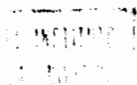


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO DE INVESTIGACION II

EVALUACION EXPERIMENTAL DE MODELOS DINAMICOS DE ESTRUCTURAS



Coordinador: Dr.Roberto Stark F.

Tutor : M.en I. Jesús Iglesias J.

Alumno: Ing. Mario Ramírez Centeno.

México D.F. 11 de Octubre de 1991

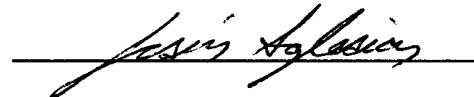
México Distrito Federal a 10 de Octubre de 1991.

Dr. Roberto Stark Feldman.
Coordinador del Area de Estructuras.
División de Estudios de Postgrado.
Facultad de Ingeniería.
U. N. A. M.

Por medio de la presente me permito enviar a usted el Trabajo de Investigación II que se anexa, titulado "EVALUACION EXPERIMENTAL DE MODELOS DINAMICOS DE ESTRUCTURAS", presentado por el Ing. Mario S. Ramírez Centeno. La calificación correspondiente es MB.

Sin mas por el momento quedo de usted.

A T E N T A M E N T E



M. en I. Jesús Iglesias
Jefe del Area de estructuras
Universidad Autónoma Metropolitana

INDICE

INTRODUCCION

DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

PROPIEDADES DINAMICAS EXPERIMENTALES.

 Descripción del equipo.

 Metodología de registro.

PROPIEDADES DINAMICAS ANALITICAS

 Modelos de análisis.

 Resultados.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

APENDICE

DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

El edificio "D" de la UAM-A es una construcción de cuatro niveles y reciente construcción (1984), con una planta rectangular de 108 m de largo por 8 m de ancho y 13.15 m de altura (figs. 1 y 2) que aloja 43 aulas, 2 salas audiovisuales y una librería. Presenta en sus cuatro niveles un volado longitudinal de 3.6 m de ancho, que se utiliza como pasillo de circulación para dar acceso a las aulas y como cubierta del pasillo en la azotea.

El edificio está estructurado con columnas de concreto reforzado de 35 x 100 cm, con claros entre ejes de 7.20 m en dirección longitudinal y 8 m en la transversal. Las columnas soportan al sistema de piso de losa reticular de 45 cm de espesor y se apoyan en un cajón de cimentación. El inmueble posee en la dirección transversal dos muros de concreto reforzado de 15 cm de espesor ubicados en ambos extremos y ligados estructuralmente, presenta además dos escaleras de acceso ubicadas en sus tercios medios. Los muros divisorios son de block de mampostería de 10 cm de espesor. Los sismos de septiembre de 1985 provocaron daños no estructurales ligeros, principalmente en los muros divisorios de mampostería.

Dentro del conjunto de construcciones que constituyen el plantel, el edificio "D" es estructuralmente el más aislado, comunicado únicamente mediante un puente simplemente apoyado con una estructura contigua, lo que, junto con su regularidad geométrica justificó su elección para este estudio. La estructura está ubicada en el noroeste de la Ciudad de México en la delegación política Azcapotzalco sobre terrenos clasificados por el RCDF-87 (ref. 6) como zona II.

CARACTERISTICAS DINAMICAS EXPERIMENTALES

DESCRIPCION DEL EQUIPO

El equipo utilizado para registrar la vibración ambiental en la estructura fue el siguiente :

- a) Grabadora digital de estado sólido Kinemetrics SSR-1 con 3 canales de registro y 200 muestras por segundo en cada canal.
- b) Sismómetros Kinemetrics WR-1 de alta sensibilidad. Frecuencia natural nominal de 20 Hz con intervalo de respuesta eficiente de 0.05 a 5 seg.
- c) Computador portátil Toshiba T1000 con memoria RAM de 1 MB.
- d) Software de comunicaciones Kinemetrics: Quick Talk y Quick Look. Software de análisis de datos Kinemetrics: CNVSSR y Fast Fourier Transform (ref. 7).

METODOLOGIA DE REGISTRO

Los movimientos generados por la vibración ambiental fueron registrados por dos sismómetros colocados sucesivamente en los centros de masas de la azotea, nivel 3, nivel 2 y nivel 1. Cada sismómetro fue orientado paralelamente a los ejes longitudinal y transversal de la estructura. Además, se registró el movimiento del terreno en la base del edificio en las mismas direcciones, así como en la vertical. Las mediciones en sentido ortogonal por nivel se registraron simultáneamente obteniéndose por cada piso 60 eventos, 30 en cada dirección, con una duración de 30 segundos cada uno, lo que representa un muestreo de 30 minutos por nivel y 120 minutos en toda la estructura. En las mediciones se utilizó un filtro que elimina frecuencias superiores a 15 Hz.

A partir de los registros de vibración ambiental se obtuvieron los espectros de Fourier en términos de la respuesta proporcionada por el equipo sismográfico. Tomando el promedio de las frecuencias asociadas a los máximos espectrales de los 240 espectros pudo determinarse el

periodo fundamental de vibración del edificio en dirección transversal y longitudinal (tabla 1). Se identificó además el periodo fundamental del suelo, el cual es de 0.59 segundos, lo que coincide bien con el propuesto por el RCDF-87 (ref. 6), de 0.60 segundos para la zona del D.F. en que se encuentra la UAM-A.

La obtención de las frecuencias fundamentales de vibración de la estructura a partir de los espectros de Fourier fue muy clara para los eventos registrados en la azotea, tercero y segundo piso, sin embargo, no fue lo mismo para el primer piso. Esto pudiera deberse a que la excitación provocada por la vibración ambiental en los niveles inferiores produce una respuesta tan débil que el registro tiende a reflejar el movimiento propio del terreno. En las figuras 3 a 7 se presentan algunos espectros de Fourier para los pisos superiores y para el terreno.

CARACTERISTICAS DINAMICAS ANALITICAS

Se realizó un levantamiento cuidadoso de la estructura, lo que junto con los planos disponibles permitió conocer detalladamente su geometría general y la de sus elementos arquitectónicos y estructurales, a partir de los cuales pudieron plantearse las características de los modelos analíticos en estudio.

MODELOS DE ANALISIS

Para la determinación analítica de los periodos de la estructura se utilizaron dos programas de análisis :

SUPER-ETABS : Este programa permite elaborar un modelo estructural suponiendo básicamente el comportamiento lineal de la estructura, mediante la representación de las columnas y las vigas como elementos barra, el manejo de los muros como elementos panel, columna ancha o por diagonales, además de idealizar el comportamiento del sistema de piso como diafragma rígido (ref.4), además de que se siguieron las

recomendaciones del RCDF-87 (ref. 6) relacionadas con el cálculo de las vigas equivalentes.

La estructura fue definida a través de marcos planos en dos direcciones acoplados entre sí por el diafragma rígido, por lo que no puede considerarse con todo rigor como un análisis tridimensional, sino una aproximación muy utilizada en la práctica. Para este programa fue posible establecer cuatro modelos de la misma estructura que presentan las siguientes variantes:

- a) Considera los muros extremos y define las zonas rígidas de conexión viga-columna.
- b) Considera los muros, pero no define las zonas rígidas de conexión.
- c) No considera los muros, pero sí define las zonas rígidas de conexión.
- d) No considera los muros ni define las zonas rígidas de conexión.

No se definieron las escaleras ni los huecos correspondientes en las losas ni tampoco los pretiles de los pasillos. No se consideró la interacción suelo-estructura.

SAP-86 : Este programa supone el comportamiento elástico lineal de la estructura y la idealiza a través de elementos barra tridimensionales, lo que hace posible por ello una mejor definición de los componentes de la misma (ref. 5). Para este programa se modeló a la losa con elementos barra diagonales, considerando las recomendaciones del RCDF-87 respecto a vigas equivalentes. Todo ello permite asemejar el efecto de la indeformabilidad en el plano. Se definieron los pretiles y los huecos en la losa correspondientes al área de escaleras. En este caso tampoco se incluyó la interacción suelo-estructura.

Se buscó determinar el efecto que provocan las diferentes consideraciones que pudieron plantearse para este programa, por lo que se establecieron las siguientes variantes del modelo SAP-86:

a) Se definieron los muros con elemento placa, pero se consideró el modelo con dimensiones a paños y sin considerar la rigidez de las escaleras.

b) Se consideraron los muros como elemento placa, las trabes y columnas como elemento barra, pero sin definir sus zonas rígidas de conexión al tomar las dimensiones a ejes y sin considerar la rigidez de las escaleras.

c) Se definió el modelo considerando dimensiones a paños, los muros como elemento placa e incluyendo la rigidez de las escaleras.

Con estas variantes se busca conocer el efecto que se presenta cuando se utiliza un modelo realmente tridimensional, así como la ventaja de modelar elementos secundarios tales como las escaleras.

En todos los casos se definió la losa utilizando elementos diagonal que asemejan una gran indeformabilidad del plano.

RESULTADOS

Se presentan en la tabla 1 los periodos fundamentales de vibración de la estructura según cada programa y cada variante de modelo considerado, en cada dirección. Del análisis de los resultados pudo observarse que el modo torsional se presenta en tercer término y que las dos primeras formas modales se encuentran desacopladas.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados mostrados en la tabla 1 se puede observar que para el modelo a) del SUPER-ETABS que define con mayor precisión la estructura, los resultados no difieren mas del 25% respecto de los periodos experimentales, sobreestimando su rigidez, mientras que los modelos estructurales que admiten una menor rigidez aproximan sus resultados a los obtenidos mediante vibración ambiental; sin embargo puede notarse que para el caso c) el periodo asociado a la

dirección transversal crece desproporcionadamente en relación con el obtenido en dirección longitudinal, de tal modo que casi se confunden, alejándose de la razón entre los periodos que se presentan en los casos de vibración ambiental y en los a) y b) del SUPER-ETABS . Lo anterior es consecuencia de eliminar los muros extremos , factor que influye sensiblemente en los resultados en comparación con el efecto de zonas rígidas . Lo anterior es también aplicable para el caso extremo donde no se consideraron ni muros ni zonas rígidas, obteniendo resultados que ampliamente sobreestiman la flexibilidad del modelo. En comparación, el modelo SAP-86 a) que considera indirectamente zonas rígidas y muros presenta un error no mayor al 15% respecto del experimental, sobreestimando la rigidez de la estructura. Los resultados obtenidos con el modelo que define las escaleras no difieren significativamente de los que no las consideran, por lo que en principio el exceso de detalle no aporta mucho a los resultados.

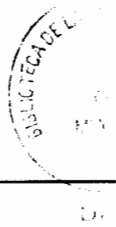
Es posible establecer que las diferencias observadas en los dos modelos pueden deberse a la pérdida de rigidez de la estructura a causa de las sollicitaciones sísmicas que ha soportado, así como la discrepancia entre las propiedades mecánicas de los materiales y las analíticas. También puede influir en la pérdida de rigidez el efecto del agrietamiento de las secciones de las barras y la interacción suelo-estructura no considerada. Aún cuando se requiere analizar un número mayor de estructuras, es posible afirmar que los resultados obtenidos con modelos como el del SUPER-ETABS, si bien en ocasiones proporcionan valores cercanos a los experimentales (ref.2), pueden presentarse estructuras en las que no sucede lo mismo. Asimismo se observa que las discrepancias disminuyen notablemente cuando se establece el modelo definido a través de elemento finito, que si bien implica una mayor complejidad, permite definir con mayor detalle a la estructura, sin caer en refinamientos excesivos.

Finalmente es necesario establecer que las propiedades dinámicas de la estructura ante una excitación como la sísmica pueden diferir de las

calculadas con vibración ambiental, debido a las características propias de la excitación y el comportamiento no lineal de la estructura. Asimismo el comportamiento del suelo ante perturbaciones sísmicas de importancia puede inducir un comportamiento dinámico distinto del provocado por el movimiento de vibración ambiental. En este sentido algunas investigaciones tratan las discrepancias entre las propiedades dinámicas ante movimientos fuertes de estructuras (ref. 3) y del suelo (ref. 8) con las obtenidas con microtemblores.

REFERENCIAS

1. Rodríguez, N. "Correlaciones entre las características dinámicas observadas y calculadas de un edificio".VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, noviembre 1987.
2. González, R. "Correlación de propiedades dinámicas experimentales y analíticas de edificios", VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, noviembre 1989.
3. Aktan, A. "Forced-Excitation testing and identification of a mid-rise RC building to evaluate vulnerability". Fourth U.S. National Conference on Earthquake engineering. Earthquake Engineering Research Institute.
4. Maison B. y Neuss C. "SUPER-ETABS . An enhanced version of the ETABS program", University of California, Berkeley.
5. "SAP-86. A finite program for static and dynamic analysis of linear structural systems". Structural Analysis, INC. Austin, Texas, February 1988.



6. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo .
Gaceta oficial de la Federación, México 1987.
7. "Seismic Workstation Software". Kinemetrics Systems, Pasadena California, October 1988.
8. Lermo J. "The Mexico earthquake of september 19, 1985-natural period of sites in the Valley of Mexico from microtremor measurements and strong motion data", Earthquake Spectra, Vol4, No.4, 1988.

METODO DE OBTENCION	Dirección Longitudinal (seg)	Dirección Transversal (seg)
Vibración Ambiental	0.75	0.64
SUPER-ETABS:		
a) Con muros y zonas rígidas	0.59	0.48
b) Con muros y sin zonas ríg.	0.65	0.50
c) Sin muros y con zonas rígidas.	0.79	0.78
d) Sin muros y sin zonas rígidas.	0.91	0.90
SAP-86:		
a) Dimensiones a paños, muros placa y sin escaleras.	0.64	0.57
b) Dimensiones a ejes, muro placa y sin escaleras.	0.71	0.65
c) Dimensiones a paños, muros placa y con escaleras.		

Tabla 1. Periodos fundamentales de vibración experimentales y analíticos.

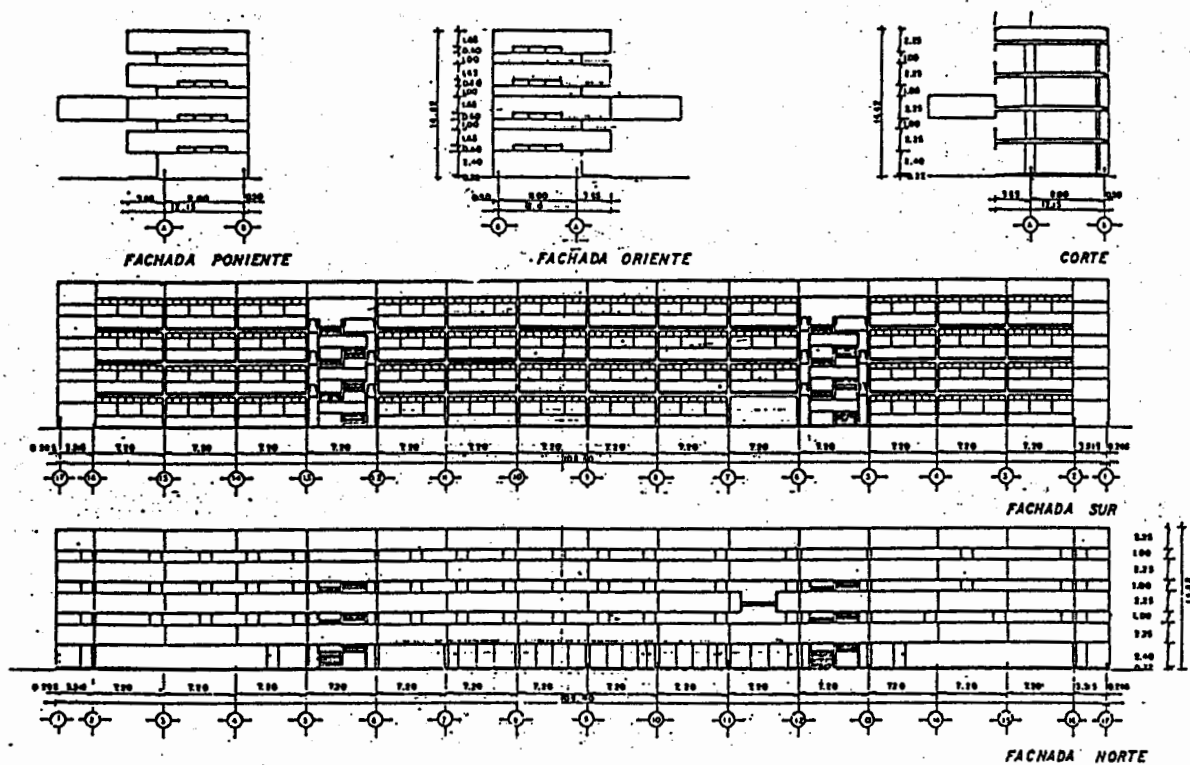


Figura 1. Fachadas y corte del edificio "D".

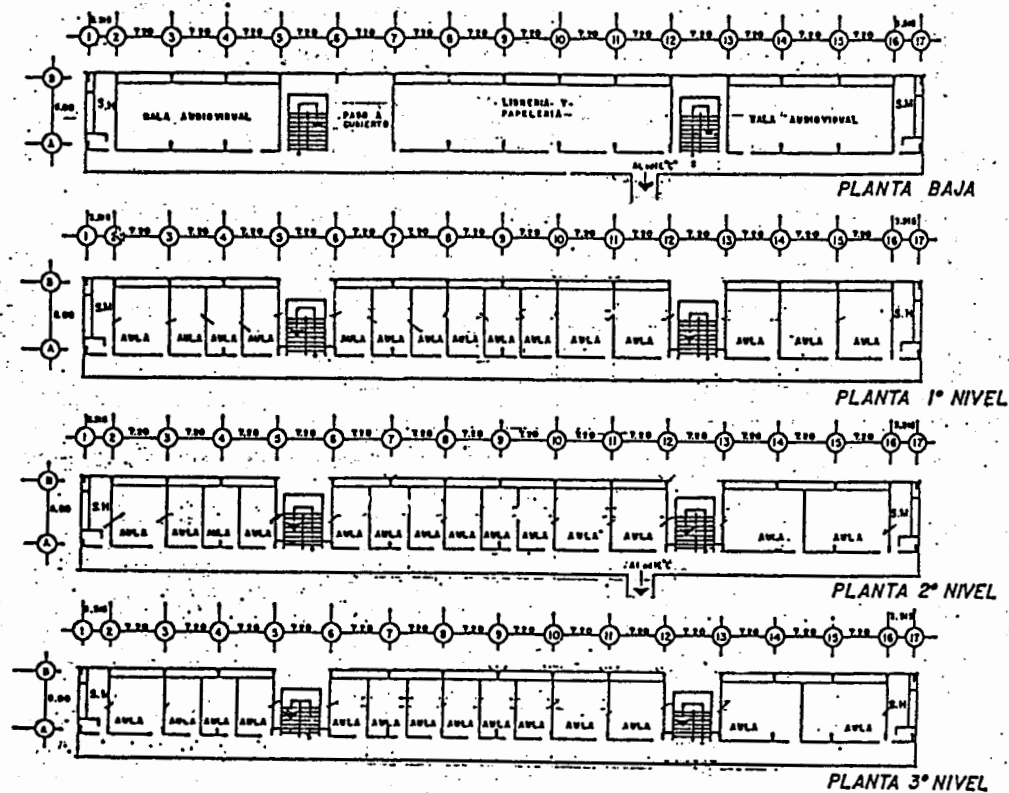
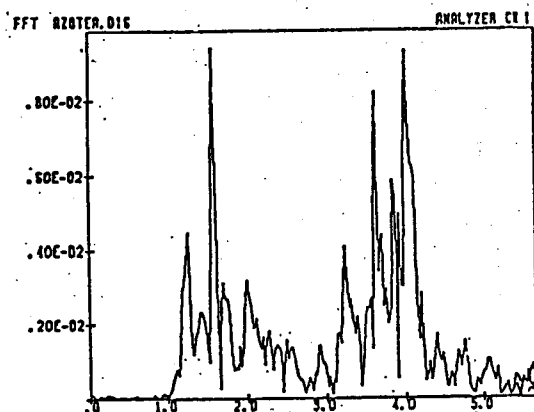


Figura 2. Plantas del edificio "D".

Dirección longitudinal.



Dirección transversal.

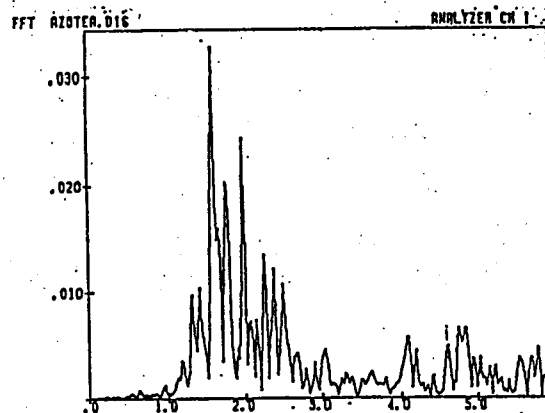
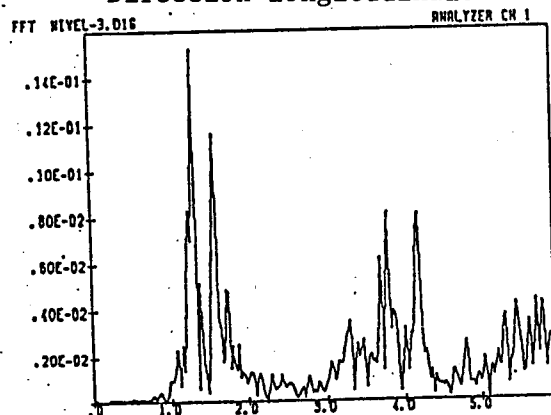


Figura 7. Espectros de Fourier para registros en la azotea.

Dirección longitudinal.



Dirección transversal.

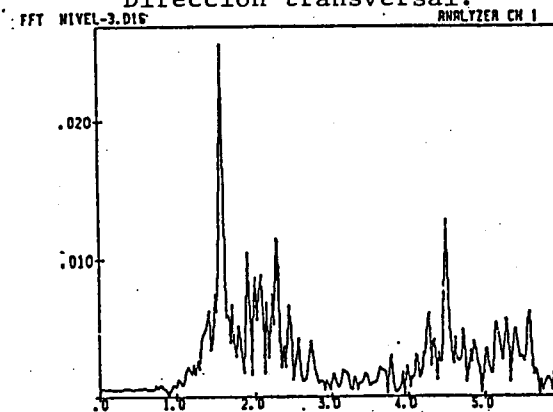
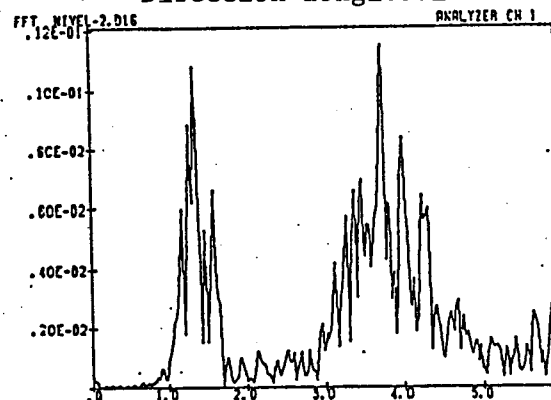


Figura 8. Espectros de Fourier para registros en el tercer piso.

Dirección longitudinal.



Dirección transversal.

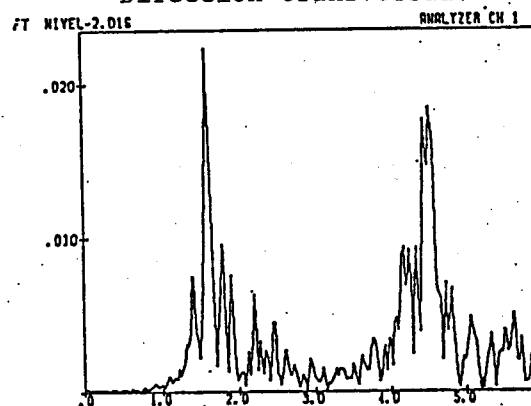


Figura 9. Espectros de Fourier para registros en el segundo piso.

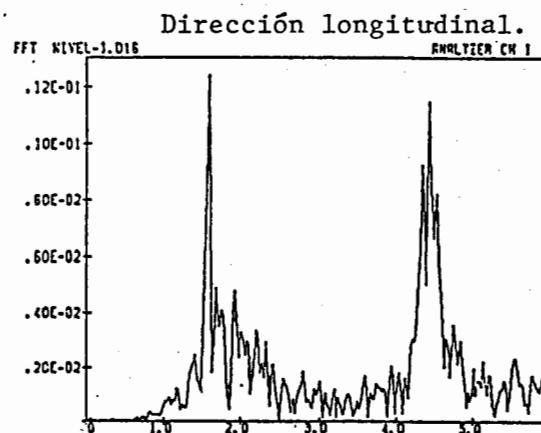
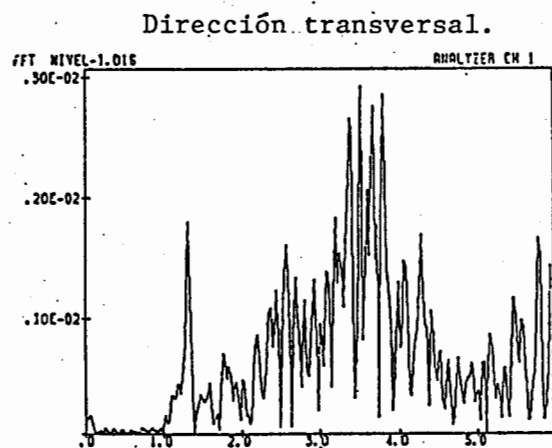


Figura 10. Espectros de Fourier para registros en el primer piso.

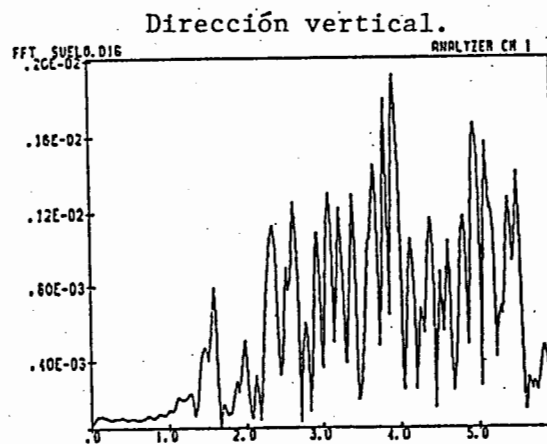
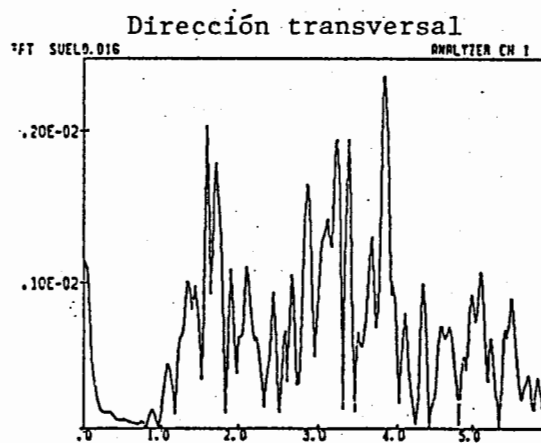
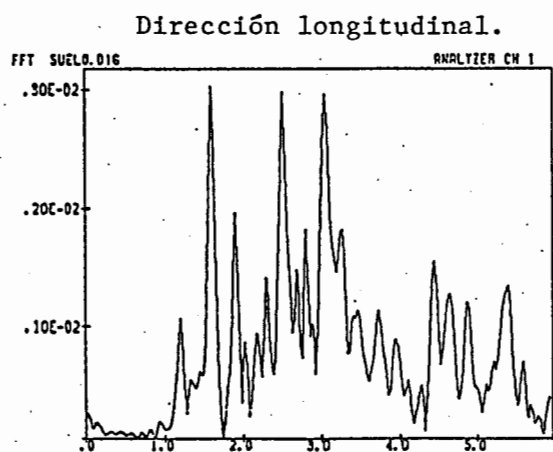


Figura 11. Espectros de Fourier para registros en el suelo.

F/DEPFI/TI 2/1991



717483