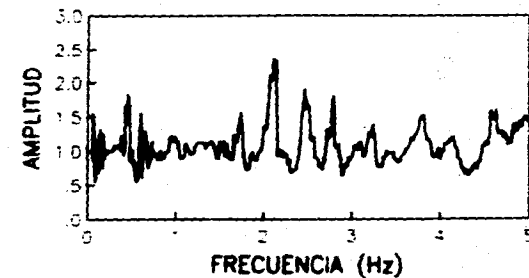
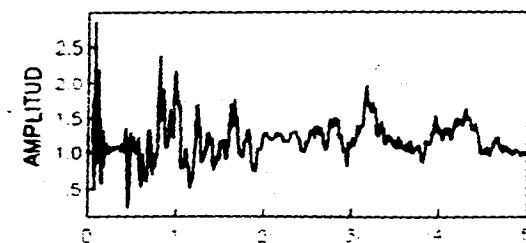
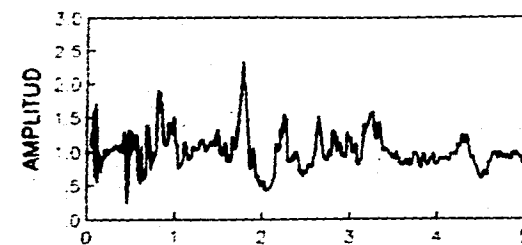
FUNCION DE TRASFERENCIA



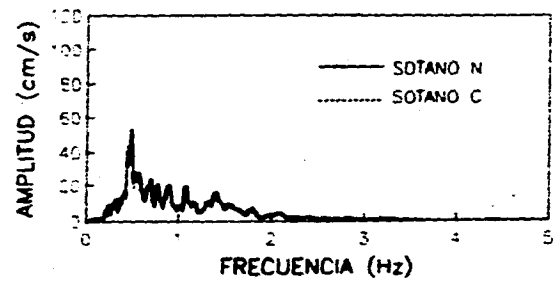
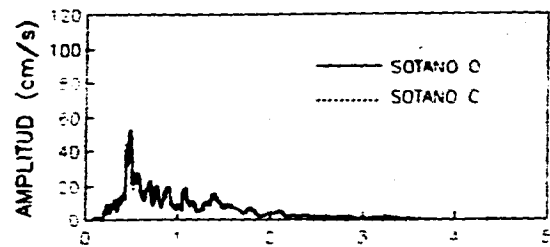
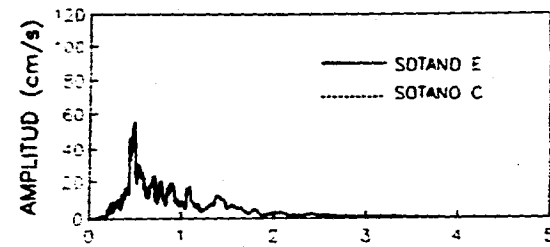
ESPECTRO DE FOURIER



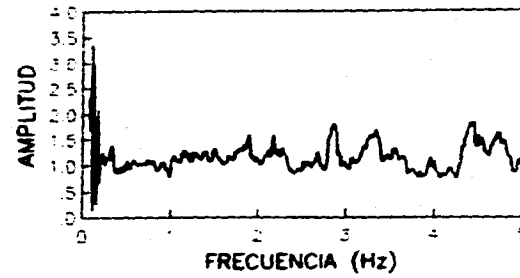
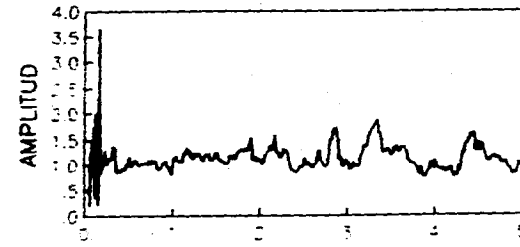
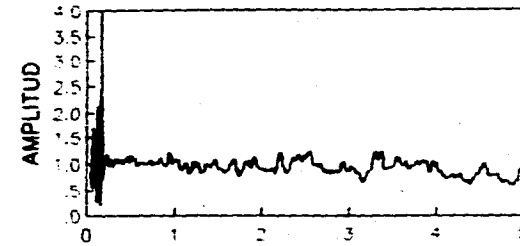
FUNCION DE TRASFERENCIA



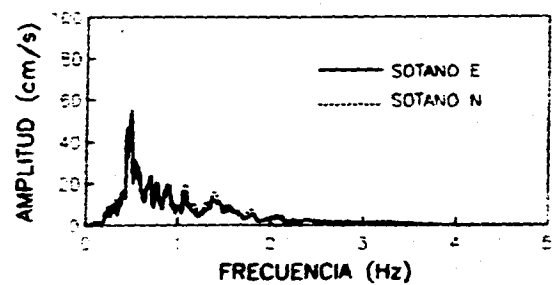
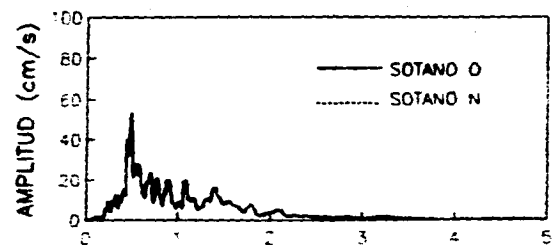
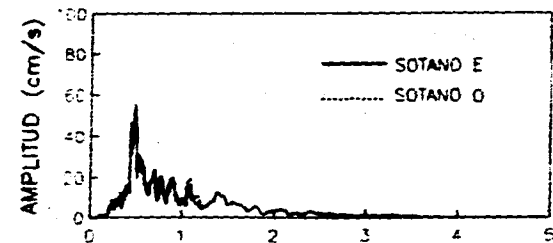
ESPECTRO DE FOURIER



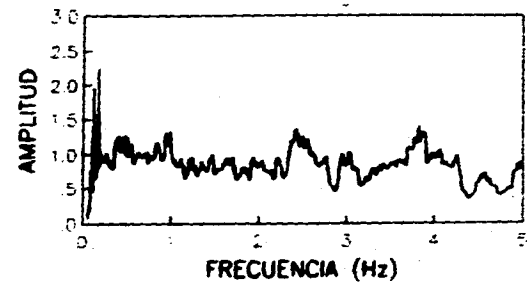
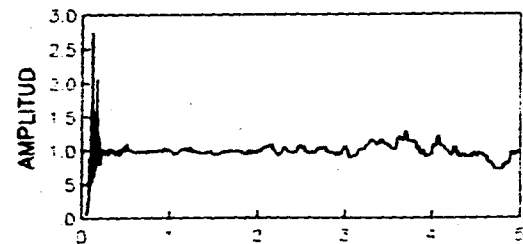
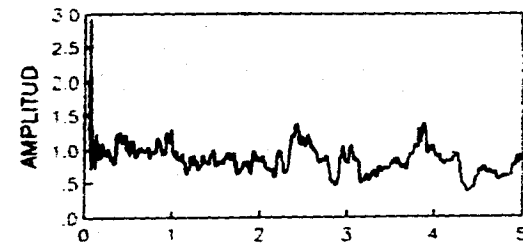
FUNCION DE TRASFERENCIA



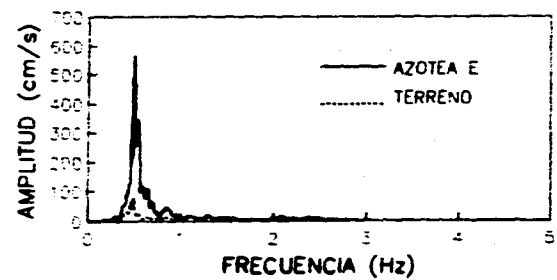
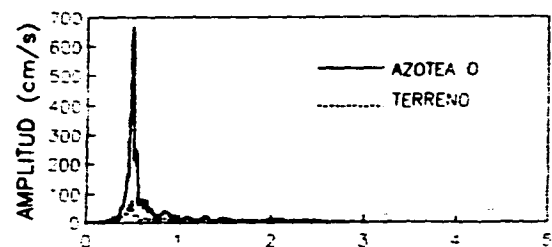
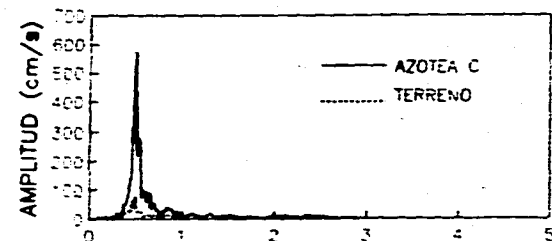
ESPECTRO DE FOURIER



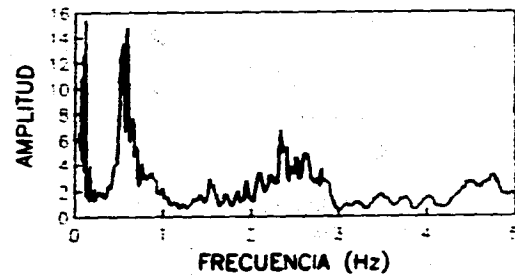
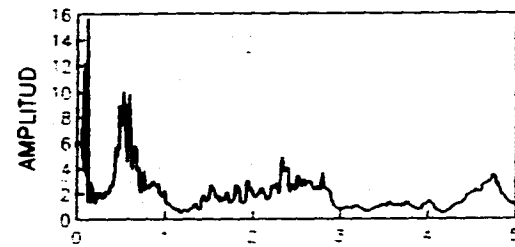
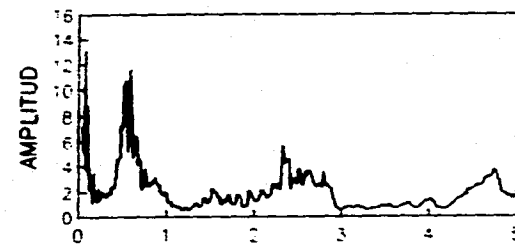
FUNCION DE TRASFERENCIA



ESPECTRO DE FOURIER

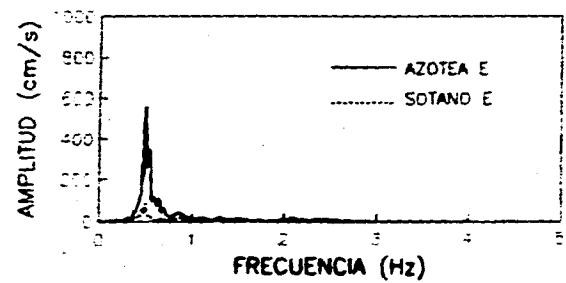
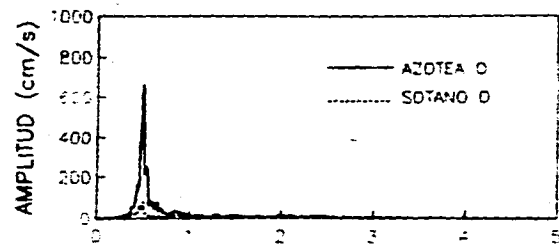
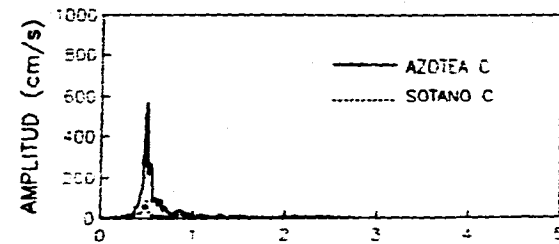


FUNCION DE TRASFERENCIA

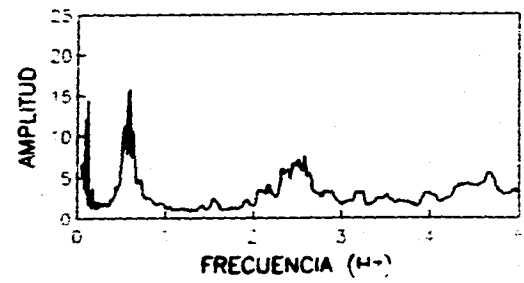
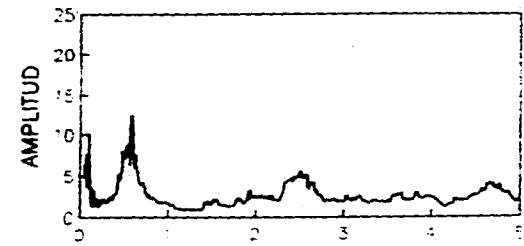
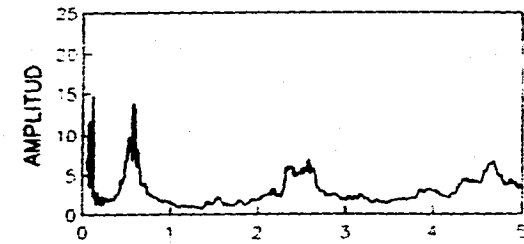


ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

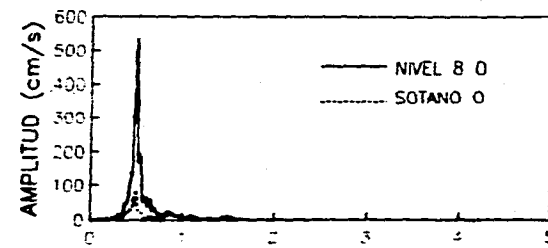
ESPECTRO DE FOURIER



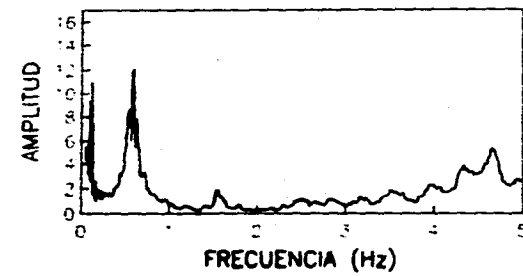
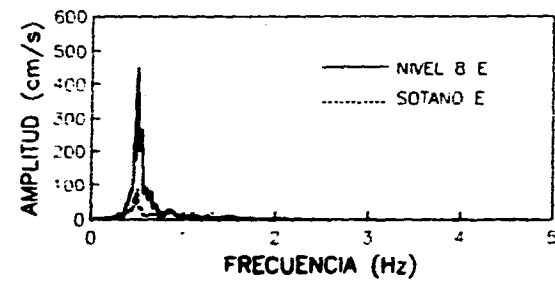
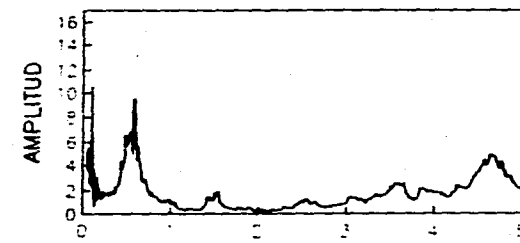
FUNCION DE TRASFERENCIA



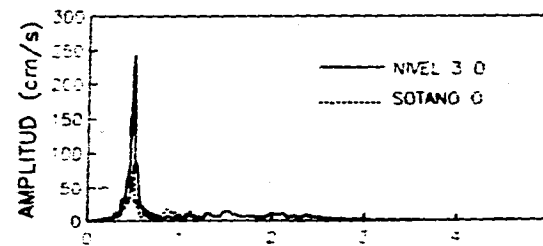
ESPECTRO DE FOURIER



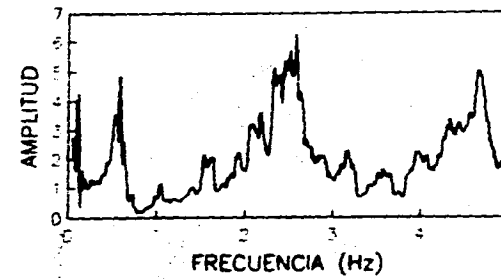
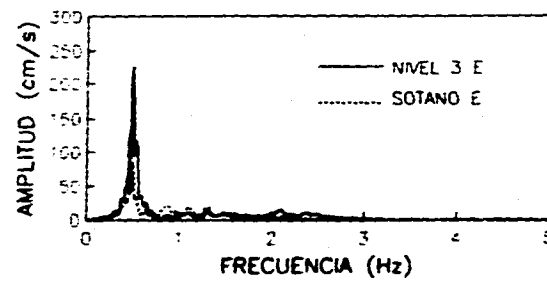
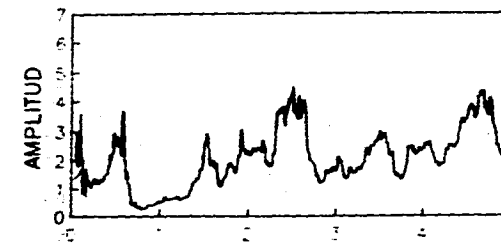
FUNCION DE TRASFERENCIA



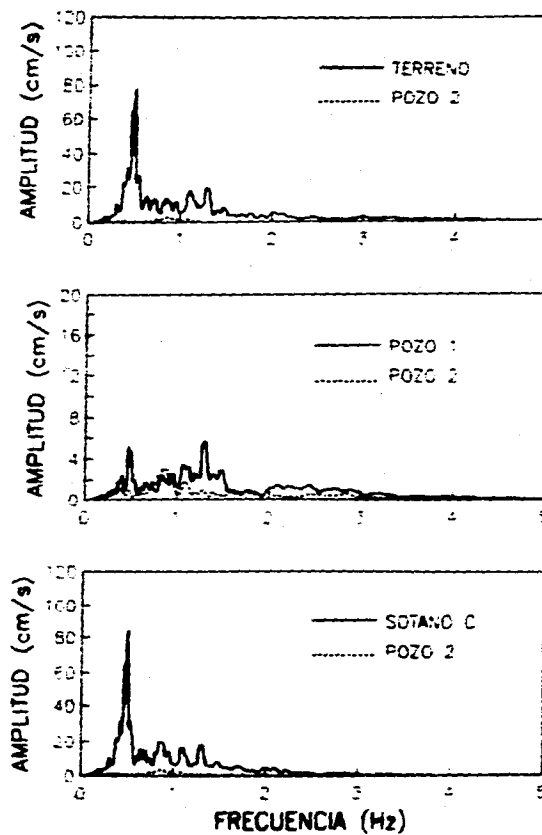
ESPECTRO DE FOURIER



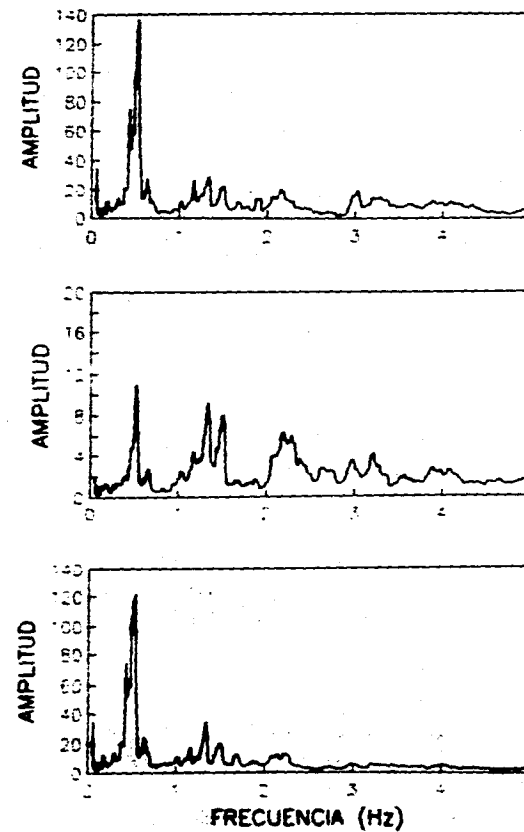
FUNCION DE TRASFERENCIA



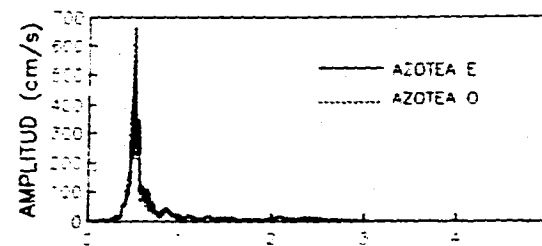
ESPECTRO DE FOURIER



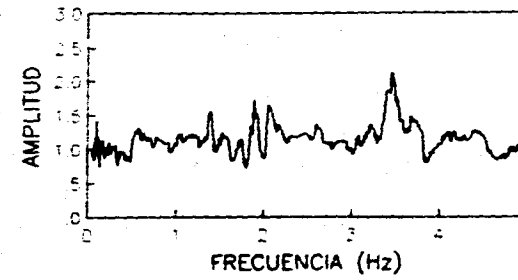
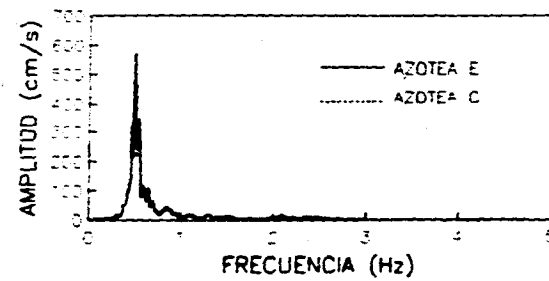
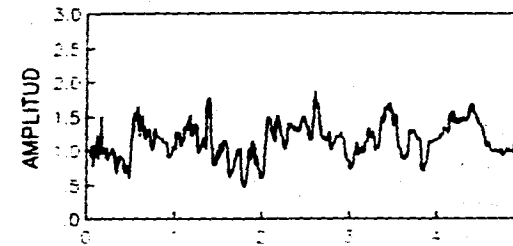
FUNCION DE TRASFERENCIA



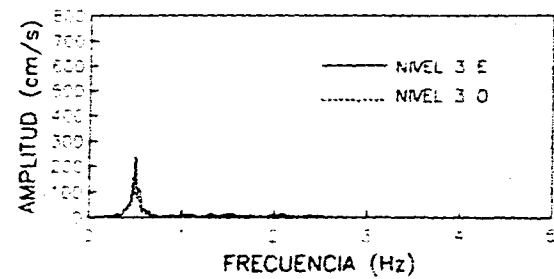
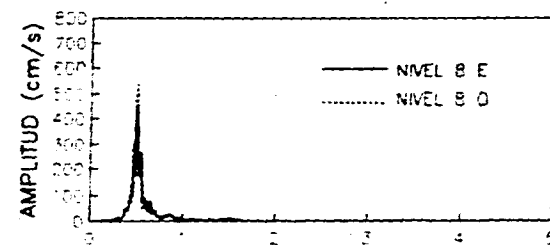
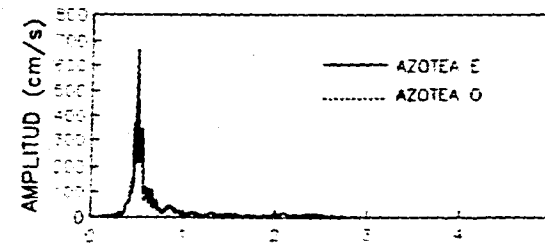
ESPECTRO DE FOURIER



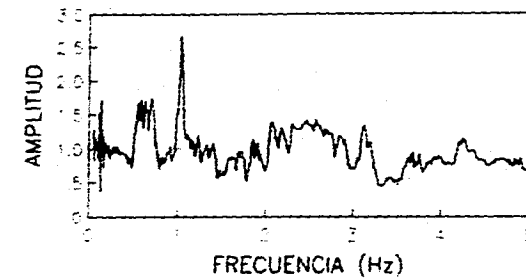
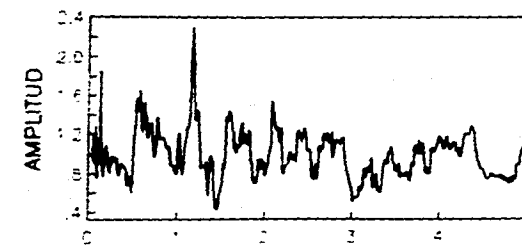
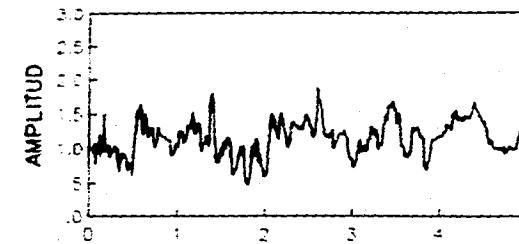
FUNCION DE TRASFERENCIA



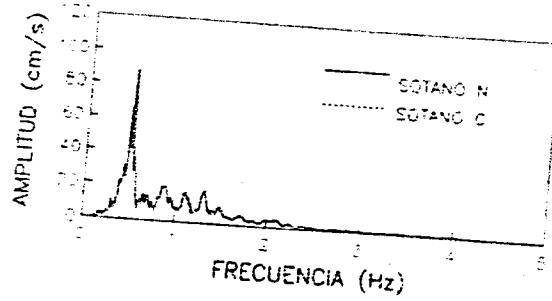
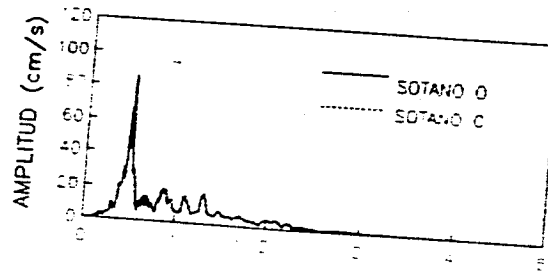
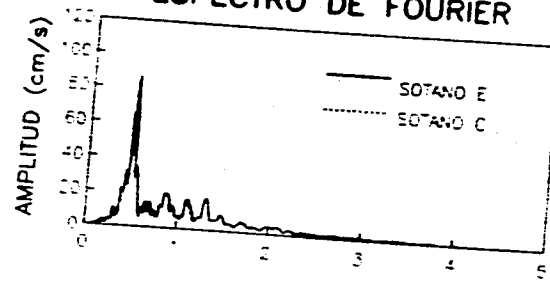
ESPECTRO DE FOURIER



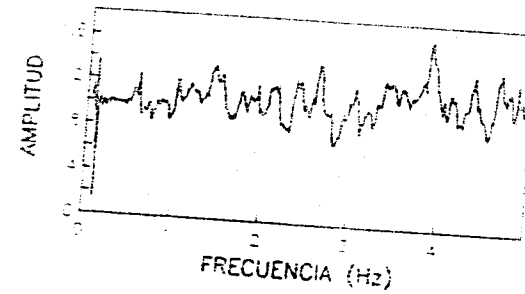
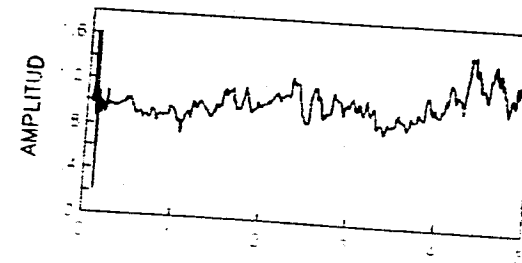
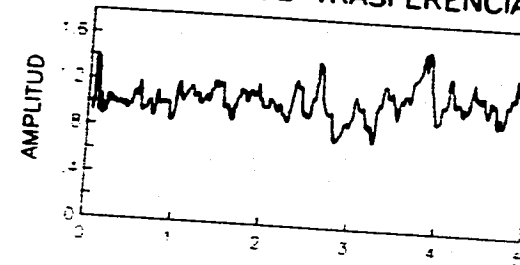
FUNCION DE TRASFERENCIA



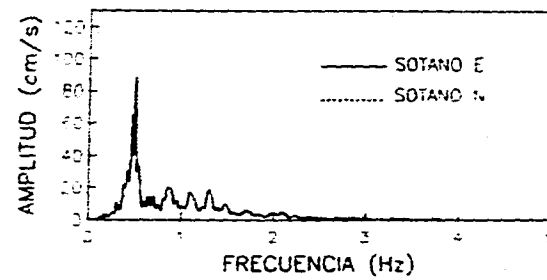
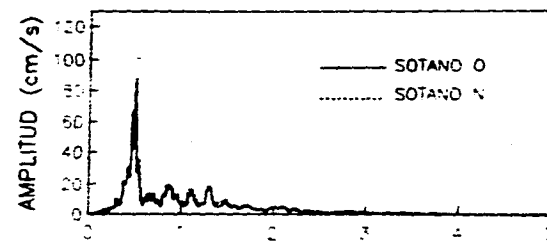
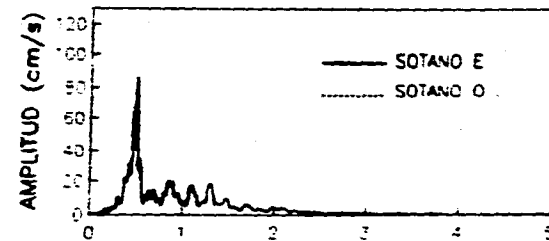
ESPECTRO DE FOURIER



FUNCION DE TRASFERENCIA



ESPECTRO DE FOURIER



FUNCION DE TRASFERENCIA

