

0421
127



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"EVALUACION DE LOS PARAMETROS ESTRUCTURALES DE UN EDIFICIO EN LA CIUDAD DE MEXICO DESPUES DE 10

ANOS DE REGISTRO SISMICO"

UNAM a difundir en formato electrónico e impr. contenido de mi trabajo recepción

NOMBRE: Luis Iván Sandoval Frago

FECHA: 28/02/03

FIRMA: [Firma]

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

L U I S I V A N S A N D O V A L F R A G O S O

DIRECTOR DE TESIS M. I. MARCO ANTONIO MACIAS CASTILLO



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F. FEBRERO 2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/150/01

Señor
LUIS IVAN SANDOVAL FRAGOSO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. MARCO ANTONIO MACÍAS CASTILLO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

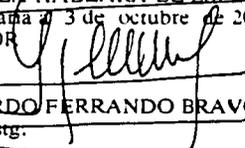
"EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES DE UN EDIFICIO EN LA CIUDAD DE MÉXICO DESPUÉS DE 10 AÑOS DE REGISTRO SÍSMICO"

- INTRODUCCIÓN**
- I. ANTECEDENTES**
 - II. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**
 - III. INSTRUMENTACIÓN**
 - IV. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS REGISTROS SÍSMICOS ESTUDIADOS**
 - V. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES**
 - VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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 ESPÍRITU"
Cd. Universidad 3 de octubre de 2001.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

AGRADECIMIENTOS

- Mamá, por ser simple y sencillamente la persona mas importante en mi vida, siempre preocupándote por todos antes que por ti misma, te agradezco infinitamente el que pudiera haber llegado este punto, todo gracias a ti, a tu pundonor, a tu lucha diaria, a tu cariño incondicional. Te adoro ma'.
- A ti papá, gracias por tu ejemplo, pero sobre todo gracias por darme la oportunidad de vivir en una familia tan especial y tan linda. Eternamente el símbolo familiar, gracias.
- Rafita, mi adolescente favorito, gracias hermano por ser lo mas peculiar que hay en mi vida, le das el toque especial, alegría y preocupación, pero sobre todo un cariño inigualable. Lucha por lo que anhelas, pero sobre todo por ti mismo.
- Roquet y Sando, gracias por su cariño y por los momentos tan lindos que hemos pasado juntos. ¡Arriba la familia!
- A mis abuelos maternos, ustedes son como el blanco y el negro, complemento perfecto, ejemplo de vida. Mamá, gracias por tener siempre la comida caliente a mi llegada, por darme fuerza y ternura. Abuelito, quería especialmente que tú vivieras este momento conmigo, representas tanto que es difícil expresarlo, te admiro demasiado.
- Abuelita Pachita, siempre al pendiente de todos, al frente de la familia; platicar contigo siempre es agradable, gracias por escucharme tantas veces cuando surgían problemas.
- Karla Lozano, fuente de inspiración inagotable, luz de mi vida, apoyo incondicional, gracias por brindar tu hombro para llorar mis penas, por alegrarlas con tu sonrisa, por consentirme y amarme.

Por otra parte, le dedico este trabajo a todos mis amigos:

Juve, hermano más que amigo; Xanath, a pesar de todo, amistad total; Alex Mora, lleno de sorpresas, la mejor herencia de la facultad de ingeniería; Frida Loria, dedicación y voluntad; Beto Maldonado, amigo de siempre; Nadia, hermana querida; Carolina, siempre en los momentos decisivos; Marianita Guillen, irreverencia, mi queridísima amiga; Carlitos, nobleza, historia de toda una vida de amistad; Ulises Huitrón, símbolo del éxito; Mario Rocha, rectitud, fuerza guiadora; Bernardo Salcedo, orden necesario, consejero invaluable; Alex Melo, siempre alegre y enciclopédico; Rich, símbolo de humildad a pesar del corto tiempo de conocerse; Oscar Vela, imagen del "si se quiere, se puede". Sandy, Pao, César, Mau, Primo (Paye), Diana, indispensables en la alegría de mi vida actual; Fausto, Benja, Güero, Vic, Aura, Maribel, Edmundo, excelentes personas, buenos colaboradores pero mejores amigos. Gracias a todos ustedes y si omití a alguien fue por las prisas en la elaboración de estas líneas, de todos he aprendido grandes cosas, sobre todo, el valor trascendental del concepto "AMIGO". Son el motor de mi vida.

A mis primos, tíos y demás familiares, por los buenos momentos.

A Elvia Córdova y Fernando Lozano (†), suegros queridos, gracias por su cariño.

A los compañeros del Instituto de Ingeniería, en especial a los ingenieros Leonardo Alcántara y David Almora, por brindarme la oportunidad de colaborar con ustedes en distintos proyectos pero en especial, por este que presento.

Al M.I. Marco Antonio Macías, director del proyecto más importante de mi vida hasta el momento. Gracias Marco por tu paciencia, por el tiempo brindado y por la calma exhibida.

A los ingenieros: Alberto Coria Ilizaliturri, José Francisco Téllez Granados, Ricardo Padilla Velásquez y Francisco Goristiza Pérez, jurado de este importante proyecto personal y excelentes profesores.

I. INTRODUCCIÓN	
<i>I.1 Antecedentes</i>	1
<i>1.2 Historia de la Instrumentación sísmica de edificios en México</i>	2
II. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INSTRUMENTADO	4
<i>II.1 Características de la estructura</i>	4
<i>II.2 Características de la cimentación</i>	7
III. INSTRUMENTACIÓN	10
<i>III.1 Ubicación de los acelerógrafos</i>	10
<i>III.2 Características de la instrumentación existente</i>	19
IV. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS REGISTROS SÍSMICOS ESTUDIADOS	21
<i>IV.1 Características de los sismos</i>	23
<i>IV.2 Procesamiento de acelerogramas</i>	24
V. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES	26
<i>V.1 Análisis en el dominio del tiempo</i>	26
V.1.1 Aceleración, velocidad y desplazamiento	26
V.1.2 Descomposición de los movimientos sísmicos	51
V.1.3 Animaciones y trayectorias del movimiento	61
V.1.4 Distorsiones de entrepiso	64
V.1.5 Acortamiento y alargamientos de entrepiso	70
<i>V.2 Análisis en el dominio de la frecuencia</i>	72
V.2.1 Metodología	72
V.2.2 Respuesta sísmica de las estaciones de campo y sótano	75
V.2.3 Propiedades dinámicas del sistema en los componentes horizontales	77

ÍNDICE

V.2.3.1	Estimación de las frecuencias de la estructura con base en las funciones de transferencia	77
V.2.3.2	Frecuencias naturales y modos de vibrar	77
V.2.4	Amortiguamientos	86
V.2.5	Comparación con vibración ambiental	88
VI.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	91
	REFERENCIAS	94

F

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las estructuras se ven afectadas numerosas veces durante su vida por efectos dinámicos que van desde magnitudes despreciables, hasta efectos que pueden poner en peligro su estabilidad. Dentro de los tipos de excitación dinámica que pueden afectar una estructura, la de nuestro interés para este trabajo, es la causada por los sismos.

El efecto sobre las estructuras de los movimientos del terreno producidos por la ocurrencia de un sismo conduce a vibraciones importantes de la estructura. Para el estudio de estas vibraciones, deben considerarse algunos parámetros estructurales, tales como: amortiguamiento, modos de vibrar, frecuencias naturales, distorsiones, acortamiento y alargamiento de entrepisos (*Schiff, 1990*).

El amortiguamiento en una estructura se refiere a la capacidad de ésta o de alguno de sus componentes para disipar energía o su capacidad para eliminar la energía asociada a una vibración de la misma. La forma que toma la deformación de la estructura durante la vibración es llamada forma modal de vibración. Hay una frecuencia natural asociada para cada modo de vibrar, y el número de formas modales es igual al número de grados de libertad de la estructura. El modo con la frecuencia más baja se denomina frecuencia natural fundamental de la estructura (*C.T. Sun, Y.P. Lu, 1995*).

La distorsión de entrepiso es el desplazamiento relativo entre dos pisos consecutivos, dividido por la altura entre dichos entrepisos y es el factor que más se considera en la magnitud de posibles daños estructurales.

El acortamiento y alargamiento de entrepisos, se refiere a la deformación axial que sufre una columna cuando es aplicada una carga. La columna se acorta cuanto la carga es de compresión y se alarga cuando es de tensión, esta variación se divide entre su altura para ser unitaria.

1.2 Historia de la Instrumentación sísmica de edificios en México

La importancia de la instrumentación sísmica de edificios se sustenta en que permite hacer evaluaciones cuantitativas de las excitaciones impuestas por los sismos a las estructuras y de las respuestas de las mismas. Las investigaciones realizadas en otros países provenientes de edificios instrumentados son de provecho; sin embargo, es necesario instrumentar edificios en nuestro medio por las particularidades de los suelos donde están desplantados y de los sistemas estructurales. El objetivo del estudio de estos edificios es contribuir a la comprensión de su respuesta dinámica ante sismos de gran intensidad, y ello conducirá a mejorar los criterios de diseño y evaluación estructurales.

En México, la instrumentación se remonta a 1950 cuando en la Torre Latino Americana se instalaron transductores de desplazamiento en una primera etapa y posteriormente algunos acelerógrafos se incorporaron a la estructura. Los resultados obtenidos de esta instrumentación sirvieron para establecer coeficientes sísmicos en las normas de construcción de la ciudad de México de aquel entonces.

A pesar de los esfuerzos de Leonardo Zeevaert y del Instituto de Ingeniería, a través de Jorge Prince, por incrementar el número de edificios instrumentados, al ocurrir los sismos de septiembre de 1985 no existía ningún edificio instrumentado en toda la república y por lo tanto se perdió la oportunidad de registrar la respuesta estructural en edificios.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), lograron en 1987 obtener apoyos financieros para el estudio de la respuesta sísmica de edificios instrumentados. Posteriormente se sumaron el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Fundación ICA y el Centro de Investigación Sísmica (CIS), entre otras.

Actualmente en la Ciudad de México se ubican 7 edificios instrumentados: los edificios Plaza Córdoba (instrumentado a partir de 1990, cuenta en la actualidad con 13 registradores), edificio Jalapa (con 14 puntos de observación a partir de 1992) y la Catedral Metropolitana (con 5 acelerógrafos), bajo la responsabilidad del I de I, UNAM; los edificios Plaza Inn (con 6 equipos instalados en 1991) y Secundaria 3 (con tres acelerógrafos), del CIRES; el edificio del Instituto

Mexicano del Seguro Social (instrumentado con 8 equipos a partir de 1994) del CIS y el CIRES, y el edificio del Instituto Mexicano del Petróleo (equipado con 8 registradores desde 1990) del CENAPRED, (*Murià et al, 1997*).

Los instrumentos empleados en estos edificios son acelerógrafos triaxiales con dos componentes horizontales y una vertical. Los equipos de un mismo edificio están interconectados para fines de disparo, mediante una configuración maestro-esclavo y cuenta con una señal codificada común de tiempo. Al rebasar el movimiento el umbral preestablecido en el aparato maestro, éste envía una señal a todos los demás, configurados como esclavos, para que inicien la grabación del registro. Además, cada acelerógrafo puede funcionar en forma independiente y autónoma con su propio sistema de registro y disparo.

II. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INSTRUMENTADO

II.1 Características de la estructura

El Edificio Plaza Córdoba, (figura 2.1) se encuentra ubicado en la ciudad de México en la calle de Córdoba # 42, entre las calles de Puebla y Durango, en la colonia Roma (figura 2.2). Situado en una zona del valle de México donde normalmente se presentan altos niveles de aceleración, velocidades y desplazamientos durante sismos. El edificio Plaza Córdoba es una estructura de concreto reforzado de 17 niveles (figura 2.3). Consta de un sótano de muros perimetrales de concreto reforzado, planta baja de 38 x 54 m, mezzanine, 8 niveles de estacionamiento intercalados y una torre de 12 niveles (cada nivel de 32 x 40 m); la altura total del inmueble es de 55.4 m.



Figura 2.1 Edificio Plaza Córdoba

El inmueble sufrió ligeros daños durante los sismos de 1985, los cuales fueron reparados, además de que se realizó un refuerzo mediante la colocación de muros de rigidez de concreto

en toda su altura y la sustitución de muros de mampostería por muros de concreto. Lamentablemente la instrumentación se colocó después de la reestructuración.

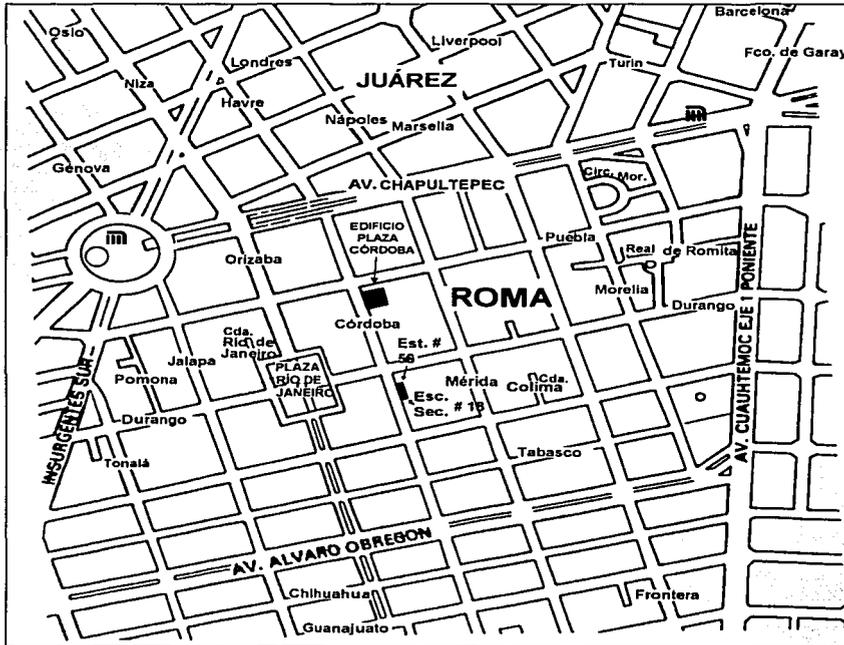


Figura 2.2 Localización del edificio Plaza Córdoba

Todas las losas son aligeradas con cajas de polietileno; hasta el nivel E8 tiene un peralte de 45 cm y en la torre de $h=50$ cm, las columnas de los primeros niveles hasta E8 son de un $f'=300$ Kg/cm² con dimensiones que varían desde 45 x 45 cm hasta 60 x 160 cm y a partir del N1 de oficinas las columnas tienen un $f'=250$ Kg/cm² con dimensiones que cambian de 100 x 60 a 80 x 60 cm.

Existe un cambio importante de las características estructurales entre los niveles indicados como E8 y Nivel 1 (figura 2.3). La transición entre los niveles de estacionamiento y la torre

principal provoca efectos locales irregulares en su respuesta dinámica lo que se traduce en niveles altos de deformación. Los daños por los sismos de septiembre de 1985 se presentaron principalmente en esta zona, después se reforzó con muros de concreto de $f' = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en algunos ejes como se muestra en las figuras 3.4 a 3.7.

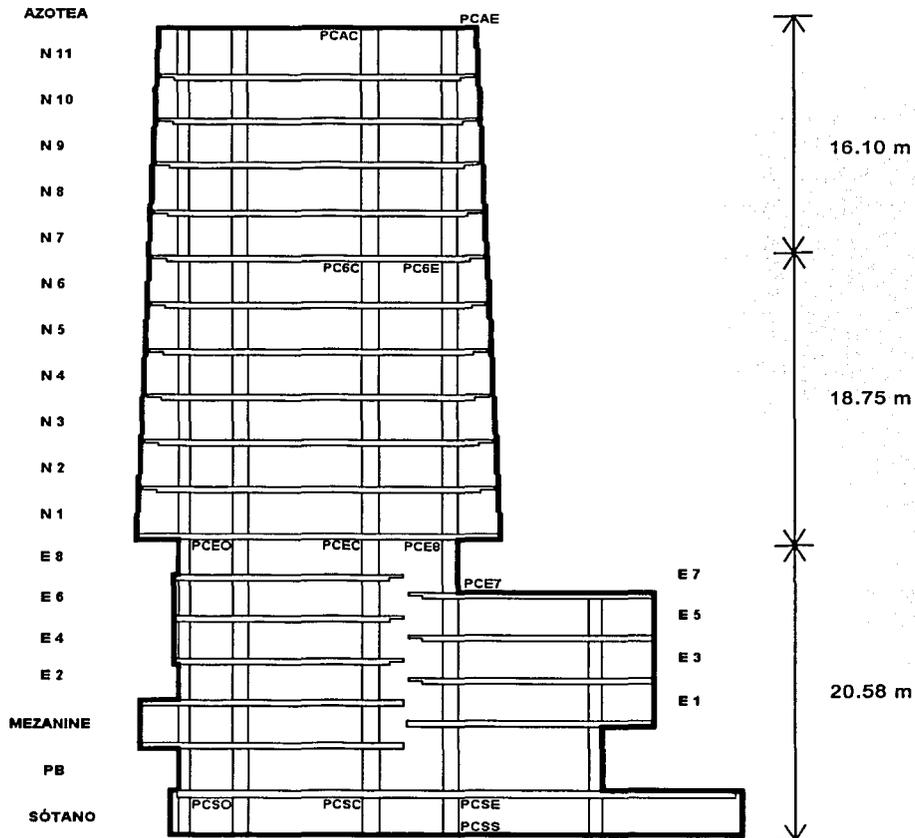


Figura 2.3 Características de la superestructura del edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es posible considerar a este edificio de dos formas: como una sola estructura desde el sótano hasta la azotea, es decir considerarla en su totalidad; y la segunda, como una torre de oficinas desplantada en el nivel E8, que inicie en el nivel 1 y termina en la azotea.

II.2 Características de la cimentación

La cimentación consta de 266 pilotes de fricción de una sección triangular de 65 cm de lado. Con una longitud de 26.15 m; estos pilotes están hincados a una profundidad de 30.5 m del nivel del terreno natural, son estructuras precoladas, fabricadas en tres tramos, unidos con soldadura en el sitio de hincado. La distribución de los pilotes presenta distintos arreglos, uno de ellos es una franja longitudinal al centro del edificio y otras en las columnas exteriores de la cara longitudinal norte y otros repartidos en todo el área de la base de la estructura. Cada pilote fue despuntado y para la unión de estos con la cimentación se colaron dados receptores de pilotes, contratrabes y muros de cimentación, sobre los cuales se coló a menos 2.95 m del nivel del terreno la losa maciza de cimentación de 35 cm de espesor cuyo refuerzo consistió de una parilla del #4 a cada 20 cm en el lecho alto y una parilla del #2 a cada 30 cm en el lecho bajo. Las contratrabes de la losa son de 3.60 m de peralte en los ejes centrales y de 2.40 en los siguientes ejes. Los muros perimetrales del sótano están unidos a esta losa de cimentación, lo que permite que trabaje como cajón de cimentación. (ver figura 2.4)

De un estudio de las características del suelo de la ciudad de México (*Marsal y Masarí, 1987*), se obtuvo un sondeo continuo de las condiciones del suelo que se encuentra en la esquina que forman las calles de Puebla e Insurgentes en la colonia Roma, este sondeo se localiza cerca del edificio Plaza Córdoba por ello se consideraron los resultados como representativos del lugar. Según los resultados obtenidos del sondeo (figura 2.5) se encuentra inicialmente una capa de relleno a nivel superficial, le sigue una capa de limo arcillosa, después se conserva el limo arcilloso ahora combinado con un poco de arena en esta capa se encuentra el nivel freático aproximadamente a 2.80 m del nivel del terreno, a partir de los 5 m y hasta los 30 m de profundidad aparece una capa de arcilla combinada en algunas ocasiones con pequeños estratos de limo; como se muestra en la gráfica a partir de los 5 m el contenido de agua se encuentra entre 300% y 400%, con una relación de vacíos promedio de 7 y densidad promedio de 2.5.

De acuerdo con la zonificación del reglamento de construcciones de la ciudad de México el edificio se encuentra ubicado en la zona I que se caracteriza por tener la profundidad de depósitos incompresibles menor a 3 m.

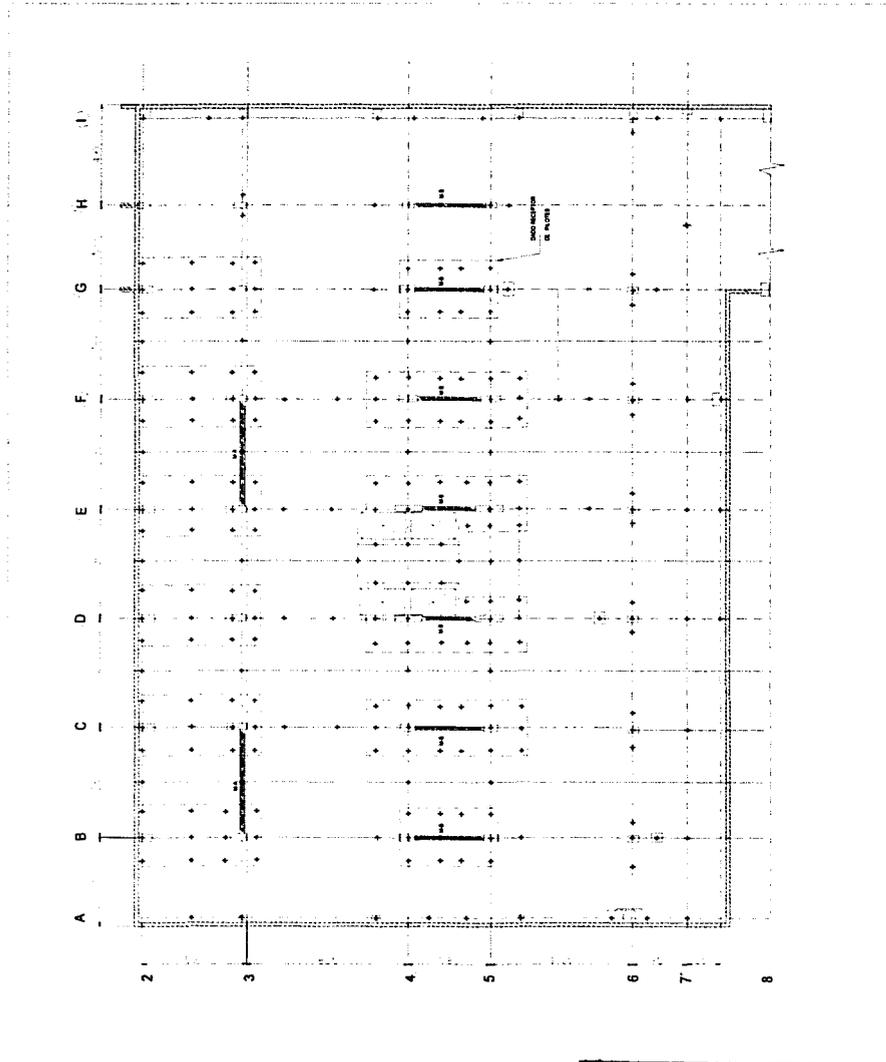


Figura 2.4 Distribución de los 266 pilotes y localización de los muros de concreto de la cimentación

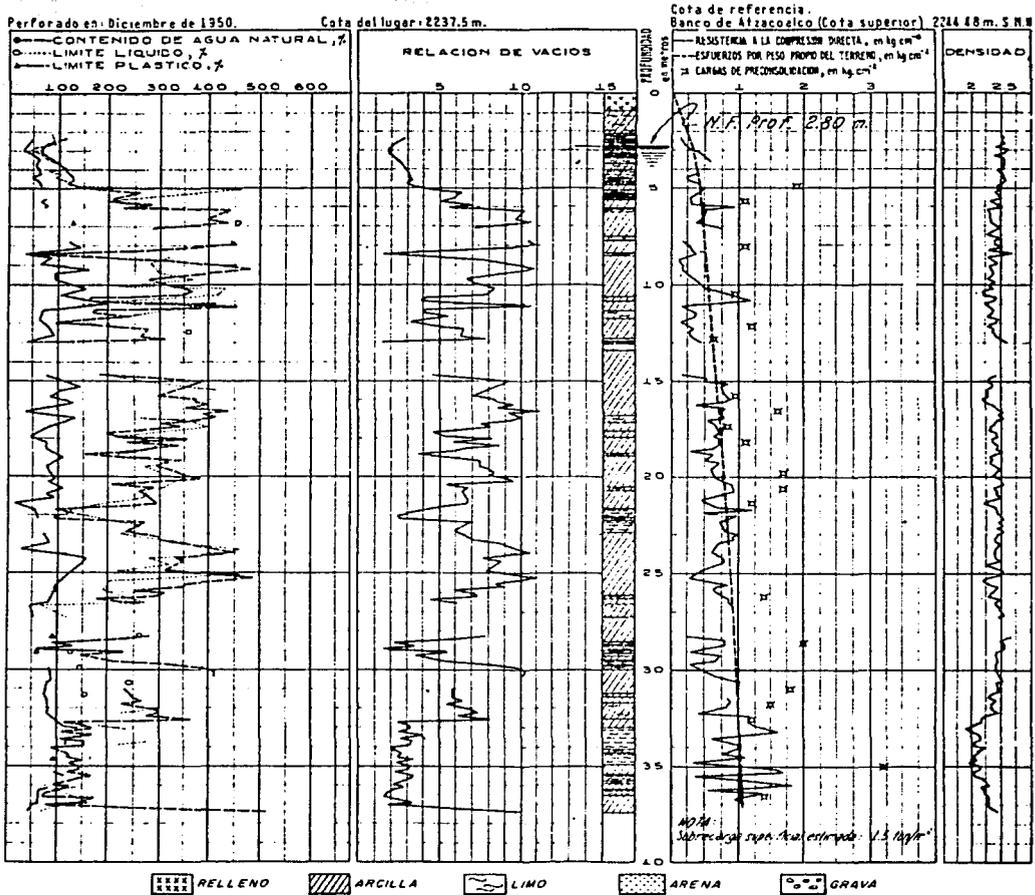


Figura 2.5 Corte estratigráfico y propiedades mecánicas del subsuelo en Av. Insurgentes y Puebla

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III INSTRUMENTACIÓN

III.1 Ubicación de los acelerógrafos

El número de equipos y la selección del lugar para su colocación se hizo con base en las características estructurales del edificio. En la selección del lugar para poner el equipo de campo libre se aseguró que fuera un sitio alejado de inmuebles, del tráfico vehicular y de peatones para evitar que estos factores influyan en el registro.

La ubicación de los equipos es de la siguiente manera: uno en la parte central del jardín del edificio (PCJR); cuatro instrumentos en el sótano (PCSO, PCSE, PCSS, PCSC) con la distribución mostrada en la figura 3.3 y 3.4, los tres primeros se situaron en las columnas extremas y el último en la parte central del sótano.

En el entrepiso E7-E8 se colocaron los acelerógrafos PCEC, PCEO, PCE7 y PCE8 (figura 3.5), los dos últimos se colocaron en los extremos de la misma columna con la finalidad de conocer el movimiento de entrada a la torre y por otra parte para observar el movimiento diferencial de la columna. En el cuerpo de la torre se instalaron dos aparatos (PC6C y PC6E) en el nivel 6 de oficinas (figura 3.6); y dos más (PCAC y PCAE) en la azotea (figura 3.7), esto permitirá conocer las formas características del modo de vibrar de la estructura.

Dada la configuración descrita, los instrumentos colocados en PCSE, PCE7, PCE8, PC6E y PCAE se encuentran en una línea vertical sobre una columna al sureste del edificio, la cual inicia en el sótano y concluye en la azotea. Igualmente sucede con los aparatos ubicados al centro del edificio como lo son: PCSC, PCEC, PC6C y PCAC, (figura 3.1) (*Quaas et al, 1990*).

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

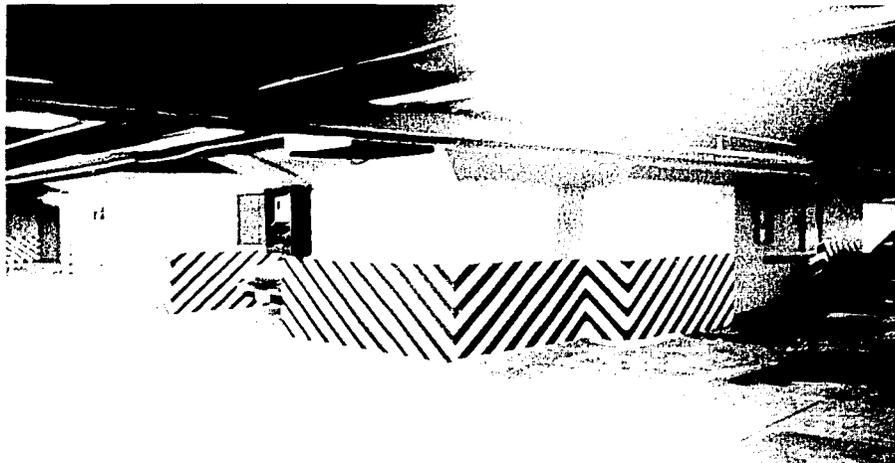


Foto 1. Equipo ubicado en el centro del sótano, PCSC

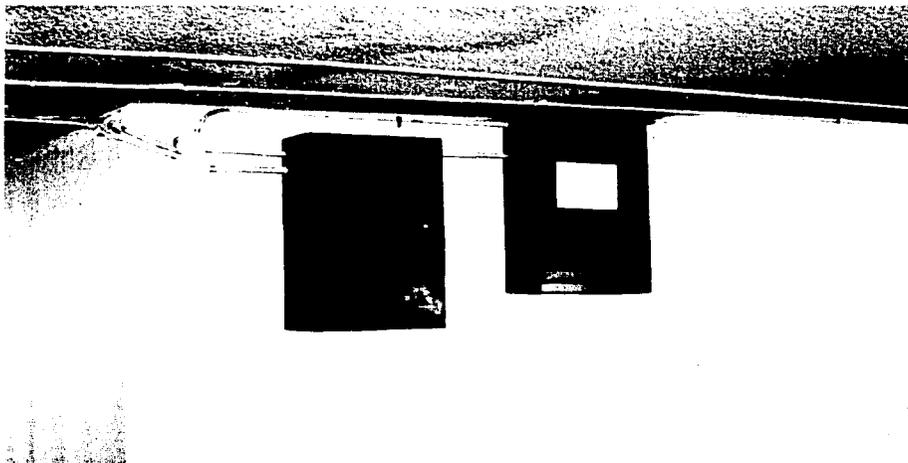


Foto 2. Estación PCEC, estacionamiento centro

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTACIÓN	CLAVE
Plaza Córdoba Azotea Centro	PCAC
Plaza Córdoba Azotea Este	PCAE
Plaza Córdoba Nivel 6 de Oficinas Centro	PC6C
Plaza Córdoba Nivel 6 de Oficinas Este	PC6E
Plaza Córdoba Nivel 8 de Estacionamiento Oeste	PCEO
Plaza Córdoba Nivel 8 de Estacionamiento Centro	PCEC
Plaza Córdoba Nivel 8 de Estacionamiento Este	PCE8
Plaza Córdoba Nivel 7 de Estacionamiento Este	PCE7
Plaza Córdoba Sótano Oeste	PCSO
Plaza Córdoba Sótano Centro	PCSC
Plaza Córdoba Sótano Este	PCSE
Plaza Córdoba Sótano Sur	PCSS
Plaza Córdoba Jardín	PCJR

Tabla 3.1. Nombre y clave de las estaciones de registro en el edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

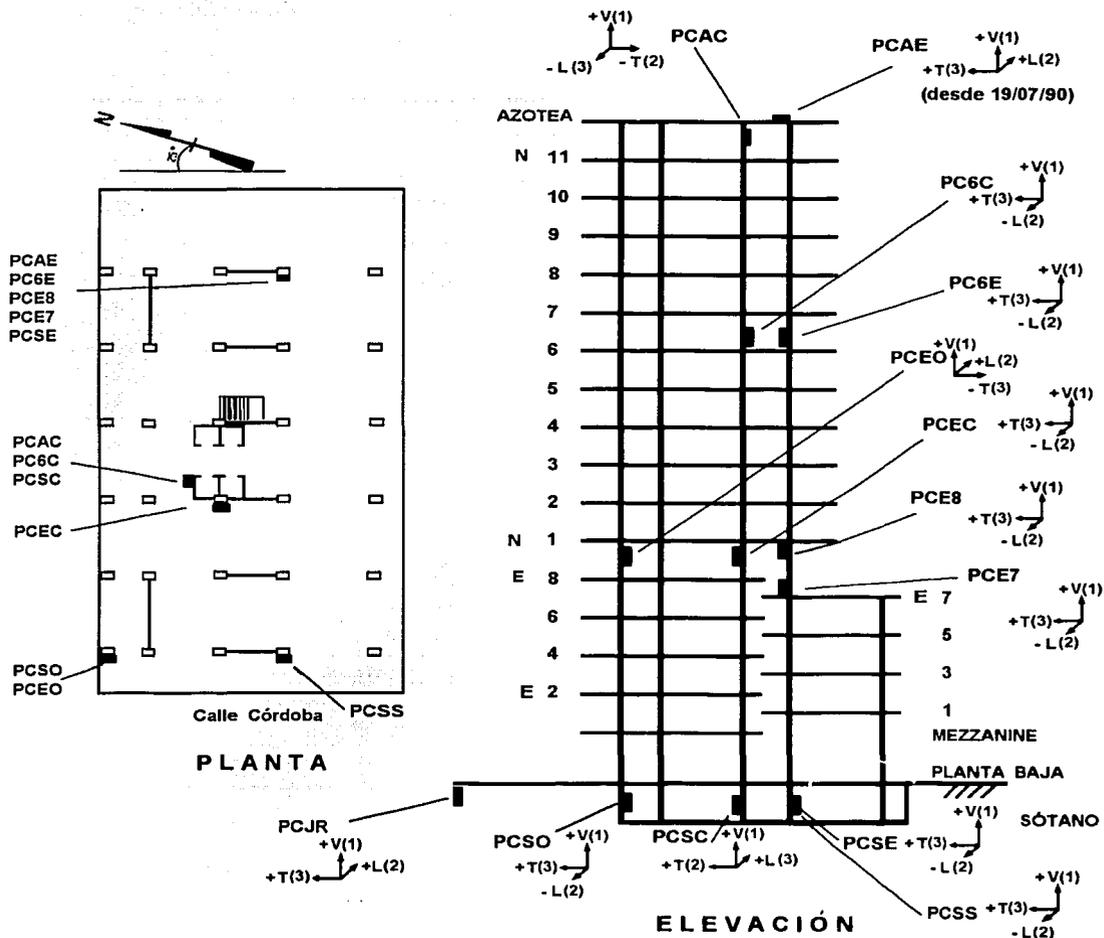


Figura 3.1 Ubicación de los equipos y orientación de los sensores en el edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

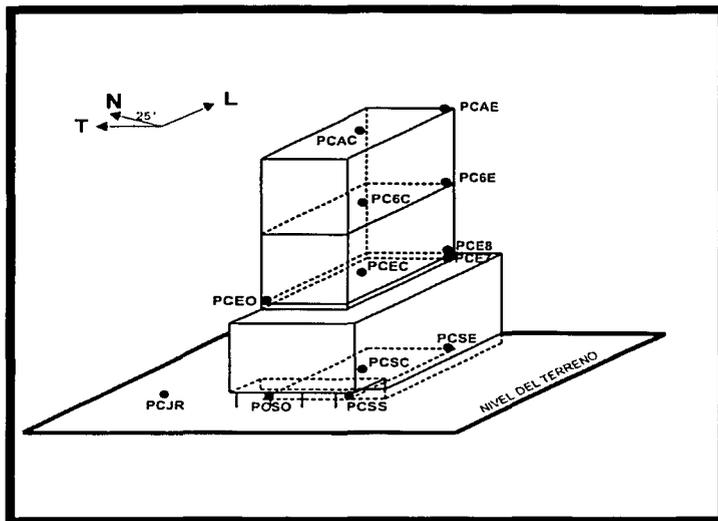


Figura 3.2 Ubicación de los equipos en el edificio Plaza Córdoba

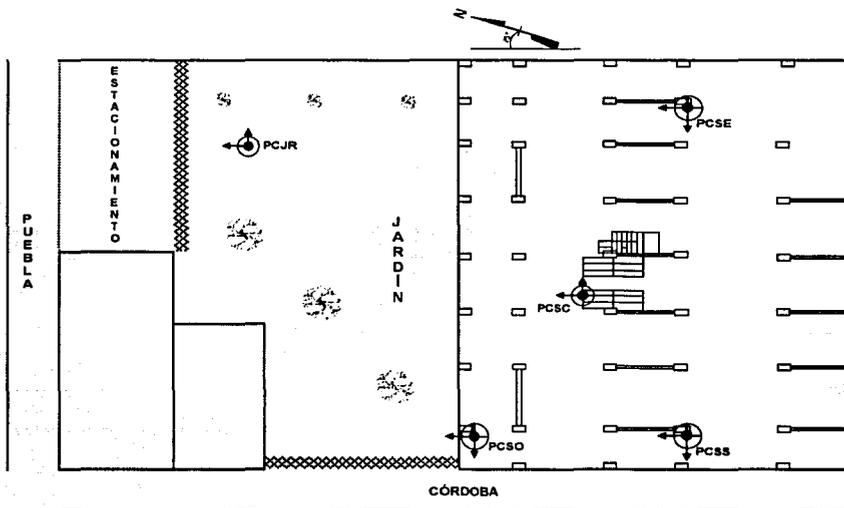


Figura 3.3 Localización de los equipos del jardín y sótano

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

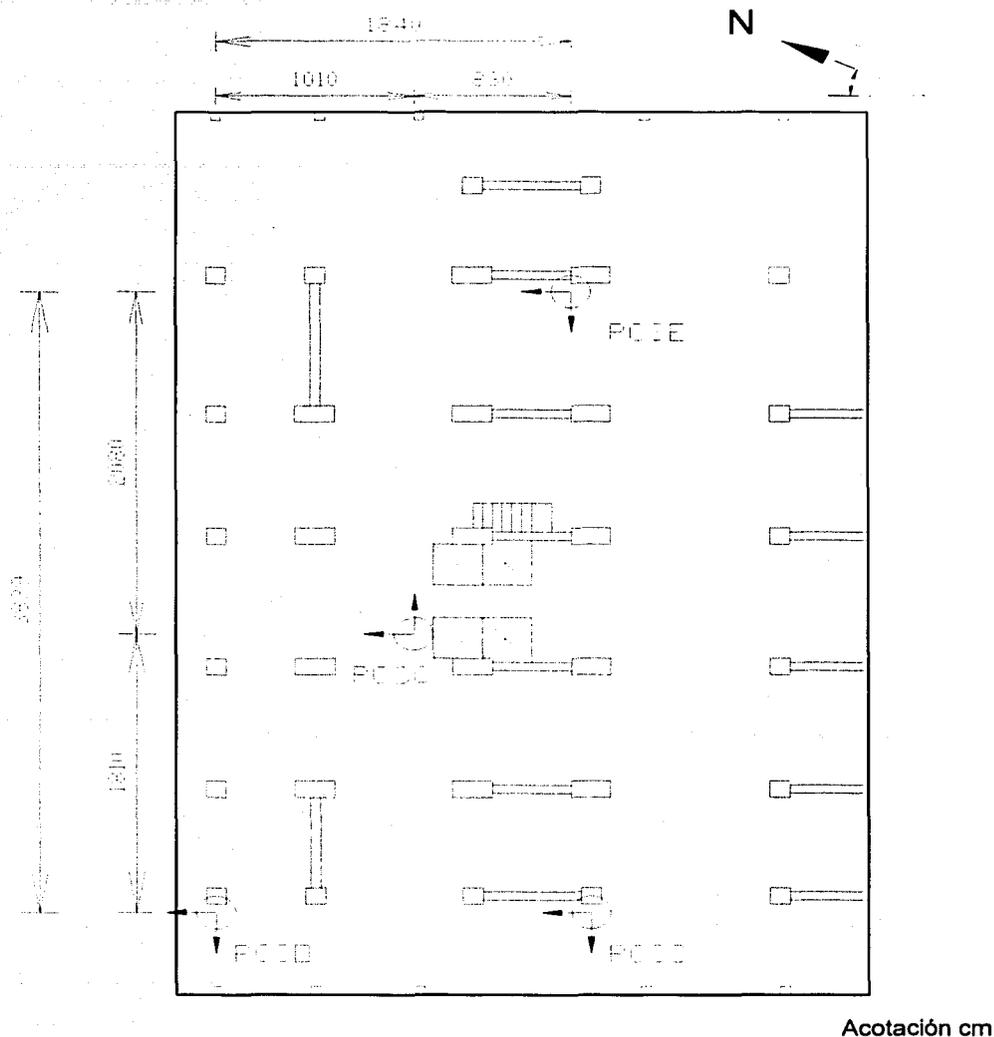


Figura 3.4 Localización de los acelerógrafos en el sótano del edificio Plaza Córdoba

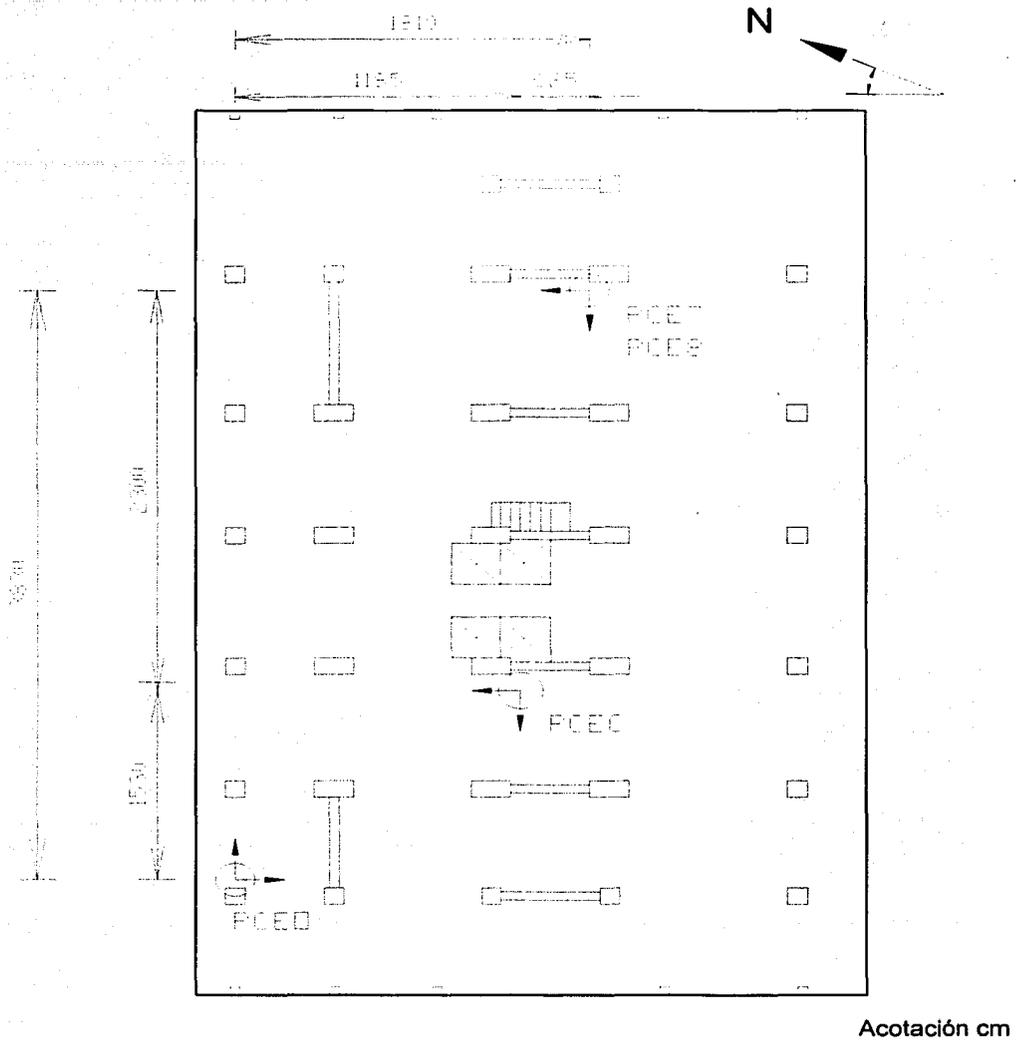
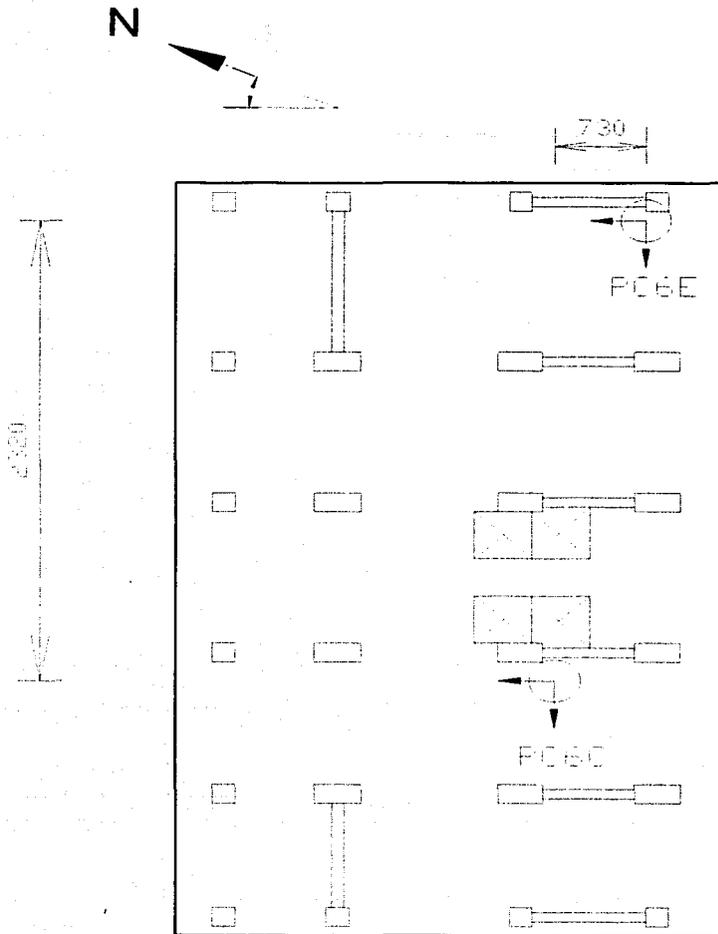


Figura 3.5 Localización de los acelerógrafos en el nivel E8 del edificio Plaza Córdoba

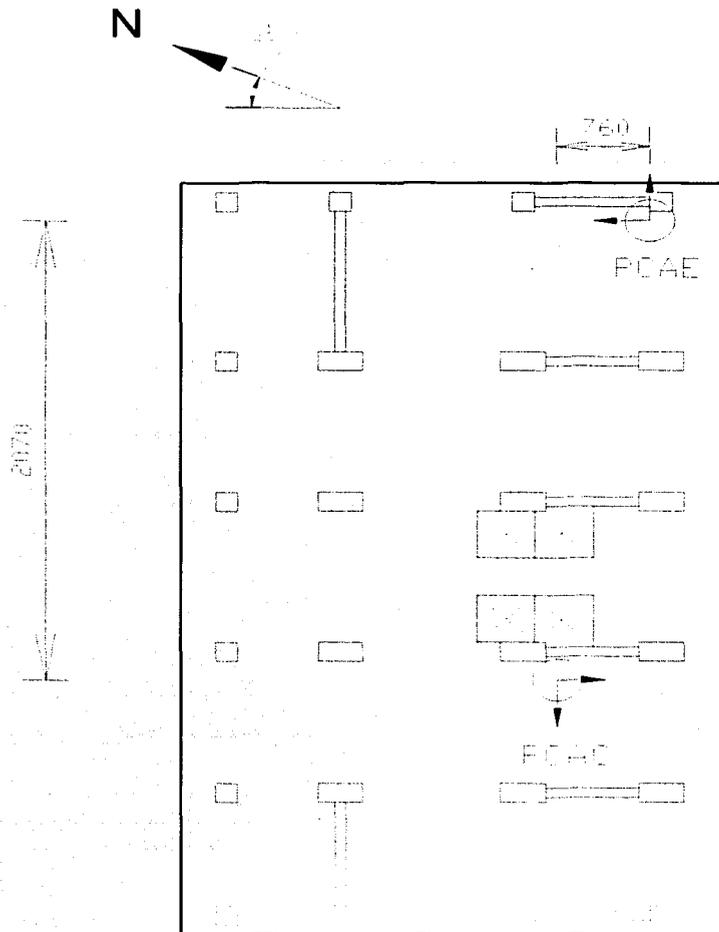
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Acotación cm

Figura 3.6 Localización de los acelerógrafos en el nivel 6 de oficinas del edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Acotación cm

Figura 3.7 Localización de los acelerógrafos en el nivel de azotea del edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2 Características de la instrumentación existente

La red está integrada por 13 acelerógrafos digitales cada uno cuenta con sensores de registro en tres direcciones ortogonales, sistema de almacenamiento en estado sólido, velocidad de captura de 100 muestras por segundo por cada canal, memoria de pre-evento y post-evento; en la (tabla 3.2) se presenta mayor información (Alcántara et al, 1998).

CARACTERÍSTICAS	DCA-333R
Medio de registro	Memoria de estado sólido
Sensores	Servoacelerómetros Triaxiales Internos
Frecuencia natural	30.0 Hz
Amortiguamiento	0.70 del crítico
Escala	$\pm \gamma 00.2 \psi \gamma 00.1$, $\gamma 05.0$, $\gamma 52.0$
Memoria de preevento	4.0 s
Tiempo de postevento	15.0 s
Tiempo total de registro	15.0 min.
Velocidad de muestreo	100 muestras/s/canal
Longitud de palabra del conversor A/D	12 bit, 11 + signo
Rango dinámico	72 dB
Umbral de disparo	Ajustable
Referencia de tiempo	Reloj interno, 1×10^{-6} y marcas externas
Alimentación	12 VCD, cargador y batería automotriz en flotación

Tabla 3.2 Características de los acelerógrafos instalados en el edificio Plaza Córdoba

Con relación a las escalas de registro es importante señalar que todos los sensores verticales tienen $\pm 0.25g$. En el caso de los sensores horizontales varían en cada nivel entre $\pm 0.5g$ y $\pm 2.0g$ (tabla 3.3).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTACIÓN	INTERVALO DE REGISTRO			NIVEL DE DISPARO (gal ^a)	
	NORTE-SUR	ESTE-OESTE	VERTICAL	HORIZ.	VERT.
PCAC	±1.00 g ^c	±1.00 g	±0.25 g	9.0	2.25
PCAE	±2.00 g	±2.00 g	±0.50 g	10.0	2.5
PC6C ^o	±1.00 g	±1.00 g	±0.25 g	5.0	1.25
PC6E	±1.00 g	±1.00 g	±0.25 g	5.0	1.25
PCEC	±0.50 g	±0.50 g	±0.25 g	4.0	2.0
PCEO	±0.50 g	±0.50 g	±0.25 g	4.0	2.0
PCE8	±0.50 g	±0.50 g	±0.25 g	4.0	2.0
PCE7	±0.50 g	±0.50 g	±0.25 g	4.0	2.0
PCSC	±0.25 g	±0.25 g	±0.25 g	1.5	1.5
PCSO	±0.25 g	±0.25 g	±0.25 g	1.5	1.5
PCSE	±0.25 g	±0.25 g	±0.25 g	1.5	1.5
PCSS	±0.25 g	±0.25 g	±0.25 g	1.5	1.5
PCJR	±0.25 g	±0.25 g	±0.25 g	1.5	1.5

g = 981 cm/s²^o Aparato maestro^a 1 gal = 1 cm/s²

Tabla 3.3 Escala de registro y nivel de disparo de los sensores

Todos los instrumentos se encuentran conectados entre sí y tienen una señal común de tiempo con la finalidad de obtener un registro sincronizado, que permita conocer con precisión el movimiento relativo de los puntos de medición de la estructura. La conexión se basa en una configuración maestro-esclavo con la cual, al rebasar el movimiento el nivel de disparo del aparato maestro, se activa la operación simultánea de todos los demás; no obstante cada equipo está programado para iniciar su funcionamiento en forma autónoma cuando su sistema detecta un valor de aceleración mayor al nivel programado; el aparato maestro es el PC6C y se ubica en el nivel 6, la selección del lugar dependió de las pruebas de sensibilidad realizadas en cada sitio y de la experiencia obtenida durante la operación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS REGISTROS SÍSMICOS ESTUDIADOS

A lo largo de 11 años de instalada la red del edificio Plaza Córdoba, se han registrado 53 sismos. En la tabla 4.1 se indica la fecha, hora de inicio y características de cada uno de los movimientos antes mencionados.

Fecha del sismo	Hora del sismo (GMT) HH:MM:SS.S	Magnitud	Coordenadas Epicentrales		Prof. (Km)	Acel. Máx. (Gal)
			Lat. N (°)	Long. W(°)		
16/Sep/89	23:20:56.5	5.6	16.21	94.01	93	10.05
08/Oct/89	22:32:40.6	5.0	17.18	100.21	36	9.09
09/Nov/89	08:36:40.9	5.1	16.84	99.65	10	6.22
13/Ene/90	02:07:27.6	5.0	16.82	99.63	12	10.53
11/May/90	23:43:49.1	5.3	17.04	100.84	12	24.40
19/May/90	13:37:34.6	5.1	17.20	101.33	5	6.70
31/May/90	07:35:26.9	5.5	17.10	100.89	16	39.72
14/Ene/91	21:11:06.0	5.1	17.84	101.85	25	12.92
01/Abr/91	07:34:45.9	5.3	16.04	98.38	26	16.76
25/Jul/91	15:25:31.2	5.2	17.81	95.09	5	10.52
25/Jul/91	15:45:58.1	5.0	16.76	101.45	13	7.16
24/Nov/91	03:47:06.9	5.2	16.10	98.12	5	8.60
12/Feb/92	11:56:58.2	4.4	17.73	101.06	5	10.52
07/Jun/92	09:01:43.7	4.6	16.17	98.90	5	7.16
07/Jun/92	17:41:10.7	4.7	16.22	98.87	5	11.96
11/Mar/93	20:43:59.4	5.1	18.31	101.73	12	8.12
31/Mar/93	10:18:15.5	5.3	17.18	101.02	8	11.48
15/May/93	03:09:39.4	5.8	16.43	98.74	20	19.60
15/May/93	03:11:56.0	6.0	16.47	98.72	15	53.45

Tabla 4.1. Características principales de sismos registrados en el edificio Plaza Córdoba

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fecha del sismo	Hora del sismo (GMT) HH:MM:SS.S	Magnitud	Coordenadas Epicentrales		Prof. (Km)	Acel. Máx. (Gal)
			Lat. N(°)	Long. W(°)		
29/Jul/93	20:17:01.5	5.0	17.38	100.65	43	8.14
05/Ago/93	01:20:48.2	5.1	17.08	98.53	32	4.32
03/Sep/93	12:35:00.6	6.5	13.98	92.79	69	18.68
10/Sep/93	10:50:23.7	4.8	16.57	98.94	20	10.04
10/Sep/93	19:12:54.9	6.3	14.14	92.82	14	24.88
24/Oct/93	07:52:18.2	6.5	16.54	98.98	19	90.53
13/Nov/93	00:16:44.5	5.3	15.63	99.02	15	11.02
23/Feb/94	14:13:51.0	5.0	17.82	97.3	5	2.87
23/May/94	01:41:46.0	5.6	18.03	100.57	23	23.95
10/Dic/94	16:17:40.9	6.3	18.02	101.56	20	169.34
14/Sep/95	14:04:30.5	7.3	16.31	98.88	22	195.27
09/Oct/95	15:35:51.0	7.5	18.74	104.67	5	106.34
12/Oct/95	16:53:04.3	6.1	19.04	103.70	11	15.33
21/Oct/95	02:38:59.0	6.5	16.92	93.62	98	11.49
25/Feb/96	03:08:13.8	5.1	15.83	98.25	3	28.74
25/Feb/96	14:27:24.3	5.2	15.48	98.04	13	10.06
27/Mar/96	12:34:48.2	4.6	16.21	98.25	7	13.41
15/Jul/96	21:23:38.5	6.0	17.45	101.16	20	5.27
11/Ene/97	20:28:27.2	6.5	17.91	103.04	16	164.78
22/May/97	07:50:55.4	5.9	18.43	101.79	61	27.78
16/Dic/97	11:48:29.6	4.7	15.70	99.04	16	8.62
22/Dic/97	05:22:07.8	4.6	17.14	101.24	5	11.49
10/Ene/98	08:20:17.0	6.3	15.05	91.87	20	12.45
03/Feb/98	03:02:01.0	6.3	15.74	96.44	23	19.16

Tabla 4.1. Características principales de sismos registrados en el edificio Plaza Córdoba (Continuación)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Fecha del sismo	Hora del sismo (GMT) HH:MM:SS.S	Magnitud	Coordenadas epicentrales		Prof. (Km)	Acel. Máx. (Gal)
			Lat. N(°)	Long. W(°)		
20/Abr/98	22:59:18.0	5.4	18.34	101.20	32	16.77
07/Jun/98	23:20:16.0	5.7	15.83	93.93	33	11.02
11/Jul/98	05:21:09.0	5.2	17.07	101.89	5	13.41
15/Jun/99	20:42:05.0	6.7	18.20	97.47	92	166.69
21/Jun/99	17:43:05.0	5.8	18.08	101.74	43	31.86
30/Sep/99	16:31:14.0	7.4	15.89	97.07	12	220.41
29/Dic/99	05:19:47.0	5.9	18.10	101.68	20	26.74
12/Mar/00	22:21:32.0	6.4	14.58	92.97	34	11.84
21/Jul/00	06:13:40.0	5.9	18.09	98.97	47	45.97
09/Ago/00	11:41:46.0	7.0	17.94	102.71	9	152.93

Tabla 4.1 Características principales de sismos registrados en el edificio Plaza Córdoba (Continuación)

IV.1 Características de los sismos

Han sido seleccionados para su estudio los 14 sismos más significativos (figura 4.1), tomando en cuenta su magnitud e intensidad sísmica. En la tabla 4.2 se muestran los eventos seleccionados con sus respectivas características: fecha, localización, hora, magnitud, coordenadas epicentrales, distancia epicentral al edificio e intensidad sísmica.

La intensidad sísmica, o intensidad de Arias (I_h) se basa en la hipótesis de que la cantidad de daño estructural impartida por un sismo es proporcional a la energía disipada por unidad de peso de las estructuras y se calcula con la ecuación siguiente:

$$I_h = I_{xx} + I_{yy} = \frac{\pi}{2g} \int_0^t (a_x^2 + a_y^2) dt$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

donde:

I_h = Intensidad sísmica o intensidad de Arias

I_{xx} = Intensidad horizontal en dirección x

I_{yy} = Intensidad horizontal en dirección y

a_x = aceleración del terreno en dirección x

a_y = aceleración del terreno en dirección y

g = aceleración de la gravedad

t = duración del sismo

El sismo mas intenso que se ha presentado en el edificio hasta este momento es el ocurrido el 14 de septiembre de 1995 ($M=7.3$), con una intensidad horizontal de Arias de 21.398 cm/s^2 . Los eventos 990615 ($M=6.7$) y 990930 ($M=7.4$) han generado respectivamente 17.556 y 20.875 cm/s^2 .

IV.2 Procesamiento de acelerogramas

El primer paso consiste en editar los registros generados en los acelerógrafos del edificio, dejándolos finalmente con un formato estándar que consiste de 109 líneas en las cuales se indican los datos de la estación (nombre, clave, localización), del equipo (modelo, número de serie, orientación de los canales, escala de sensores), información del sismo (fecha, tiempo de inicio, magnitud, coordenadas) y del registro en particular (tiempo inicial corregido, duración, número de muestras, y aceleraciones máximas en los 3 canales). A partir de la línea 110 y hasta el final del archivo se encuentran tres vectores de aceleración registrada en cada uno de los canales.

En la segunda etapa del proceso se sincronizó el tiempo inicial de los registros de los 13 equipos instalados dejándolos en una señal común de tiempo. Se aplicó un filtrado pasa banda Butterworth de dos polos con frecuencias de corte de 0.10 y 30 Hz. para eliminar los componentes frecuenciales que no son de interés. Se efectuó la corrección de línea base para determinar el eje de amplitudes cero a cada registro, calculando la media de las amplitudes de todos los puntos del registro y restándoselo al valor de la amplitud de cada punto. Se realizó por último la integración de los acelerogramas para obtener velocidades y mediante una nueva integración se obtuvieron las historias de desplazamientos en la estructura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Evento	Fecha	Localización	Hora (GMT)	Magnitud M_w	Coordenadas		Distancia Epicentral (km)	Intensidad Sismica (cm/s)
					Lat. N	Long. W		
1	90/05/31	Guerrero	07:35:26.9	5.30	17.106	100.893	316	0.833
2	93/10/24	Gro. / Oax.	07:52:18.2	6.70	16.540	98.980	319	2.909
3	94/05/23	Guerrero	01:41:46.0	6.30	18.030	100.570	215	0.479
4	94/12/10	Guerrero	16:17:40.9	6.50	18.020	101.560	298	6.446
5	95/09/14	Gro. / Oax.	14:04:30.5	7.50	16.310	98.880	345	21.398
6	95/10/09	Colima	15:35:51.0	7.90	18.740	104.670	586	9.235
7	97/01/11	Michoacán	20:28:27.2	7.10	17.910	103.040	443	7.579
8	97/05/22	Guerrero	07:50:55.7	6.50	18.410	101.810	302	0.420
9	99/06/15	Puebla	20:42:05.0	6.70	18.200	97.470	223	17.556
10	99/06/21	Guerrero	17:43:05.0	5.80	18.080	101.74	311	0.712
11	99/09/30	Oaxaca	16:31:14.0	7.40	16.050	97.002	437	20.875
12	99/12/29	Gro. / Oax.	05:19:47.0	5.90	18.100	101.680	304	0.649
13	00/07/21	Pue. / Morelos	06:13:40.0	5.90	18.090	98.970	148	1.871
14	00/08/09	Gro. / Mich.	11:41:46.0	7.0	17.940	102.710	410	5.986

Tabla 4.2 Características de los sismos estudiados

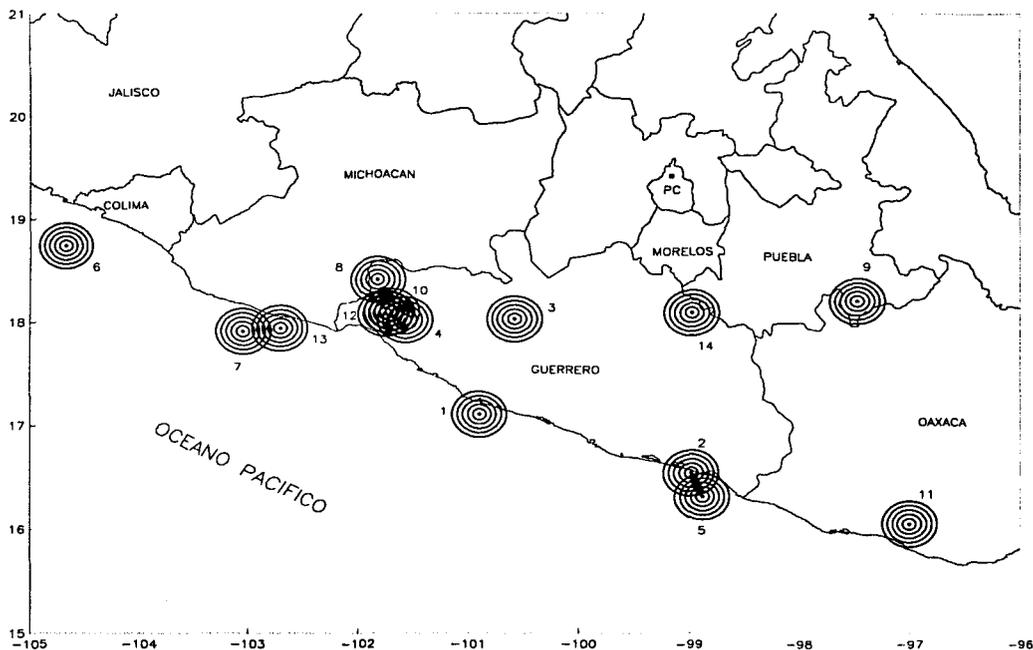


Figura 4.1 Localización epicentral de los sismos más intensos registrados en el edificio Plaza Córdoba.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

V. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES

V.1 *Análisis en el dominio del tiempo*

V.1.1 Aceleración, velocidad y desplazamiento

En las tablas 5.1 – 5.14, se presentan los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento para los 14 sismos seleccionados.

La máxima aceleración registrada en el edificio, 219.90 cm/s^2 , se obtuvo con el sismo del 30 de septiembre de 1999. Es importante mencionar que dicho evento no es el más intenso y produjo el máximo valor de aceleración. El evento sísmico con mayor intensidad es el del 14 de septiembre de 1995 ($I_s = 21.39 \text{ cm/s}$) y generó una aceleración de 194.70 cm/s^2 .

Las velocidades y desplazamientos, como ya fue mencionado, se obtuvieron mediante un proceso de integración aplicado a los registros de aceleración. Los archivos de desplazamiento fue importante obtenerlos para realizar estudios en el dominio del tiempo. Las mayores velocidades y desplazamientos corresponden a los sismos 990930 y 950414, con valores de 64.02 cm/s , 23.41 cm y 62.34 cm/s , 23.47 cm respectivamente. Todos los máximos mencionados anteriormente han sido registrados en la azotea este, en dirección transversal al edificio. En la dirección contraria (longitudinal), los máximos fueron 44.73 cm/s y 20.47 cm , también en el equipo oriente de azotea. En campo libre, los mayores valores registrados (a partir de 1999 que se instaló dicho equipo) han sido: aceleración, 27.97 cm/s^2 , el 15 de junio de 1999; velocidad, 7.70 cm/s y desplazamiento, 3.02 cm , e stos últimos, resultados del sismo 990930 (30 de septiembre de 1999). En las figuras 5.1 a 5.14 se presentan graficadas las historias de aceleración y desplazamiento.

Las máximas amplificaciones de los movimientos de la azotea con respecto al suelo en el edificio Plaza Córdoba han sido de aproximadamente 8 veces.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	39.30	32.83	4.15	14.83	9.51	0.77	6.20	4.03	0.33
PCAE	35.31	35.19	3.98	12.05	11.08	1.05	5.07	4.56	0.39
PC6C	22.96	18.61	4.51	9.07	7.07	1.10	3.99	2.81	0.46
PC6E	19.89	21.19	2.91	7.77	8.22	0.70	3.27	3.26	0.24
PCEC	12.81	13.91	3.15	4.26	3.64	0.66	1.68	1.36	0.25
PCEO	17.06	13.63	3.92	4.90	4.24	0.87	2.02	1.65	0.35
PCE7	10.09	13.00	2.00	3.18	3.23	0.44	1.26	1.15	0.16
PCE8	11.60	14.30	2.92	3.68	3.85	0.58	1.42	1.35	0.19
PCSC	6.50	5.75	2.09	2.39	1.83	0.41	0.87	0.74	0.11
PCSE	7.08	6.06	1.68	2.45	1.87	0.33	0.90	0.75	0.09
PCSO	6.60	5.58	2.20	2.26	1.84	0.44	0.83	0.74	0.16

Tabla 5.1. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 31 de Mayo de 1990

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	53.61	70.74	8.74	17.48	17.78	1.13	6.97	7.96	0.33
PCAE	90.09	71.95	7.81	26.14	20.19	1.80	9.70	8.72	0.53
PC6C	25.03	34.12	9.28	9.64	13.44	1.89	3.93	5.34	0.62
PC6E	59.24	41.16	6.61	20.39	15.34	1.65	7.25	6.03	0.48
PCEC	18.05	22.14	4.18	4.24	6.49	0.97	1.78	2.39	0.39
PCEO	24.29	22.15	6.80	5.38	6.14	1.67	2.37	2.30	0.67
PCE7	17.50	20.40	4.47	5.75	5.69	1.13	1.88	1.98	0.28
PCE8	20.64	23.99	6.03	6.54	6.71	1.45	2.23	2.43	0.41
PCSC	13.28	9.71	3.54	3.67	2.37	0.52	1.36	0.94	0.16
PCSE	15.05	10.20	3.26	4.03	2.42	0.64	1.44	0.94	0.21
PCSO	11.86	9.75	3.68	3.51	2.45	0.79	1.31	0.96	0.34

Tabla 5.2. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 24 de Octubre de 1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	24.08	23.63	4.24	5.98	5.69	0.52	2.19	2.27	0.12
PCAE	25.89	22.85	4.68	8.12	5.54	0.60	2.67	2.37	0.21
PC6C	----	----	----	----	----	----	----	----	----
PC6E	19.47	11.27	3.70	6.16	4.26	0.50	2.14	1.63	0.17
PCEC	7.16	10.56	2.94	1.49	1.90	0.36	0.48	0.68	0.11
PCEO	10.44	13.49	3.10	2.17	2.01	0.42	0.81	0.72	0.17
PCE7	8.61	10.05	2.95	1.97	1.59	0.34	0.61	0.56	0.12
PCE8	10.43	10.72	2.99	2.14	2.03	0.44	0.72	0.67	0.15
PCSC	5.93	5.06	2.52	1.40	1.13	0.27	0.46	0.32	0.06
PCSE	7.78	5.16	2.65	1.62	1.14	0.27	0.49	0.32	0.08
PCSO	5.62	5.19	2.05	1.34	1.13	0.31	0.45	0.32	0.08

Tabla 5.3. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 23 de Mayo de 1994

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	80.72	74.52	11.64	30.39	18.22	2.02	12.92	7.78	0.65
PCAE	169.76	89.82	18.98	59.92	24.03	4.21	18.82	9.98	1.29
PC6C	46.50	34.84	11.26	18.35	13.13	2.75	7.90	5.07	1.17
PC6E	115.61	45.00	17.88	38.19	16.94	3.73	13.34	6.43	1.22
PCEC	16.48	17.66	6.33	6.78	4.98	1.50	2.71	1.94	0.61
PCEO	35.03	25.77	8.73	9.06	7.04	2.11	3.86	2.79	0.84
PCE7	27.34	15.66	20.51	8.19	4.15	2.42	2.95	1.37	0.75
PCE8	33.23	16.96	22.61	10.10	5.24	3.39	3.61	1.82	1.08
PCSC	15.15	9.44	3.07	4.83	3.34	0.58	1.66	1.13	0.17
PCSE	17.22	9.68	5.00	5.14	3.28	0.95	1.76	1.09	0.30
PCSO	14.59	10.11	4.52	4.72	3.38	1.03	1.63	1.16	0.34

Tabla 5.4. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 10 de Diciembre de 1994

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	127.44	150.60	20.58	47.35	36.19	3.05	21.86	17.17	0.98
PCAE	194.70	126.17	30.79	62.34	36.09	6.17	23.47	16.25	1.92
PC6C	70.12	67.08	20.31	27.88	26.07	4.14	13.06	11.36	1.45
PC6E	140.21	65.61	23.89	44.96	25.05	5.27	16.54	11.02	1.75
PCEC	47.85	43.51	10.85	12.78	12.39	2.23	5.12	4.83	0.76
PCEO	68.32	39.76	16.43	16.03	13.35	2.36	6.92	5.30	0.95
PCE7	34.63	40.88	16.29	12.14	10.97	3.11	4.47	4.02	1.16
PCE8	40.71	47.48	20.68	12.94	12.19	4.06	5.11	4.63	1.44
PCSC	30.13	32.47	10.87	9.12	7.34	2.74	3.31	2.82	0.73
PCSE	34.61	33.49	10.03	9.96	7.68	3.06	3.55	2.94	0.93
PCSO	28.22	32.69	10.88	8.90	7.21	2.51	3.33	2.74	0.83

Tabla 5.5. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 14 de Septiembre de 1995

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	85.55	69.10	11.53	31.51	18.63	2.50	13.37	8.55	0.86
PCAE	105.68	71.44	13.16	36.44	21.06	2.66	14.88	9.66	0.87
PC6C	43.34	31.45	10.30	16.96	13.48	3.01	7.33	5.57	1.15
PC6E	74.85	36.79	11.25	27.60	15.60	2.29	10.97	6.44	0.82
PCEC	14.64	13.50	4.91	5.90	5.13	1.43	2.99	2.19	0.57
PCEO	24.83	14.05	5.52	9.26	5.06	1.30	4.25	2.39	0.56
PCE7	17.61	12.96	6.94	5.83	4.32	1.47	2.62	1.98	0.50
PCE8	20.62	14.33	9.69	7.20	5.49	2.02	2.99	2.39	0.76
PCSC	16.07	14.72	1.89	5.96	4.77	0.58	2.94	1.75	0.26
PCSE	16.66	15.10	2.52	6.03	4.93	0.77	2.66	1.72	0.33
PCSO	16.10	14.66	3.07	5.88	4.73	0.70	2.53	1.74	0.33

Tabla 5.6. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 09 de Octubre de 1995

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	94.61	152.84	14.01	37.31	36.86	3.23	18.43	17.01	1.39
PCAE	116.43	161.69	15.28	39.80	44.73	2.86	15.58	20.47	1.28
PC6C	56.90	65.23	16.89	22.95	21.35	3.95	10.96	10.37	1.79
PC6E	85.23	80.28	13.46	29.50	32.46	2.49	11.61	14.38	0.91
PCEC	27.62	33.37	9.86	10.20	11.65	2.88	4.96	5.02	1.27
PCEO	43.13	25.05	14.51	13.85	7.13	4.14	6.91	3.21	1.80
PCE7	----	----	----	----	----	----	----	----	----
PCE8	34.00	39.87	11.22	8.85	12.44	2.22	3.81	5.08	0.75
PCSC	16.67	15.28	3.51	5.25	4.58	0.90	2.57	1.73	0.36
PCSE	18.08	14.57	3.46	6.06	6.16	1.34	2.52	2.28	0.72
PCSO	17.77	16.66	7.27	5.26	6.29	2.20	2.61	2.38	0.87

Tabla 5.7. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 11 de Enero de 1997

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	18.65	20.86	2.92	6.71	6.49	0.48	2.73	2.94	0.16
PCAE	26.68	23.61	3.09	8.31	7.99	0.67	3.39	3.66	0.19
PC6C	11.11	11.25	2.97	3.58	4.69	0.74	1.64	2.15	0.26
PC6E	16.66	15.51	2.61	6.75	5.86	0.56	2.62	2.65	0.16
PCEC	5.17	8.47	1.85	1.51	2.61	0.47	0.70	1.07	0.15
PCEO	7.45	7.74	3.29	2.38	2.13	0.60	0.97	0.99	0.22
PCE7	5.89	7.81	1.80	1.43	2.43	0.36	0.74	0.94	0.10
PCE8	6.55	8.96	2.07	1.76	2.91	0.42	0.86	1.13	0.13
PCSC	4.76	3.13	1.32	1.26	1.05	0.21	0.54	0.41	0.06
PCSE	4.73	3.30	1.72	1.24	1.09	0.27	0.57	0.42	0.08
PCSO	4.54	3.22	1.46	1.24	1.04	0.34	0.53	0.41	0.12

Tabla 5.8. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 22 de Mayo de 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	95.57	72.20	17.23	33.58	20.42	3.03	14.30	9.05	1.05
PCAE	166.16	87.09	26.88	46.08	20.03	4.83	18.73	8.98	1.53
PC6C	43.69	39.50	17.01	17.02	13.84	3.15	7.61	5.98	1.35
PC6E	95.48	34.52	23.01	32.69	13.85	4.11	13.13	6.15	1.35
PCEC	22.87	27.78	11.04	7.51	5.81	1.95	2.85	2.71	0.68
PCEO	37.86	26.41	10.99	11.75	7.11	1.94	4.12	2.97	0.81
PCE7	33.28	30.30	13.76	7.31	5.86	2.39	2.88	2.30	0.80
PCE8	40.02	33.37	16.19	8.99	7.15	2.75	3.31	2.59	0.92
PCSC	23.77	18.66	10.07	8.11	4.81	1.54	2.84	1.77	0.45
PCSE	26.09	19.18	8.29	7.75	4.91	1.39	2.84	1.83	0.43
PCSO	----	----	----	----	----	----	----	----	----
PCSS	22.90	19.22	8.68	8.42	4.79	1.12	2.84	1.74	0.30
PCJR	27.97	23.56	9.79	7.51	5.49	1.35	2.71	2.02	0.38

Tabla 5.9. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 15 de Junio de 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	21.34	15.05	4.16	5.43	4.63	0.48	2.35	1.74	0.12
PCAE	31.59	16.29	4.76	9.46	5.61	0.70	3.13	2.38	0.18
PC6C	9.58	7.66	3.39	3.69	2.94	0.53	1.59	1.20	0.22
PC6E	20.88	9.61	3.6	6.19	3.66	0.56	2.21	1.57	0.16
PCEC	6.82	5.82	2.36	1.41	1.39	0.36	0.58	0.47	0.13
PCEO	7.85	7.04	2.17	1.98	1.30	0.41	0.83	0.46	0.17
PCE7	7.65	5.81	2.79	1.54	1.40	0.37	0.54	0.43	0.11
PCE8	8.32	6.24	3.02	1.79	1.71	0.51	0.65	0.55	0.14
PCSC	6.35	4.86	2.08	1.39	1.19	0.28	0.52	0.41	0.06
PCSE	6.57	4.98	2.43	1.46	1.24	0.26	0.54	0.43	0.07
PCSO	5.92	5.31	1.70	1.52	1.15	0.30	0.51	0.41	0.09
PCSS	6.00	4.77	1.84	1.50	1.22	0.25	0.50	0.42	0.10
PCJR	5.71	6.05	1.94	1.45	1.41	0.28	0.54	0.44	0.06

Tabla 5.10. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 21 de Junio de 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	123.21	113.81	26.08	39.27	27.32	4.12	16.18	12.94	1.14
PCAE	219.90	104.28	28.91	64.02	32.60	6.63	23.41	15.86	1.78
PC6C	52.63	50.86	16.80	21.32	19.89	4.21	9.07	8.99	1.54
PC6E	133.43	59.67	24.45	44.76	24.12	5.68	16.08	10.10	1.58
PCEC	29.59	34.24	9.75	7.09	10.62	2.10	3.14	4.34	0.83
PCEO	42.84	46.42	10.05	13.40	11.44	1.96	4.83	5.04	0.78
PCE7	38.23	35.25	13.00	10.85	10.33	3.11	3.56	3.85	0.85
PCE8	43.99	38.87	18.13	13.24	12.55	3.82	4.46	4.61	1.21
PCSC	27.67	22.48	8.19	7.63	7.56	1.26	2.65	2.58	0.58
PCSE	27.05	23.35	9.06	7.65	7.75	1.47	2.48	2.69	0.63
PCSO	28.67	22.11	7.07	7.59	7.54	1.37	2.83	2.54	0.52
PCSS	28.00	23.14	7.17	7.61	7.68	1.47	2.79	2.64	0.61
PCJR	27.04	23.39	6.60	7.60	7.70	1.22	2.65	3.02	0.54

Tabla 5.11. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 30 de Septiembre de 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	16.34	23.97	3.79	6.03	6.95	0.36	2.30	2.92	0.11
PCAE	26.29	26.46	3.61	2.98	3.20	0.15	2.98	3.20	0.15
PC6C	8.17	11.62	2.02	3.25	4.84	0.51	1.41	1.82	0.17
PC6E	17.25	12.63	2.99	5.82	5.25	0.43	2.04	2.02	0.14
PCEC	3.74	5.24	1.30	1.17	1.66	0.26	0.55	0.59	0.10
PCEO	4.80	5.48	1.36	1.56	1.78	0.34	0.69	0.62	0.13
PCE7	4.18	4.27	1.77	0.99	1.52	0.27	0.47	0.54	0.09
PCE8	4.05	5.14	2.04	1.17	1.66	0.43	0.13	0.55	0.56
PCSC	5.13	4.87	0.95	1.51	4.34	0.14	0.54	0.46	0.05
PCSE	6.06	4.69	1.08	1.60	1.39	0.19	0.56	0.47	0.05
PCSO	5.00	5.21	0.98	1.47	1.35	0.21	0.51	0.47	0.08
PCSS	5.03	4.84	1.14	1.45	1.41	0.22	0.51	0.47	0.07
PCJR	6.43	5.40	0.94	1.78	1.41	0.17	0.58	0.51	0.05

Tabla 5.12. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante en el sismo del 29 de diciembre de 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	36.23	30.93	13.31	9.74	6.95	1.06	3.62	2.47	0.29
PCAE	45.56	36.83	13.54	11.72	7.85	1.15	3.83	2.92	0.25
PC6C	22.99	15.08	10.64	5.73	4.17	1.21	2.18	1.63	0.40
PC6E	31.48	17.86	12.84	7.94	4.73	1.01	2.88	1.95	0.21
PCEC	13.02	18.48	8.35	1.90	2.61	0.89	0.82	0.84	0.23
PCEO	22.53	15.80	9.26	3.01	2.65	1.11	0.86	0.99	0.24
PCE7	15.55	18.51	11.09	2.15	2.42	0.81	0.82	0.71	0.16
PCE8	14.55	19.98	11.74	2.52	2.83	0.90	0.87	0.85	0.21
PCSC	9.27	8.66	7.25	2.01	1.58	0.68	0.72	0.48	0.13
PCSE	13.57	8.80	9.81	2.16	1.54	0.75	0.71	0.47	0.12
PCSO	11.38	9.27	7.59	2.07	1.66	0.76	0.72	0.50	0.15
PCSS	11.45	8.02	6.05	2.06	1.50	0.52	0.72	0.44	0.10
PCJR	14.00	11.59	9.64	2.72	2.09	0.75	0.75	0.48	0.11

Tabla 5.13. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante el sismo del 21 de Julio de 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punto de Observación	Aceleración (cm/s ²)			Velocidad (cm/s)			Desplazamiento (cm)		
	T	L	V	T	L	V	T	L	V
PCAC	92.68	93.72	14.38	32.24	27.52	2.84	13.34	13.11	0.92
PCAE	151.96	89.34	17.99	48.51	28.65	4.38	18.70	13.62	1.37
PC6C	39.98	50.04	13.82	15.88	19.94	2.90	6.40	8.79	1.11
PC6E	96.17	51.95	17.37	33.47	21.15	3.94	12.34	9.31	1.29
PCEC	14.16	23.64	5.14	5.06	8.50	1.23	2.40	3.61	0.46
PCEO	21.82	21.89	4.82	6.68	7.92	1.29	2.87	3.46	0.57
PCE7	18.84	20.86	11.03	5.51	6.90	2.24	2.29	3.00	0.75
PCE8	23.99	24.29	14.87	6.98	8.57	3.06	2.45	3.56	1.06
PCSC	18.19	10.72	2.43	6.46	4.05	0.69	2.45	1.58	0.31
PCSE	17.37	10.28	3.47	6.34	4.15	0.81	2.41	1.64	0.31
PCSO	19.57	11.37	2.83	6.62	3.97	0.79	2.48	1.57	0.33
PCSS	19.49	10.55	3.32	6.54	4.06	0.64	2.48	1.60	0.29
PCJR	18.06	11.44	2.90	6.43	4.09	0.64	2.21	1.69	0.29

Tabla 5.14. Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos obtenidos durante el sismo del 9 de Agosto de 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

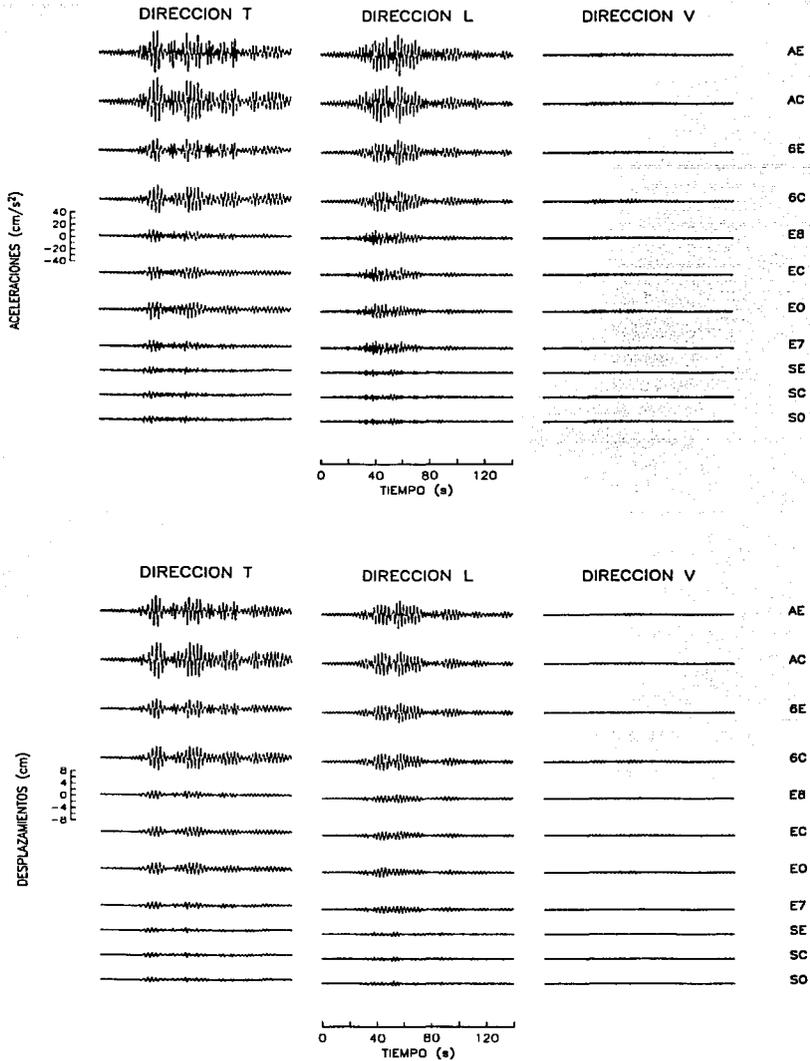


Figura 5.1. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 900531

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

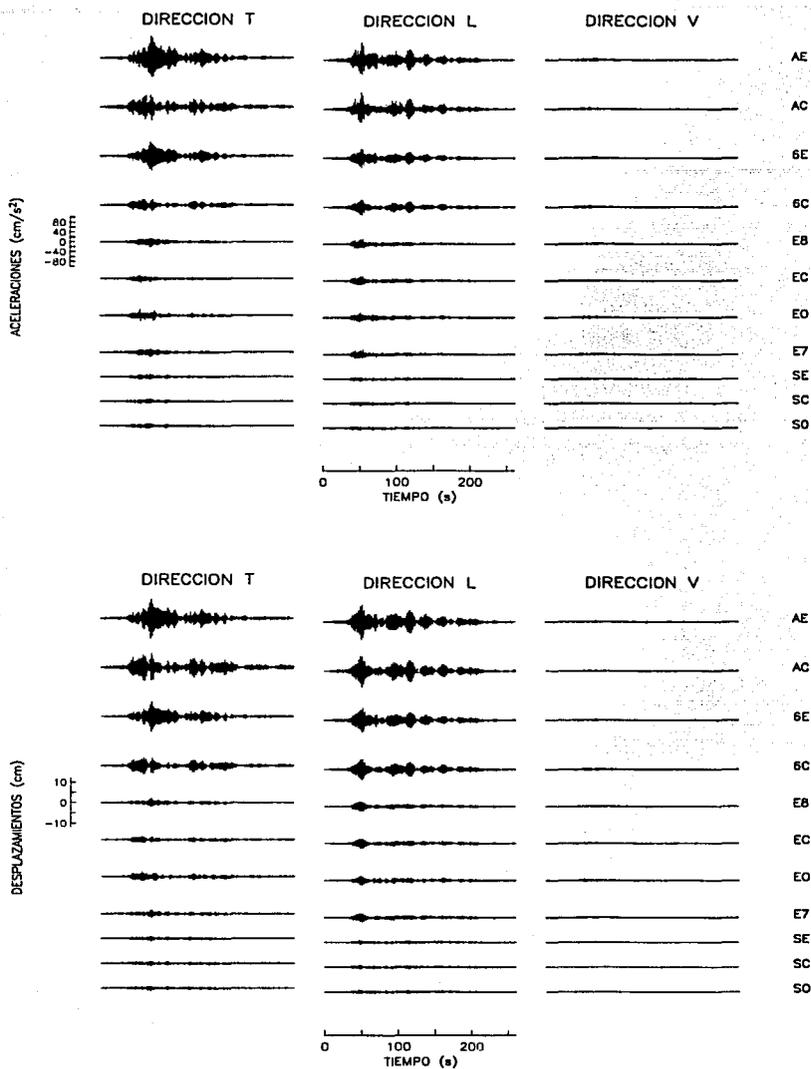


Figura 5.2. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 931024

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

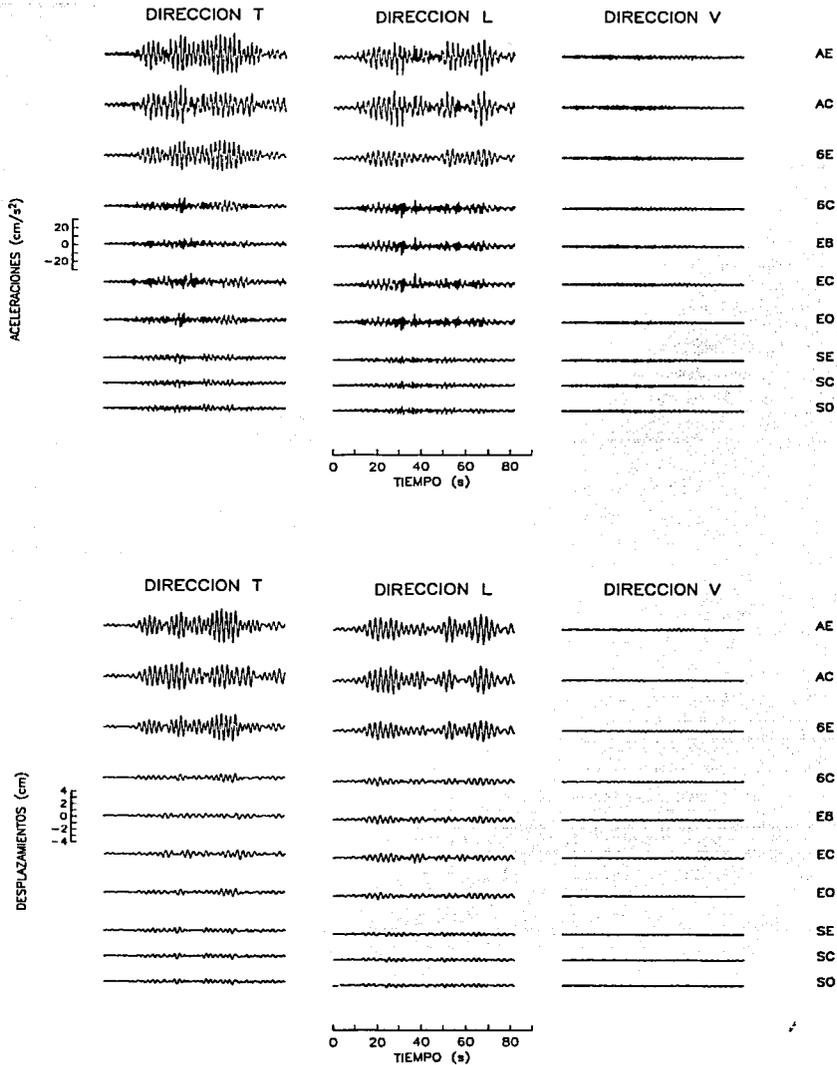


Figura 5.3. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 940523

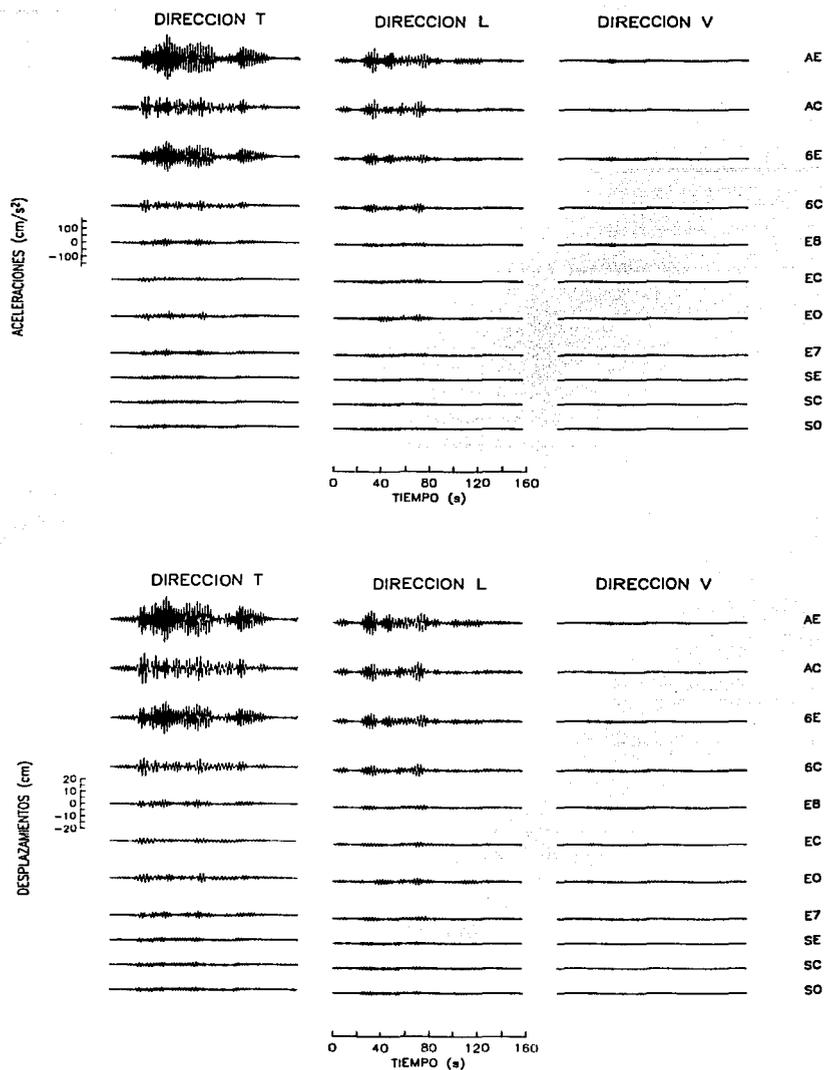


Figura 5.4. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 941210

ESTRUC CON
FALLA DE ORIGEN

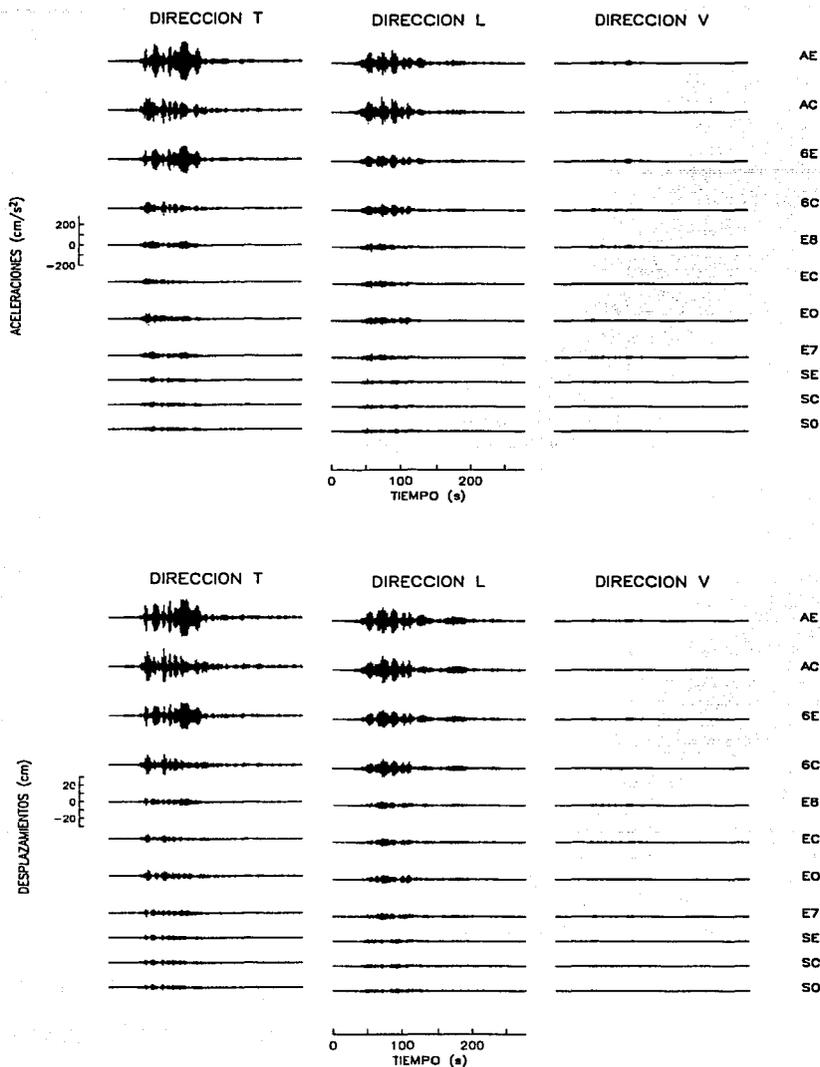


Figura 5.5. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 950914

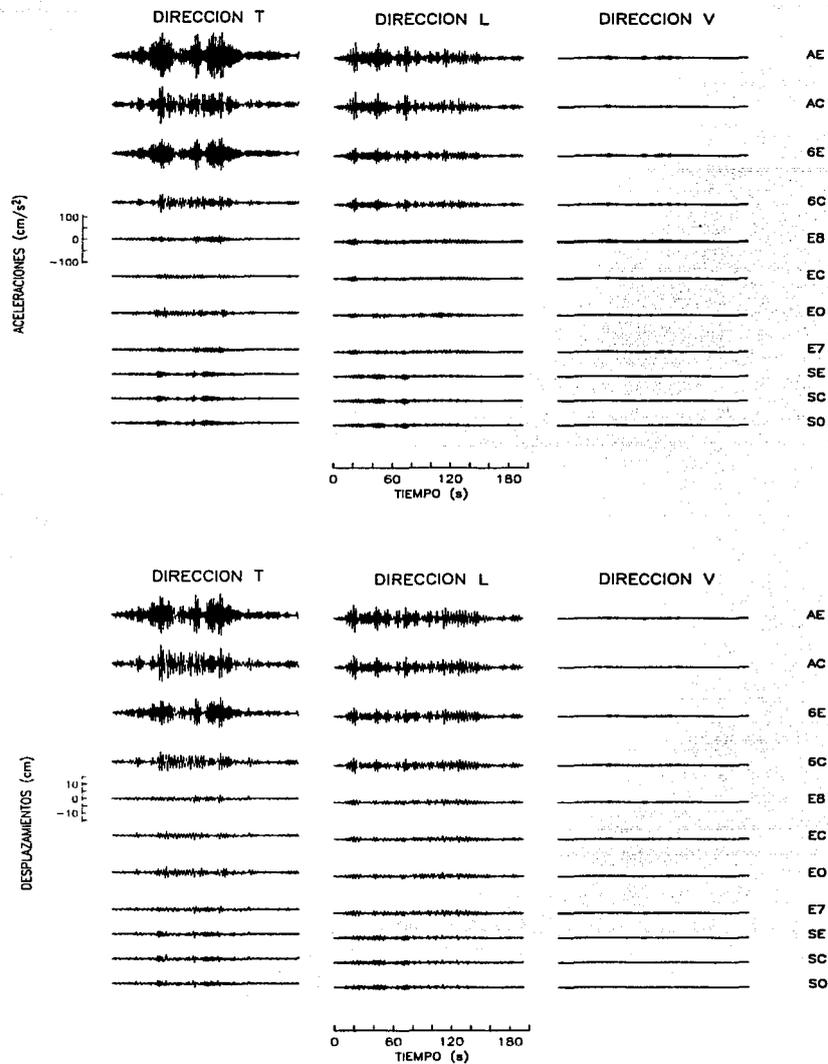


Figura 5.6. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 951009

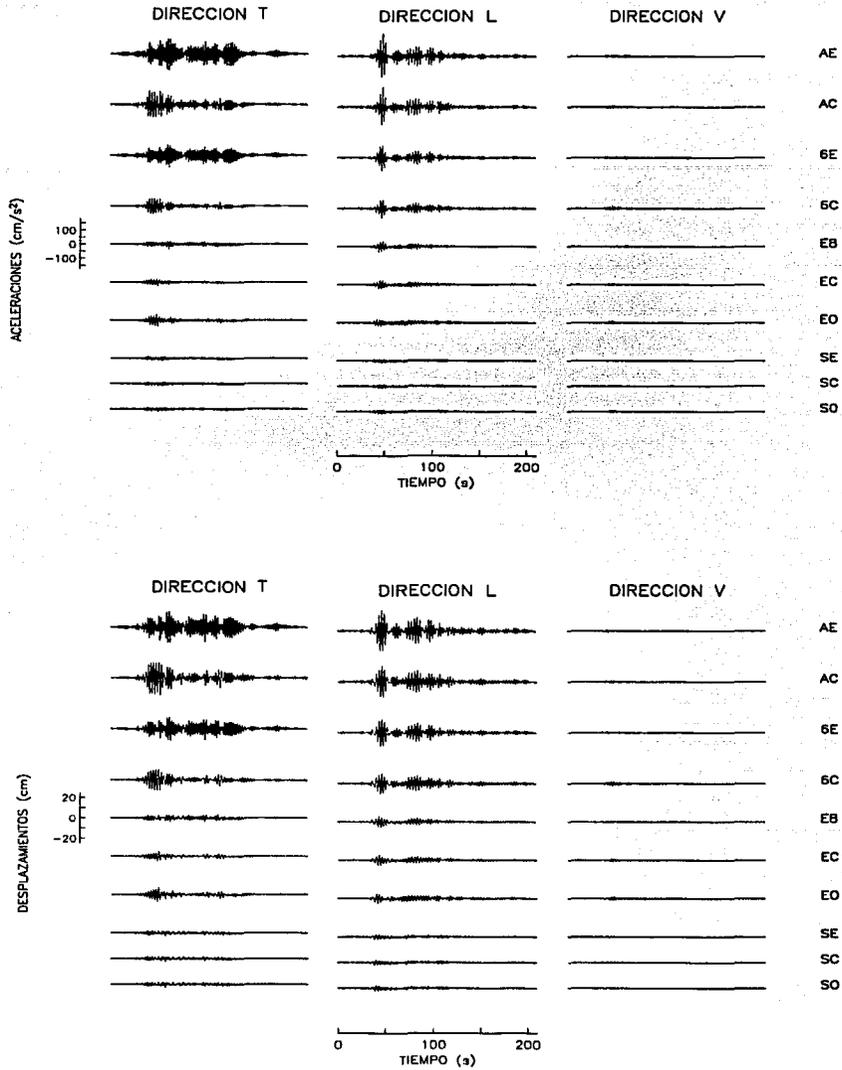


Figura 5.7. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 970111

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

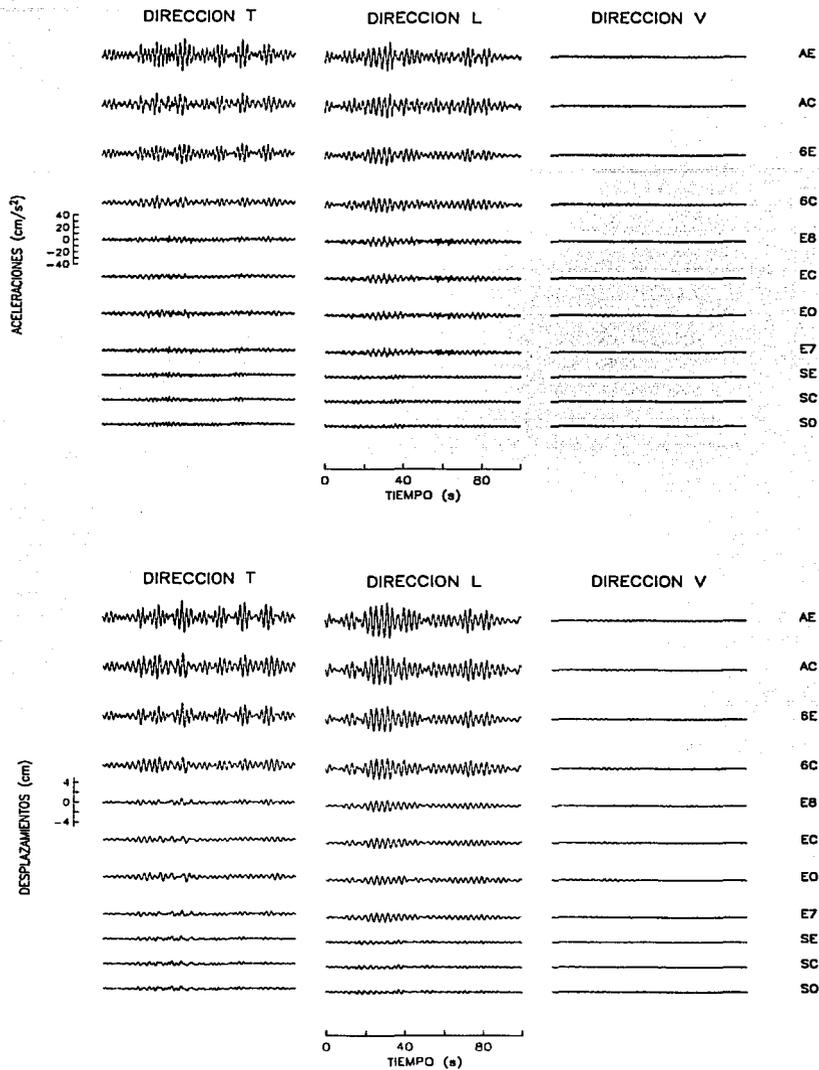


Figura 5.8. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 970522

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

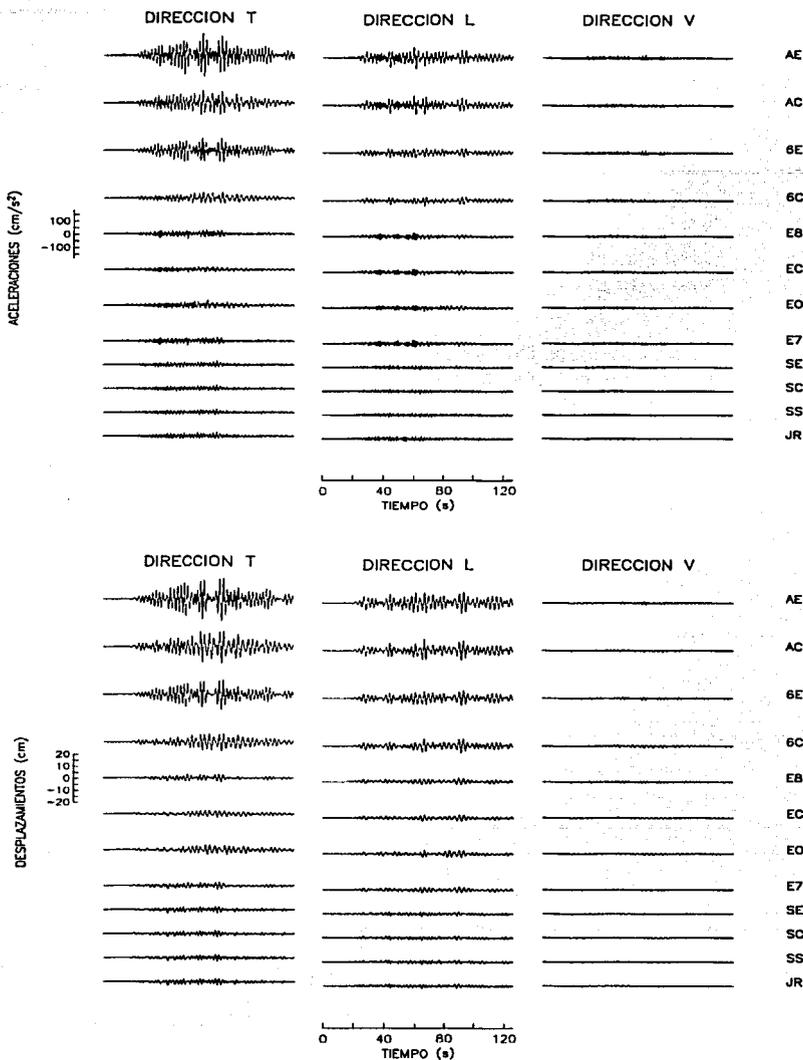


Figura 5.9. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 990615

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

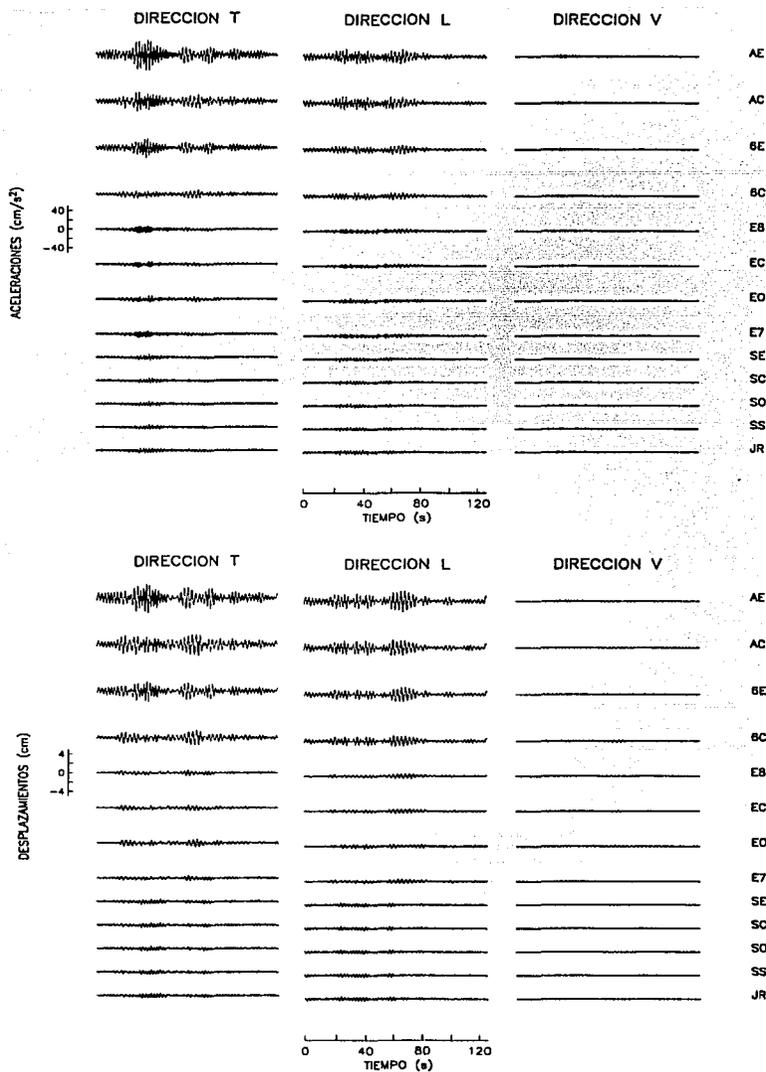


Figura 5.10. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 990621

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

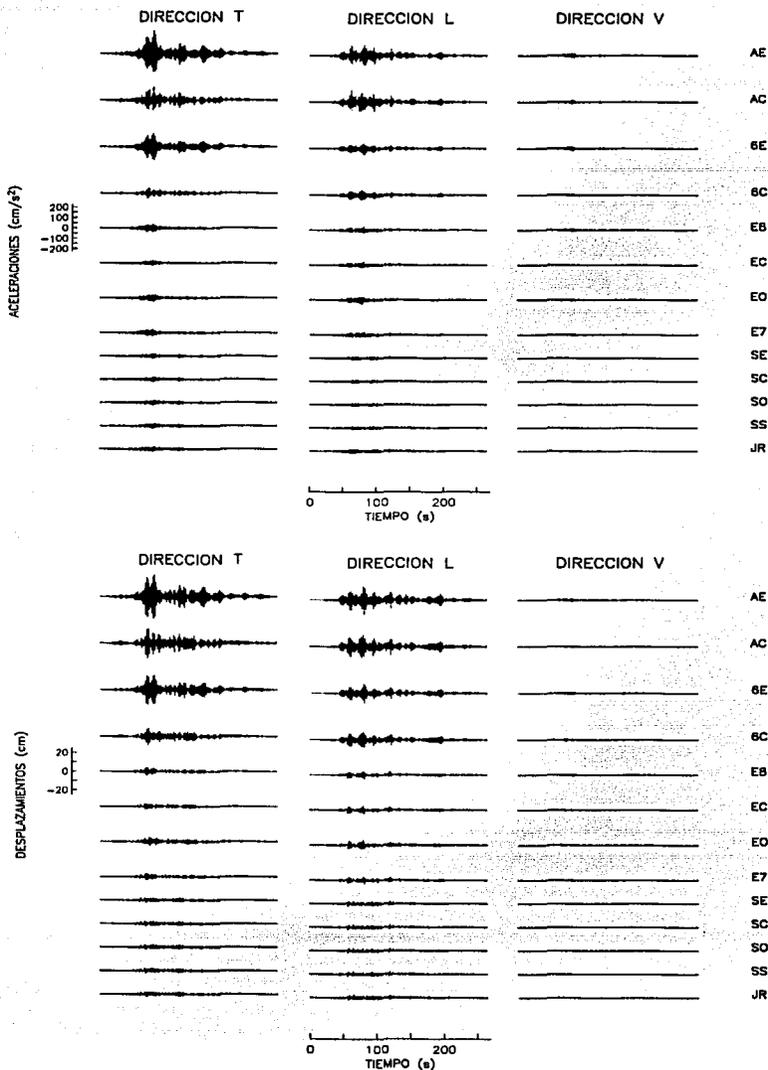


Figura 5.11. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 990930

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

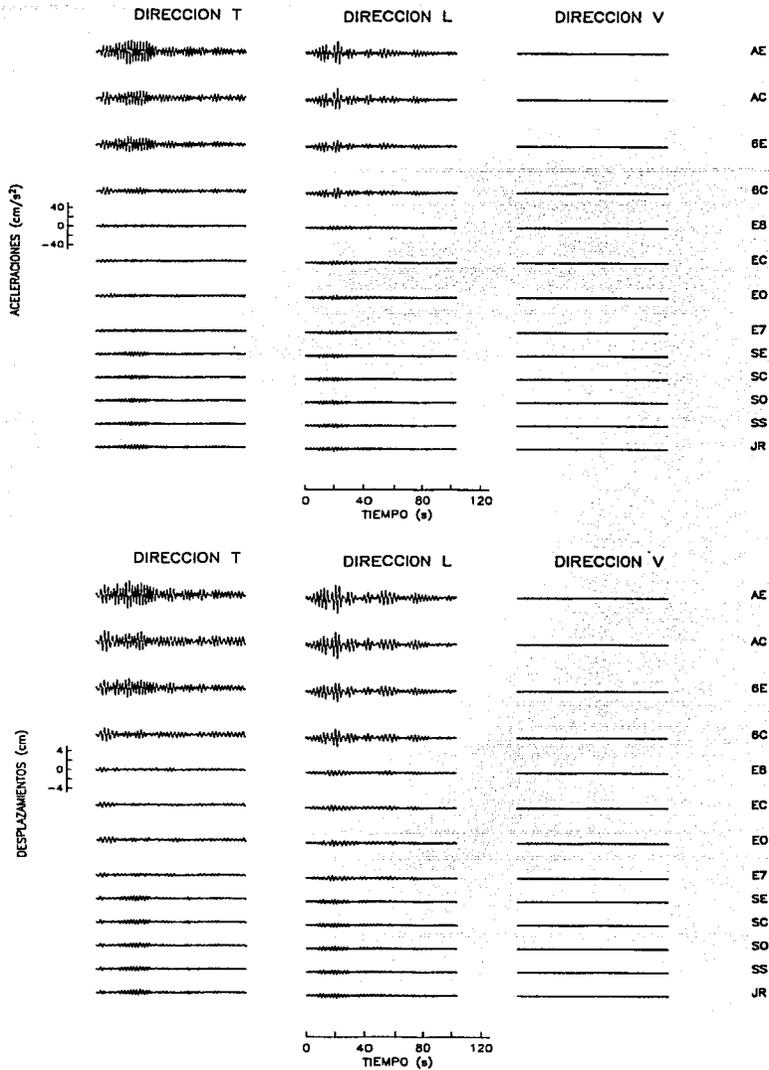


Figura 5.12. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 991229

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

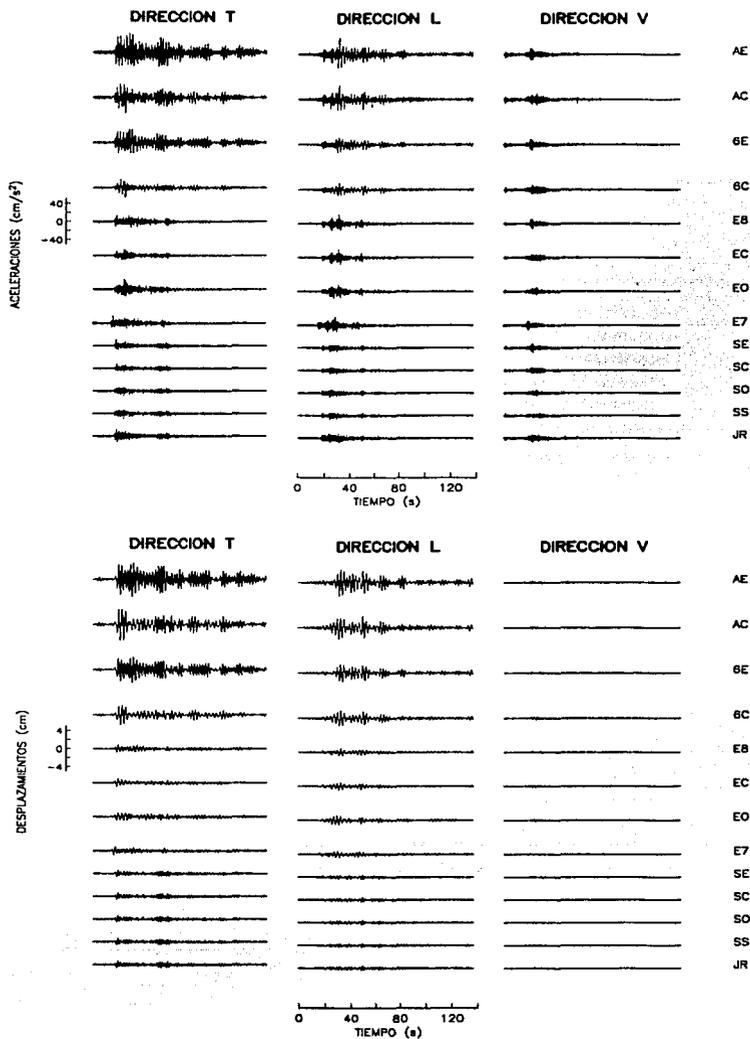


Figura 5.13. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 000721

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

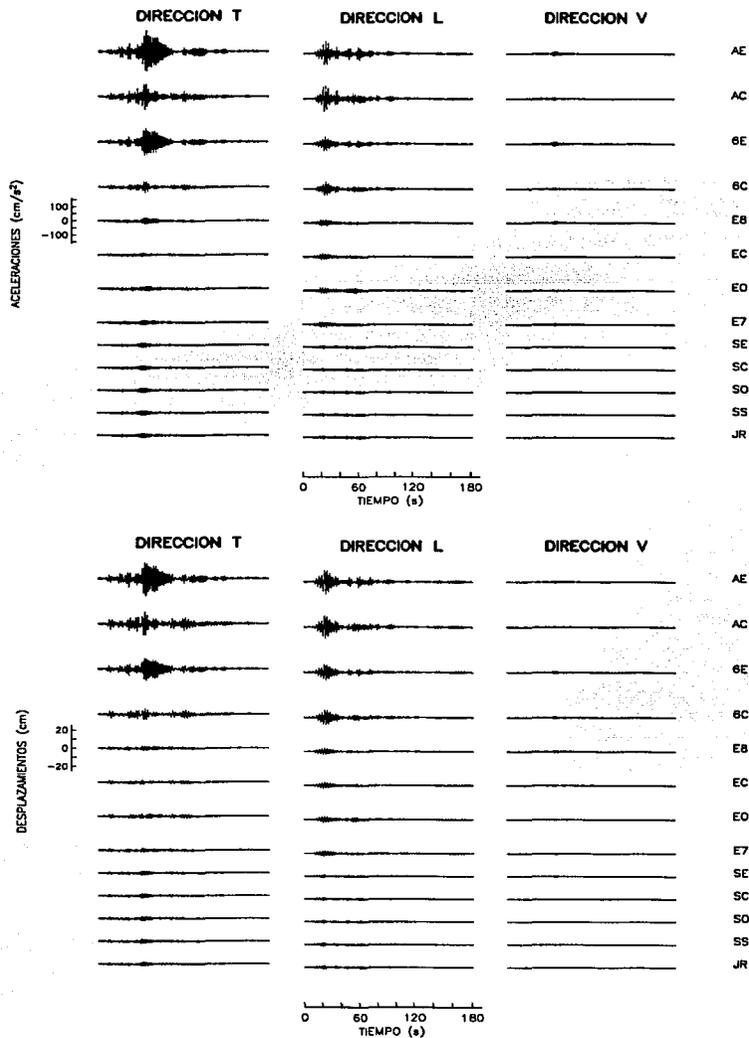


Figura 5.14. Historias de aceleraciones corregidas y desplazamientos del evento 000809

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.1.2 Descomposición de los movimientos sísmicos

Las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos obtenidas en cada punto de medición del edificio, están compuestas de diferentes tipos de movimiento, las cuales se pueden descomponer de la siguiente forma:

$$X_a^i = X_s + X_o + X_c^i + X_e^i + X_{et}^i$$

donde

X_a^i Desplazamiento absoluto de traslación en el i-ésimo nivel

X_s Desplazamiento absoluto de traslación del suelo

X_o Desplazamiento de traslación de la base con respecto al suelo

X_c^i Desplazamiento de traslación en el i-ésimo nivel debido al cabeceo

X_e^i Desplazamiento de traslación de la estructura en el i-ésimo nivel

X_{et}^i Desplazamiento de traslación de la estructura en el i-ésimo nivel debida a torsión.

En la figura 5.15 se muestran esquemáticamente los movimientos de desplazamiento relativos del sistema suelo estructura.

Debido a que sólo en los seis últimos sismos se tienen registros en el terreno y el sótano, se puede determinar la contribución en la respuesta estructural, de los movimientos de cabeceo y traslación de la base debidos a la interacción suelo-estructura (ISE), así como los de flexión y torsión de la estructura. Para llevar acabo esta descomposición se supone que la losa del sótano es infinitamente rígida, y que los diafragmas de entrepiso son infinitamente rígidos en su plano.

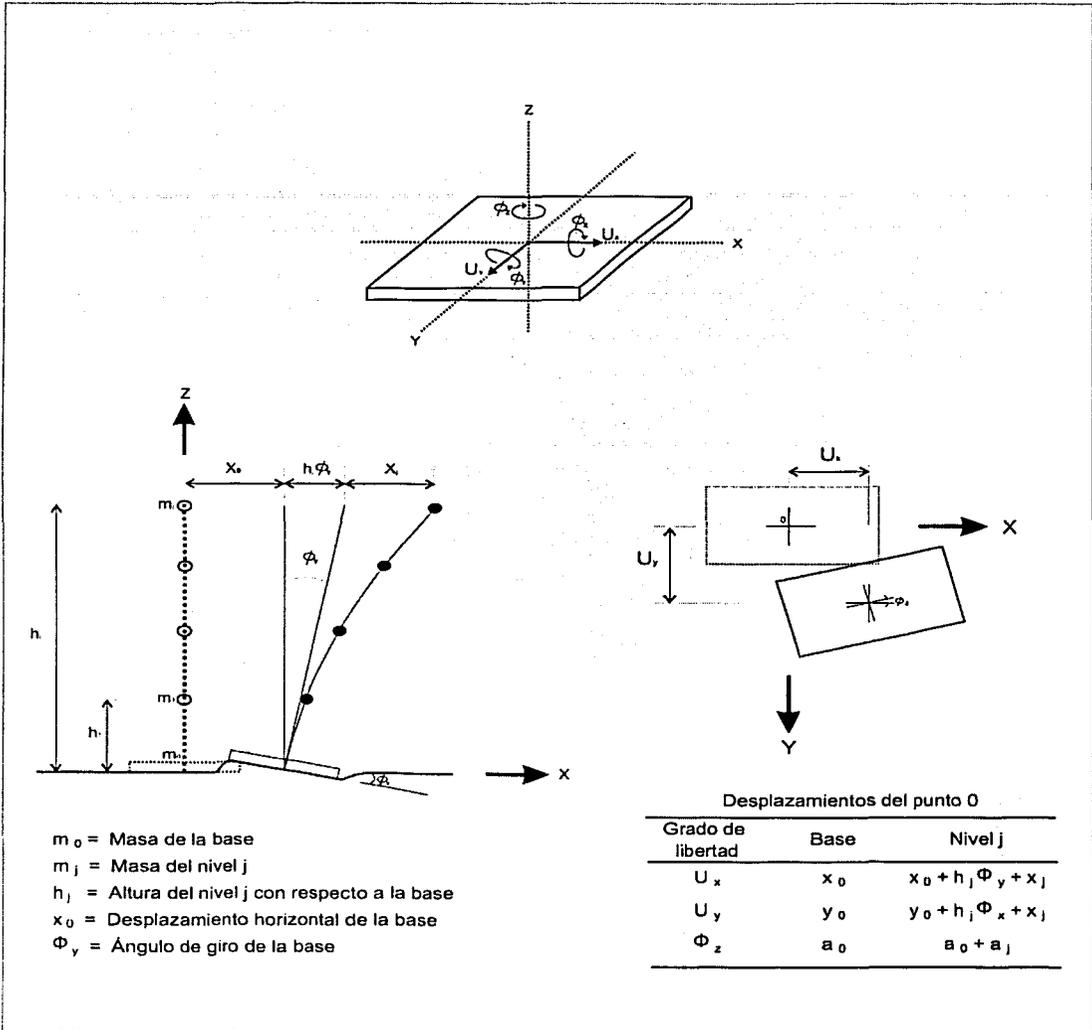
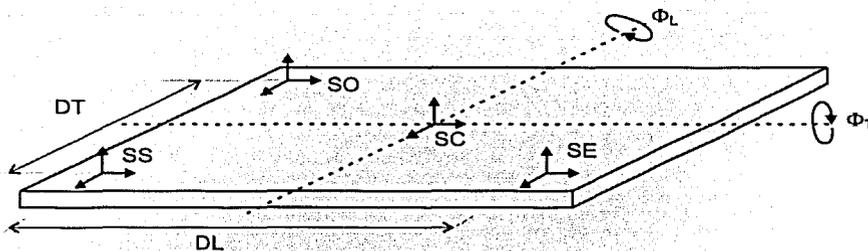


Figura 5.15. Idealización del sistema suelo-estructura

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los movimientos de desplazamientos angulares de la base, se calcularon como el cociente de la diferencia de los registros de los componentes verticales de las esquinas del sótano, entre la distancia que los separa. Para obtener el giro alrededor del eje transversal (Φ_T), se emplearon los movimientos del sótano sur (SS) y sótano oeste (SO), de similar forma para el giro alrededor del eje longitudinal (Φ_L) se usaron los del sótano sur (SS) y sótano este (SE). Así, Φ_T y Φ_L quedaron determinados por las siguientes expresiones:

$$\Phi_T = \frac{X_a^{SS} - X_a^{SO}}{D_T} \quad \Phi_L = \frac{X_a^{SS} - X_a^{SE}}{D_L}$$



Para calcular los desplazamientos por cabeceo se multiplicó el giro de la base (Φ_T o Φ_L) por la altura con respecto a la base (h_i) en el nivel de interés del edificio

$$X_c^i = \Phi_T h_i$$

La amplitud de traslación absoluta del sótano centro (SC), resultó de la suma de su traslación relativa, y de la traslación absoluta del terreno (JR); por lo tanto, la traslación relativa del sótano centro (X_o) se obtuvo de la diferencia de los desplazamientos absolutos de los puntos SC y JR

$$X_o = X_a^{SC} - X_{JR}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para obtener los movimientos relativos del edificio con respecto al terreno se obtuvieron de la diferencia entre las amplitudes de desplazamiento absoluto de los componentes horizontales registrados en el edificio, y los correspondientes de la estación de jardín (JR)

$$X_r^i = X_a^i - X_{JR}$$

Los movimientos relativos de traslación de la estructura por flexión se calcularon con las amplitudes relativas del centro del nivel de interés y se le restaron los movimientos de cabeceo, y traslación relativa de la base

$$X_{ef}^i = X_r^{iC} - X_c^i - X_o$$

Para obtener los movimientos de torsión de cualquier nivel instrumentado de la estructura, se estimaron de las diferencias de las amplitudes de desplazamiento de los componentes T de traslación relativa de la esquina este y del centro

$$X_{et}^i = X_r^{iE} - X_r^{iC}$$

Del procedimiento descrito, las figuras 5.16 a 5.21 presentan las gráficas de aceleración y desplazamiento en las direcciones T y L, de los diferentes movimientos que contribuyen en la respuesta de la estructura en azotea este AE y azotea centro AC, que son: traslación de la estructura por flexión, traslación de la base y cabeceo de la estructura por efecto de ISE, así como la torsión en la azotea. Para el evento del 990615 solo se pudo obtener en dirección transversal, dado que el aparato del sótano oeste no registró. Se puede observar en las gráficas que la contribución por efectos de ISE en el movimiento del edificio es pequeña, así como el cabeceo, en cambio, la flexión y la torsión es lo que tiene mayor participación.

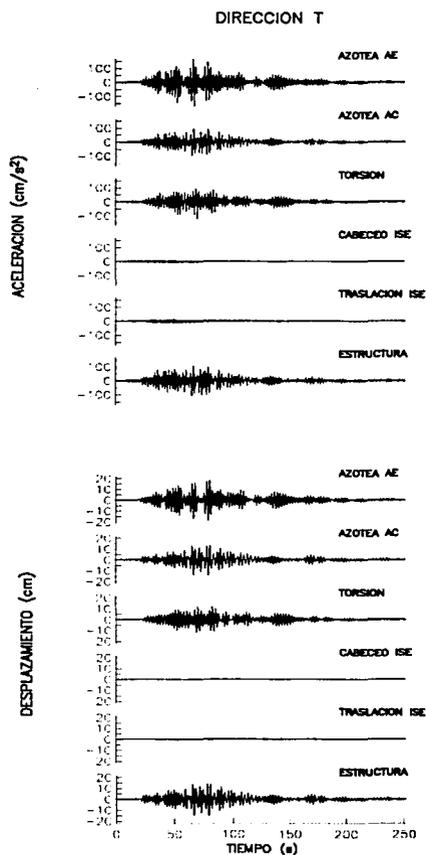


Figura 5.16. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T del evento 990615

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

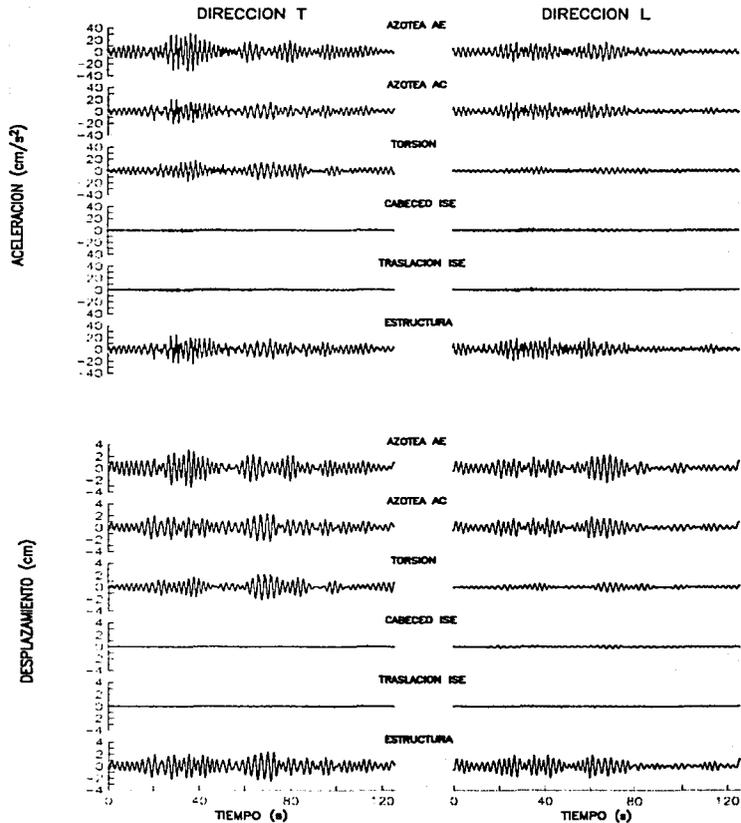


Figura 5.17. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T y L del evento 990621

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

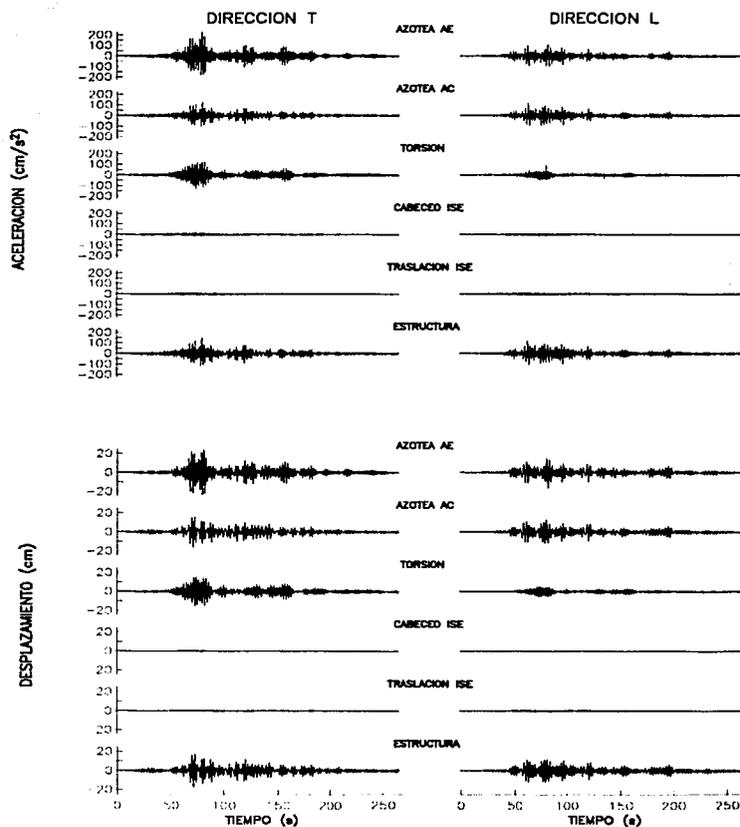


Figura 5.18. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T y L del evento 990930

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

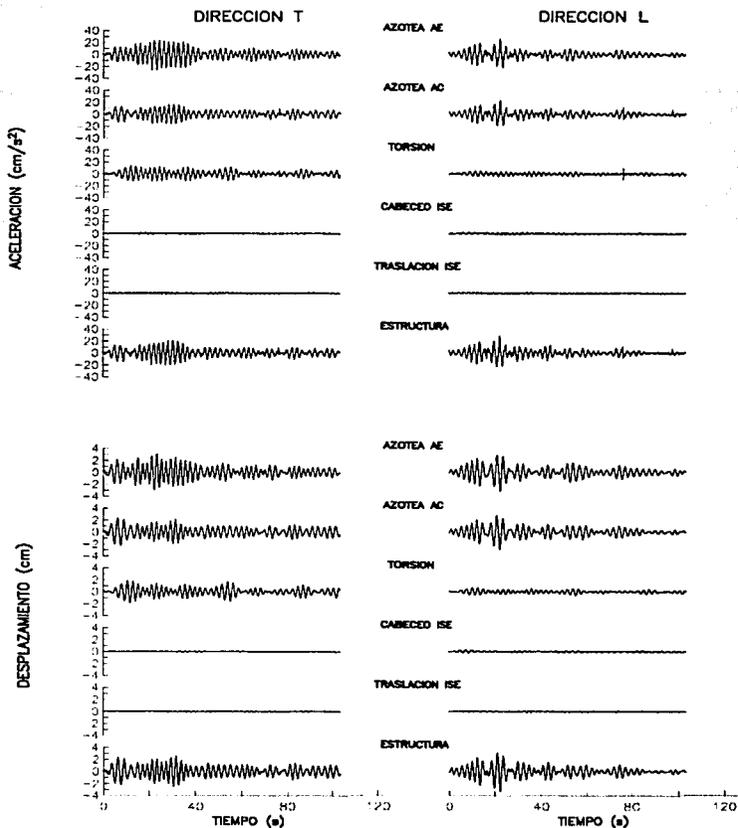


Figura 5.19. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T y L del evento 991229

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

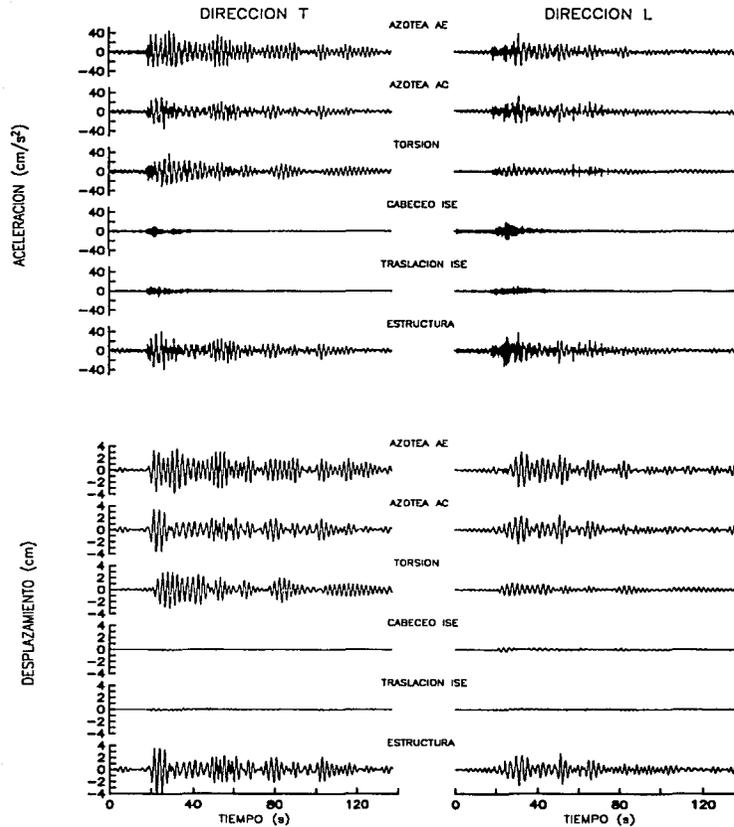


Figura 5.20. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T y L del evento 000721

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

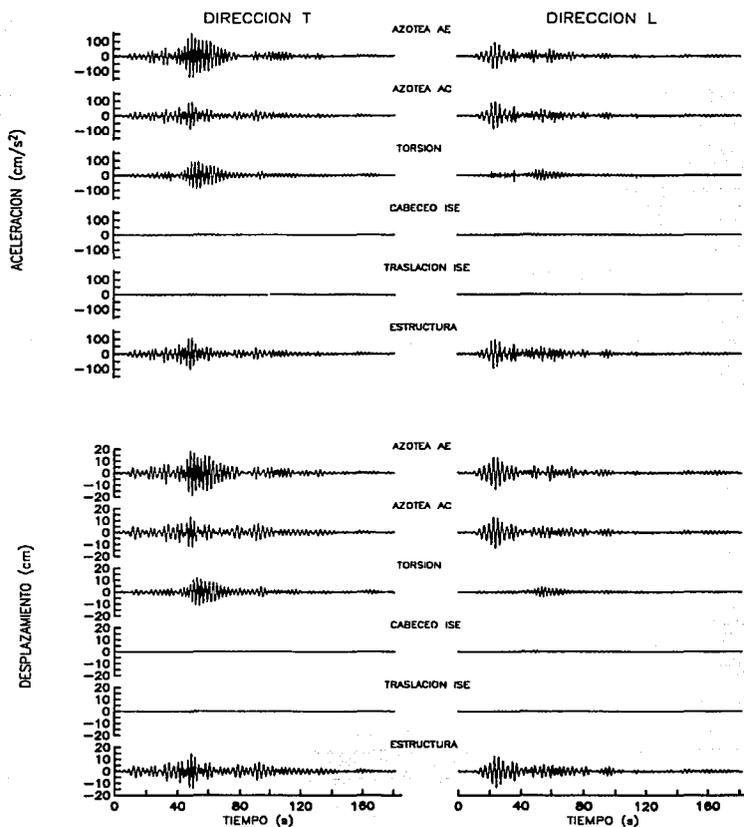


Figura 5.21. Tipos de movimiento que componen la respuesta de aceleración y desplazamiento en la azotea en la dirección T y L del evento 000809

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.1.3 Animaciones y trayectorias del movimiento

Una alternativa para visualizar la respuesta dinámica del edificio en elevación es con el trazo de líneas en una gráfica que una las amplitudes de los registros de los puntos instrumentados en función de la distancia relativa a uno de los puntos, cada línea corresponde a un mismo instante y de esta forma se aprecia la animación de los movimientos ocurridos durante cada evento sísmico. En las figuras 5.22 y 5.23 se recrean los movimientos en elevación (niveles: SC, E8, 6C, AC) de desplazamientos relativos en ventanas de 10 s para el sismo 000809 en la dirección Transversal y Longitudinal, respectivamente. Se puede apreciar que el modo fundamental es el que rige durante todo el movimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

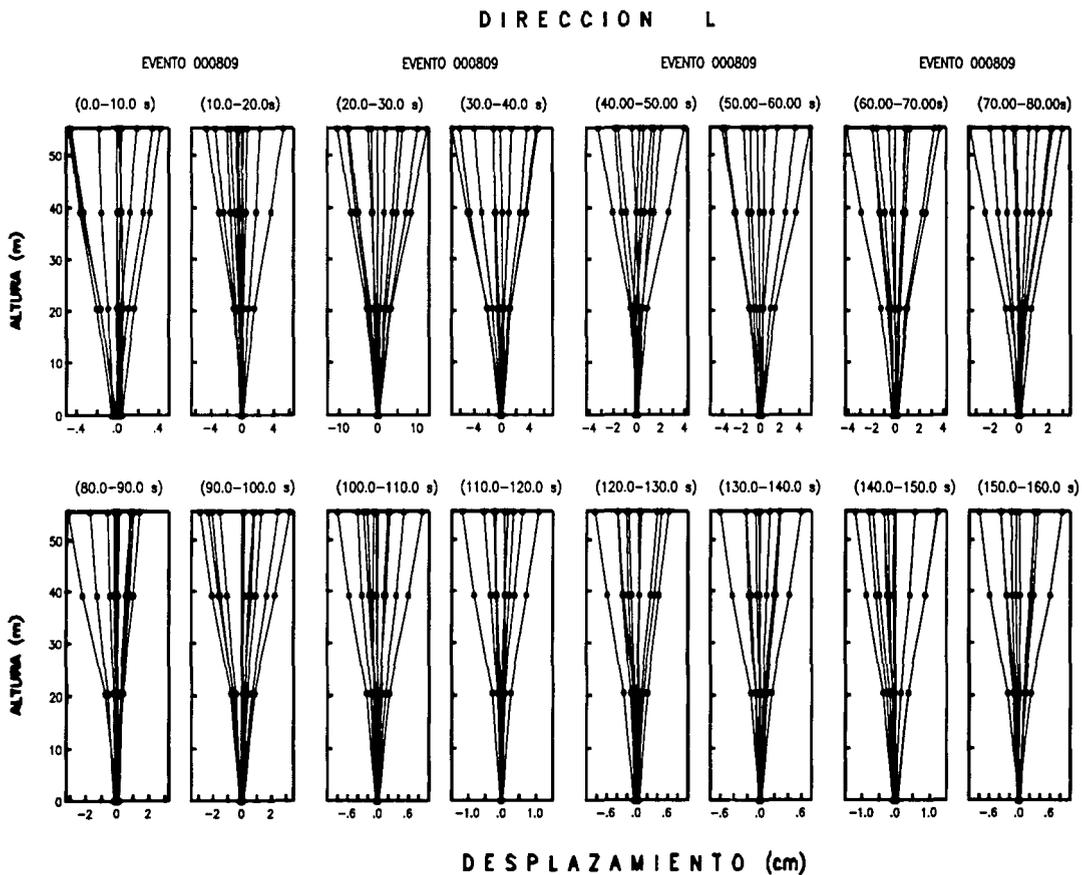


Figura 5.22 Recreación del movimiento , dirección L, evento 000809

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

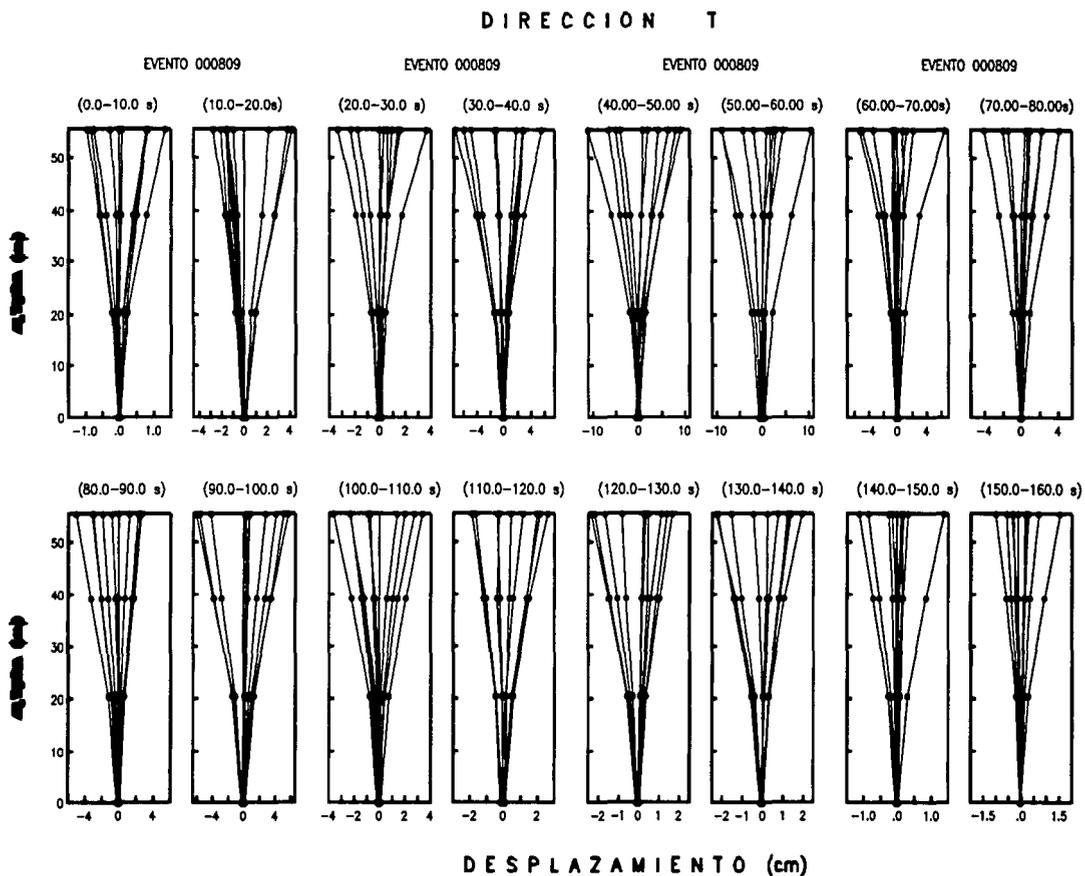


Figura 5.23 Recreación del movimiento , dirección T, evento 000809

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

V.1.4 Distorsiones de entrepiso

La distorsión de entrepiso es el desplazamiento relativo entre dos pisos consecutivos, dividido por la altura entre dichos entrepisos y es el factor que mas se considera en la magnitud de posibles daños estructurales.

Se calcularon de tres maneras:

$$1) \quad DEA = \frac{X^n - X^{n-1}}{h_i}$$

$$2) \quad DEI = \frac{(X^n - JR) - (X^{n-1} - JR)}{h_i}$$

$$3) \quad DE = \frac{X_{ef}^n - X_{ef}^{n-1}}{h_i}$$

Con la primera ecuación se obtuvieron los resultados de las distorsiones de entrepiso absolutas de la estructura, para los 14 sismos analizados, los valores calculados se muestran en las tablas 5.15 y 5.16. El evento que causó la mayor distorsión fue el del 14 de septiembre de 1995, entre la azotea y nivel 6 de oficinas, en el centro de la estructura, con un valor de 0.00578; es de importancia mencionar que dicho calculo fue realizado sin descontar los movimientos de traslación de la base, traslación relativa, cabeceo, torsión y flexión de la estructura, ya que en el año mencionado no se contaba con registro en el terreno.

Con los registros posteriores a 1999, la distorsión de entrepiso se calculó con las ecuaciones: 2, para mostrar la interacción suelo-estructura y 3 para distorsión de la estructura con el fin de

eliminar los movimientos mencionados en el párrafo anterior, dejando únicamente los archivos de flexión del edificio.

En las tablas 5.17 y 5.18 se presentan los valores máximos de distorsión de la estructura y del sistema suelo-estructura. Ninguno de estos valores excede el límite de distorsiones permisibles de acuerdo con las normas de construcción para el Distrito Federal, que en el caso de edificios con muros ligados a la estructura es de 0.006. Sin embargo los eventos 990930 y 000809 presentan, para el entrepiso AC-N6, valores de 0.00470 y 0.00431 en la dirección transversal.

Las figuras 5.24 y 5.25 muestran las gráficas de distorsión, usando los desplazamientos de la estructura en las dos direcciones horizontales T y L, con los aparatos del centro de cada piso.

Los resultados evaluados, posteriores a 1999, muestran diferencias mínimas entre la primera y segunda forma de calcularlos, lo que indica que la interacción suelo-estructura tiene poca influencia en los desplazamientos relativos de la estructura.

DIRECCIÓN T			
EVENTO	DISTORSIONES ABSOLUTAS (%)		
	AC-6C	N6-EC	EC-SC
900531	0.145	0.126	0.064
931024	0.191	0.154	0.071
940523	-	-	0.022
941210	0.313	0.288	0.140
950914	0.548	0.461	0.222
951009	0.375	0.300	0.148
970111	0.408	0.385	0.182
970522	0.070	0.064	0.029
990615	0.418	0.305	0.141
990621	0.064	0.060	0.027
990930	0.470	0.359	0.165
991229	0.067	0.051	0.023
000721	0.098	0.092	0.040
000809	0.431	0.302	0.129

Tabla 5.15. Distorsiones de entrepiso absolutas en dirección T

DIRECCIÓN L			
EVENTO	DISTORSIONES ABSOLUTAS (%)		
	AC-6C	N6-EC	EC-SC
900531	0.083	0.086	0.059
931024	0.166	0.167	0.107
940523	-	-	0.031
941210	0.185	0.179	0.112
950914	0.363	0.357	0.220
951009	0.190	0.198	0.114
970111	0.348	0.339	0.212
970522	0.058	0.065	0.041
990615	0.202	0.198	0.129
990621	0.039	0.046	0.027
990930	0.257	0.256	0.170
991229	0.069	0.079	0.040
000721	0.069	0.064	0.036
000809	0.270	0.284	0.162

Tabla 5.16. Distorsiones de entrepiso absolutas en dirección L

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DIRECCION T						
EVENTO	ESTRUCTURA			SISTEMA SUELO-ESTRUCTURA		
	AC-N6	N6-E8	E8-SC	AC-N6	N6-E8	E8-SC
990615	-	-	-	0.418	0.305	0.141
990621	0.061	0.056	0.022	0.064	0.060	0.027
990930	0.456	0.332	0.139	0.470	0.359	0.165
991229	0.064	0.048	0.019	0.067	0.051	0.023
000721	0.091	0.087	0.035	0.098	0.092	0.040
000809	0.415	0.285	0.113	0.431	0.302	0.129

Tabla 5.17. Distorsiones de entrepiso de la estructura y el sistema suelo-estructura en dirección T

DIRECCION L						
EVENTO	ESTRUCTURA			SISTEMA SUELO-ESTRUCTURA		
	AC-N6	N6-E8	E8-SC	AC-N6	N6-E8	E8-SC
990615	0.196	0.191	0.122	0.202	0.198	0.129
990621	0.038	0.045	0.026	0.039	0.046	0.027
990930	0.251	0.251	0.163	0.257	0.256	0.170
991229	0.068	0.078	0.038	0.069	0.079	0.040
000721	0.068	0.064	0.035	0.069	0.064	0.036
000809	0.265	0.280	0.166	0.270	0.284	0.162

Tabla 5.18. Distorsiones de entrepiso de la estructura y el sistema suelo-estructura en dirección L

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

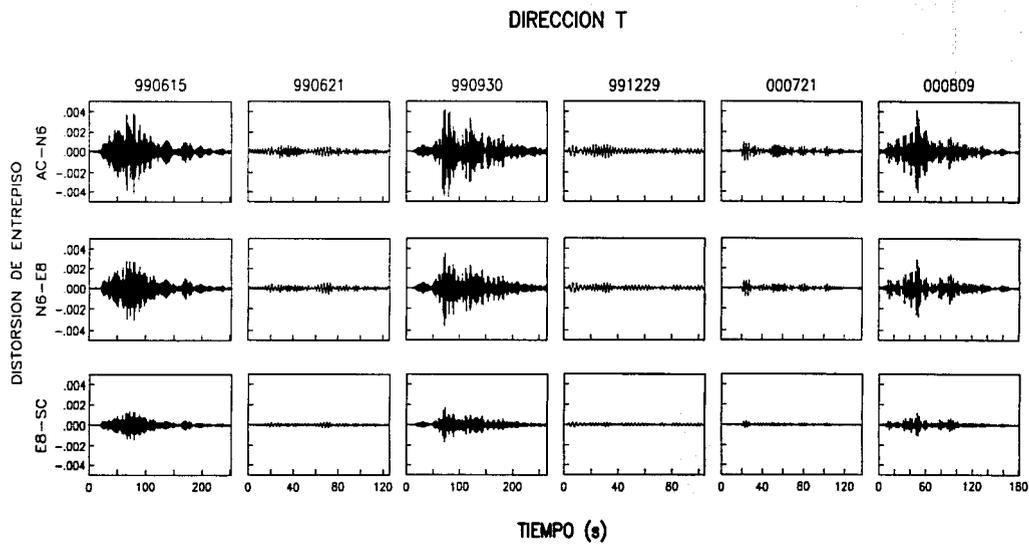


Figura 5.24 Historias de distorsiones de entrepiso en dirección T

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

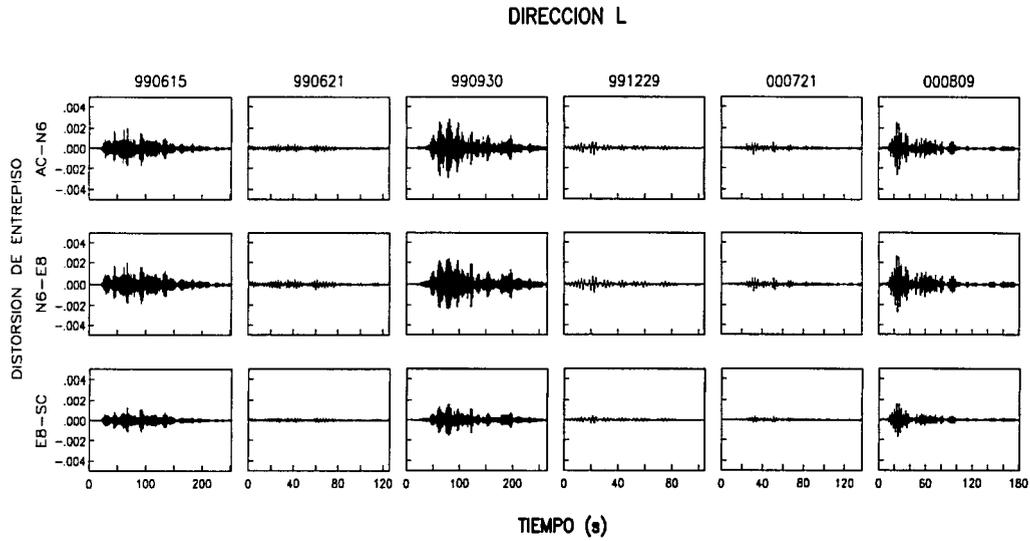


Figura 5.25 Historias de distorsiones de entepiso en dirección L

V.1.5 Acortamientos y alargamientos de entrepiso

Una columna cargada sufre variación en su longitud: se alarga si se encuentra sometida a tensión y se acorta si esta a compresión, esta variación será unitaria si se divide entre la altura de la columna.

Los acortamientos y alargamientos de entrepiso se calcularon con la restas de las historias de desplazamientos absolutos verticales divididas entre la altura de los niveles instrumentados considerados. En las tablas 5.19 y 5.20 se presentan los acortamientos y alargamientos máximos de dos ejes verticales del edificio: uno en la esquina SE entre los puntos AE-6E, 6E-E8 y E8-SE y otro en el centro AC-6C, 6C-EC y EC-SC.

Las mayores deformaciones fueron provocadas por los sismos 950914 y 990930 entre los niveles 8 de estacionamiento y el sótano sobre el eje instrumentado SE. Con alargamientos de 1.086 cm y 1.088 cm, y acortamientos de 0.765 cm y 0.763 cm respectivamente, esto se traduce a deformaciones unitarias del orden de 0.000529 (alargamiento) y 0.000372 (acortamiento). En todos los sismos el mayor alargamiento y acortamiento se dio sobre el eje sur-este entre el nivel 8 de estacionamiento y el sótano.

Sobre el eje del centro del edificio los mayores alargamientos fueron para los eventos 950914 y 970111 de 0.92 cm y 0.97 cm respectivamente, situados entre el nivel 6 de oficinas y el nivel 8 de estacionamiento con deformaciones unitarias del orden de 0.0005. El máximo acortamiento se presento en el evento 970111 con un valor de 0.89 cm traducido a deformación unitaria de 0.00055, presentada entre el nivel azotea y el nivel 6 de oficinas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EVENTO	Centro			Esquina Este		
	AC-6C	6C-EC	EC-SC	AE-6E	6E-E8	E8-SE
900531	0.16	0.21	0.20	0.28	0.21	0.17
930515	0.69	0.70	0.18	0.20	0.12	0.27
931024	0.33	0.29	0.27	0.13	0.28	0.33
940523	----	----	0.08	0.06	0.07	0.09
941210	0.47	0.58	0.49	0.17	0.30	0.83
950914	0.67	0.92	0.71	0.24	0.48	1.09
951009	0.32	0.59	0.40	0.12	0.24	0.56
970111	0.86	0.97	0.88	0.27	0.56	0.66
970522	0.11	0.10	0.11	0.05	0.11	0.09
990615	0.38	0.73	0.55	0.19	0.47	0.75
990621	0.10	0.10	0.09	0.03	0.05	0.09
990930	0.43	0.72	0.57	0.26	0.55	1.09
991229	0.08	0.09	0.07	0.03	0.07	0.10
000721	0.13	0.13	0.09	0.06	0.07	0.11
000809	0.25	0.48	0.31	0.11	0.29	0.55

Tabla 4.16. Alargamientos máximos de entrepiso de la esquina este y centro, en cm.

EVENTO	Centro			Esquina Este		
	AC-6C	6C-EC	EC-SC	AE-6E	6E-E8	E8-SE
900531	0.17	0.15	0.19	0.23	0.19	0.17
930515	0.66	0.68	0.18	0.16	0.12	0.22
931024	0.29	0.24	0.26	0.11	0.26	0.27
940523	----	----	0.08	0.06	0.07	0.10
941210	0.53	0.44	0.42	0.16	0.26	0.57
950914	0.66	0.70	0.57	0.25	0.44	0.77
951009	0.32	0.41	0.36	0.12	0.23	0.42
970111	0.89	0.63	0.69	0.26	0.53	0.45
970522	0.11	0.11	0.11	0.04	0.10	0.10
990615	0.45	0.45	0.40	0.19	0.35	0.56
990621	0.11	0.08	0.08	0.03	0.06	0.08
990930	0.50	0.52	0.42	0.20	0.50	0.76
991229	0.08	0.08	0.07	0.04	0.07	0.09
000721	0.11	0.19	0.11	0.04	0.09	0.12
000809	0.24	0.65	0.37	0.13	0.32	0.76

Tabla 4.17. Acortamientos máximos de entrepiso de la esquina este y centro, en cm.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.2 Análisis en el dominio de la frecuencia

V.2.1 Metodología

El procesamiento de la información para el dominio de la frecuencia se realizó mediante un análisis espectral convencional (*Murià y Rodríguez, 1999*),

Para tener información en el dominio de la frecuencia, a cada registro de aceleración absoluta corregida $\ddot{X}(t)$, se le aplicó la transformada rápida de Fourier de acuerdo con:

$$\ddot{X}(f) = F[\ddot{x}(t)] = \int_0^T \ddot{x}(t) e^{-if} dt \quad (1)$$

Esta ecuación se puede escribir

$$\ddot{X}(f) = \int_0^T \ddot{x}(t) \cos ftdt - i \int_0^T \ddot{x}(t) \sin ftdt \quad (2)$$

Es decir, la amplitud de Fourier $\left[\ddot{X}(f) \right]$ está compuesta por una parte real y una parte imaginaria

$$\ddot{X}(f) = \ddot{R}(f) - i \ddot{I}(f) \quad (3)$$

Las ordenadas espectrales se suavizaron con promedios cuadráticos móviles a cada veintavo de octava, para disminuir los efectos causados por ruido instrumental y el cálculo numérico.

Los auto-espectros de potencia de las señales se calcularon de acuerdo con

$$S_x(f) = \ddot{X}^*(f) \ddot{X}(f) \quad (4)$$

Donde $\ddot{X}^*(f)$ es el espectro conjugado de Fourier.

Como el espectro de amplitud es una función de simetría, implica que

$$X(-f) = X^*(f)$$

y

$$S_{xy}^*(f) = S_{xy}(-f) \quad (5)$$

Dada esta propiedad, es conveniente definir los espectros de potencia de la forma siguiente

$$G_{xx}(f) = \begin{cases} 2S_{xx}(f), & f > 0 \\ S_{xx}(f), & f = 0 \\ 0, & f < 0 \end{cases} \quad (6)$$

donde

$$S_{xx}(f) = \ddot{X}^*(f)\ddot{Y}(f)$$

También se calcularon los espectros cruzados de potencia para definir posteriormente la coherencia

$$G_{xy}(f) = \begin{cases} 2S_{xy}(f), & f > 0 \\ S_{xy}(f), & f = 0 \\ 0, & f < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Donde $\ddot{X}(f)$ y $\ddot{Y}(f)$ son funciones de simetría de dos señales diferentes. La determinación de las propiedades dinámicas de un sistema requiere de la obtención de la información en el dominio de la frecuencia propia de dicho sistema. Para lograr esto se estimaron las funciones de transferencia en amplitud (cocientes espectrales) y ángulos de fase, así como las funciones de coherencia entre dos señales.

Las funciones de transferencia se obtuvieron de la siguiente forma:

Con el cociente de los auto-espectros o de los espectros de Fourier de dos señales, empleando la ecuación (6).

$$FT = \left(\frac{G_{xx}(f)}{G_{yy}(f)} \right)^{1/2} \quad (8)$$

La determinación de la correlación de cada componente frecuencial de dos señales es recurriendo a la relación que hay entre las funciones del espectro cruzado y los auto-espectros de cada señal, empleando las ecuaciones (6) y (7).

$$|G_{xy}(f)|^2 \leq G_{xx}(f)G_{yy}(f) \quad (9)$$

y a partir de esta se define la función de coherencia

$$C^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (10)$$

donde

$$0 \leq C^2(f) \leq 1$$

Los valores de la coherencia varían de cero a uno. Cuando el valor de la coherencia es igual a uno significa que hay una relación lineal completa entre las dos señales, si es igual a cero dicha relación es nula.

La función de coherencia de cada par de señales analizadas se evaluó dividiendo las señales en segmentos de 1024 puntos.

El ángulo de fase ayudará a completar la correlación entre dos señales, éste se obtuvo con base en el cociente de la parte real y la parte imaginaria de la función del espectro cruzado de potencia:

$$G_{xy}(f) = A_{xy}(f) + iB_{xy}(f)$$

$$\theta_{xy}(f) = \tan^{-1} \frac{B_{xy}(f)}{A_{xy}(f)} \quad (11)$$

donde

$$-180^\circ \leq \theta_{xy} \leq 180^\circ$$

V.2.2 Respuesta sísmica de las estaciones de campo y sótano

La interacción dinámica suelo-estructura consiste en un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo como resultado de la flexibilidad de éste ante sollicitaciones dinámicas. La interacción modifica esencialmente los parámetros dinámicos de la estructura así como las características del movimiento del terreno en la vecindad de la cimentación.

La figura 5.26 presenta los espectros de Fourier y las funciones de transferencia de los equipos de sótano centro (SC) y jardín (JR), para los sismos posteriores a la implementación de este último. La energía de los movimientos sísmicos abarca esencialmente un intervalo de frecuencias entre 0.3 y 0.5 Hz.

La comparación entre estos registros se realizó en base a un cociente espectral (función de transferencia) SC/JR, en el cual se observa que la relación es cercana a la unidad, lo que comprueba que la influencia de los efectos de interacción suelo-estructura es muy baja.

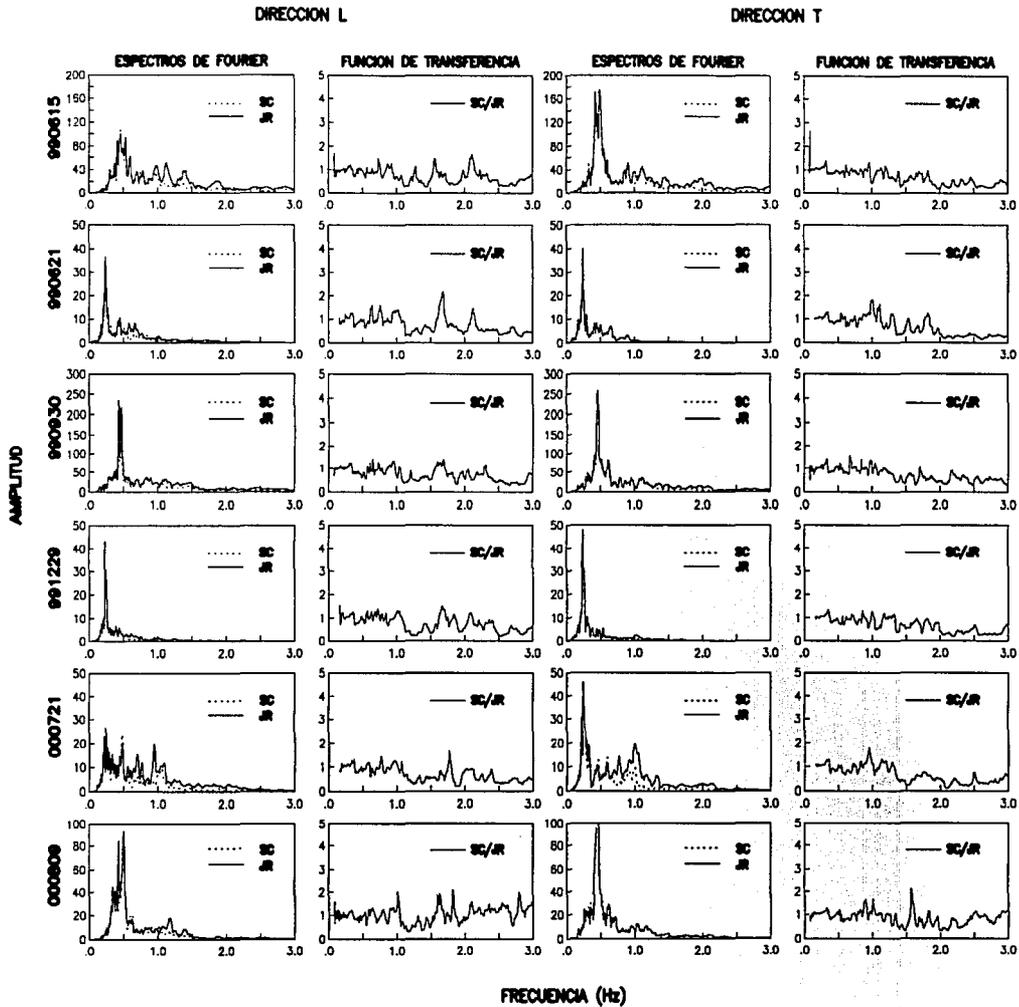


Figura 5.26 Espectro de Fourier y Función de transferencia entre los puntos SC y JR, dirección T y L

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

V.2.3 Propiedades dinámicas del sistema en los componentes horizontales

V.2.3.1 Estimación de las frecuencias de la estructura con base en las funciones de transferencia

Mediante la metodología presentada se obtuvieron los Espectros de Fourier, en base a los cuales se desarrolló el análisis frecuencial para encontrar los tres primeros modos de vibración de la estructura en las componentes horizontales y de torsión.

Se tomaron como referencia los puntos instrumentados en la azotea centro (AC) y azotea este (AE). El punto AC sirvió de referencia para identificar frecuencias y modos de traslación en T y L, según el componente que se trate, y el punto AE, para identificar las frecuencias y modos en torsión.

Para identificar las frecuencias y modos de vibrar de la estructura se efectuaron cocientes espectrales (funciones de transferencia) entre los puntos AC/6C, AC/EC, AC/SC, 6C/EC, 6C/SC y E C/SC, tanto en dirección transversal como longitudinal (Figuras 5.27 y 5.28), y AE/AC, 6E/6C, E8/EC, SE/SC, para determinar los modos en torsión (Figura 5.29). De dichos cocientes se seleccionaron las frecuencias asociadas a las ordenadas máximas, con las cuales se determinaron las formas modales del edificio.

Se presenta un ejemplo, correspondiente al sismo del 9 de Agosto de 2000, de la forma en que fueron obtenidas las formas modales del inmueble.

V.2.3.2 Frecuencias naturales y modos de vibrar

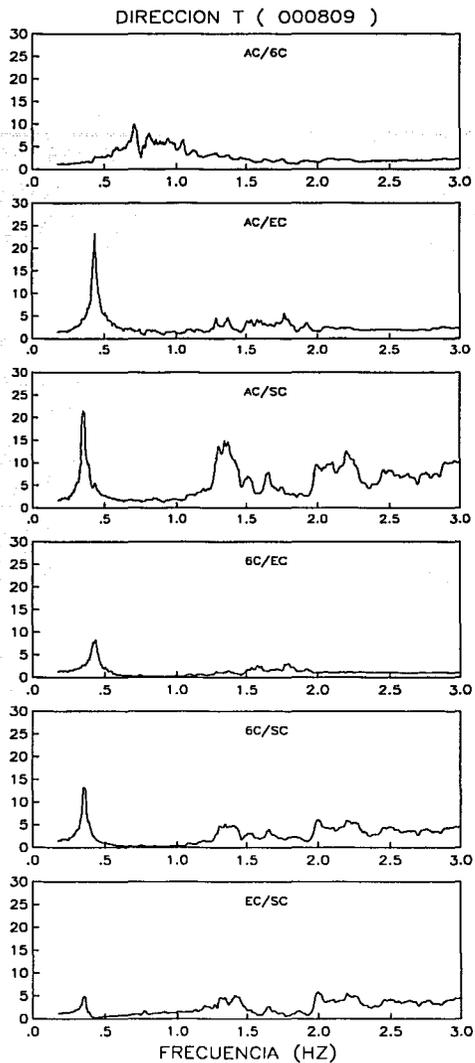
Observando, para el análisis en flexión, el cociente AC/SC, se encuentra la frecuencia natural o primer modo del edificio, ya que esta corresponde generalmente a la ordenada máxima obtenida; de la misma forma, los modos superiores corresponden a las ordenadas siguientes. Los cocientes restantes (mencionados arriba), se utilizan con la finalidad de tener mayor número de frecuencias en caso de que la relación entre la azotea centro y sótano centro, no determine con claridad la ubicación de los modos. En el ejemplo que se presenta, el valor

frecuencial asociado al pico máximo del cociente representa, el primero modo de la estructura (0.336 Hz y 0.342 Hz, para L y T respectivamente). Se obtuvieron de las funciones de transferencia en dirección T (Figura 5.27), las frecuencias (asociadas a ordenadas máximas) de primer, segundo y tercer modo: 0.342, 0.421, 0.427, 1.288, 1.306, 1.343, 1.349, 1.416, 1.990, 1.996, 2.002, 2.106, 2.203 y 2.209 Hz. Posteriormente se graficaron las formas modales correspondientes a dichas frecuencias (Figura 5.30).

Mediante el mismo procedimiento se obtuvieron las frecuencias en la dirección longitudinal del edificio, tomando los valores (de las funciones de transferencia mostradas en la Fig.5.28) 0.336, 0.409, 0.439, 1.056, 1.117, 1.147, 1.215, 1.703, 1.709, 1.782, 1.788, 1.910, 1.959 Hz, graficados en la Figura 5.31.

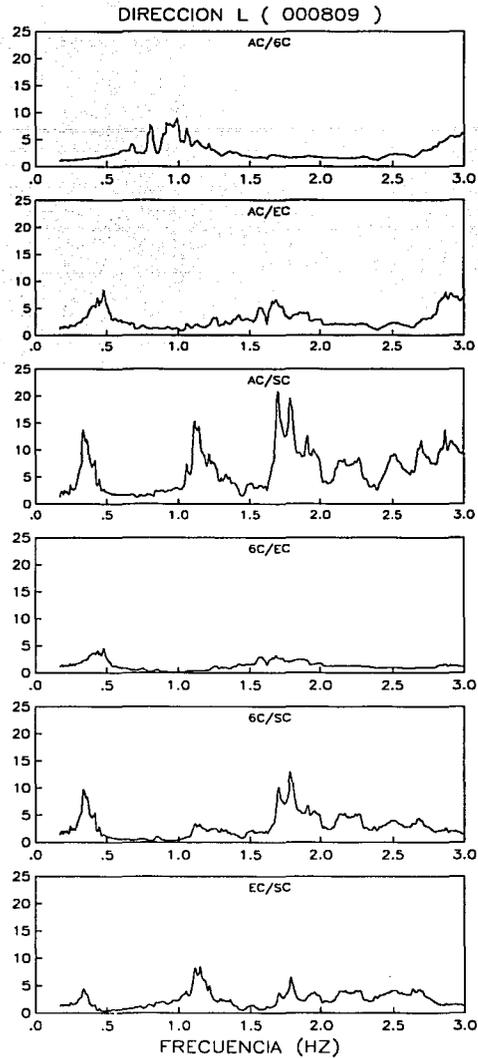
El análisis en torsión se realizó tomando como base el equipo localizado en la azotea este (AE), y sobre todo, el cociente espectral AE/AC, Figura 5.29. Se tomaron como apoyo las funciones de transferencia del: nivel 6 de oficinas (6E/6C), nivel 8 de estacionamiento (E8/EC) y sótano (SE/SC). La relación en la azotea sería de mayor utilidad si se tuviera un equipo en la esquina contraria, lo cual facilitaría la identificación de los modos en torsión.

La dificultad para elegir las frecuencias asociadas a los modos torsionantes, ocurre, a la vez que no se tiene una gráfica clara, porque se mezclan las frecuencias de primero, segundo y tercer modos de flexión (T y L), aunque los modos en torsión generalmente son asociados a frecuencias mayores, en cada uno de ellos que los de flexión. Así, se obtuvieron las frecuencias: 0.494, 0.497, 0.516, 0.525, 0.562, 0.589, 1.462, 1.471, 1.535, 1.630, 2.460, 2.576, 2.612, 2.780 Hz, las cuales al graficarse (Figura 5.32), muestran los tres primeros modos de vibración de la estructura en torsión.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.27 Funciones de transferencia, dirección T, sismo 000809



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.28 Funciones de transferencia, dirección L, sismo 000809

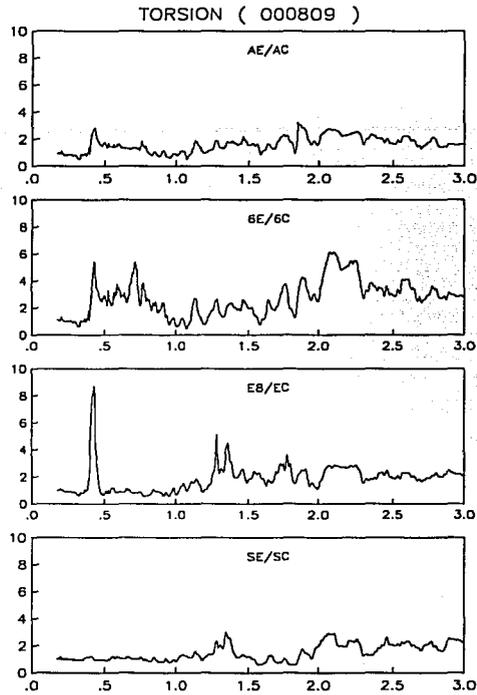


Figura 5.29 Funciones de transferencia, análisis de Torsión, sismo 000809

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DIRECCION TRANSVERSAL

EVENTO 000809

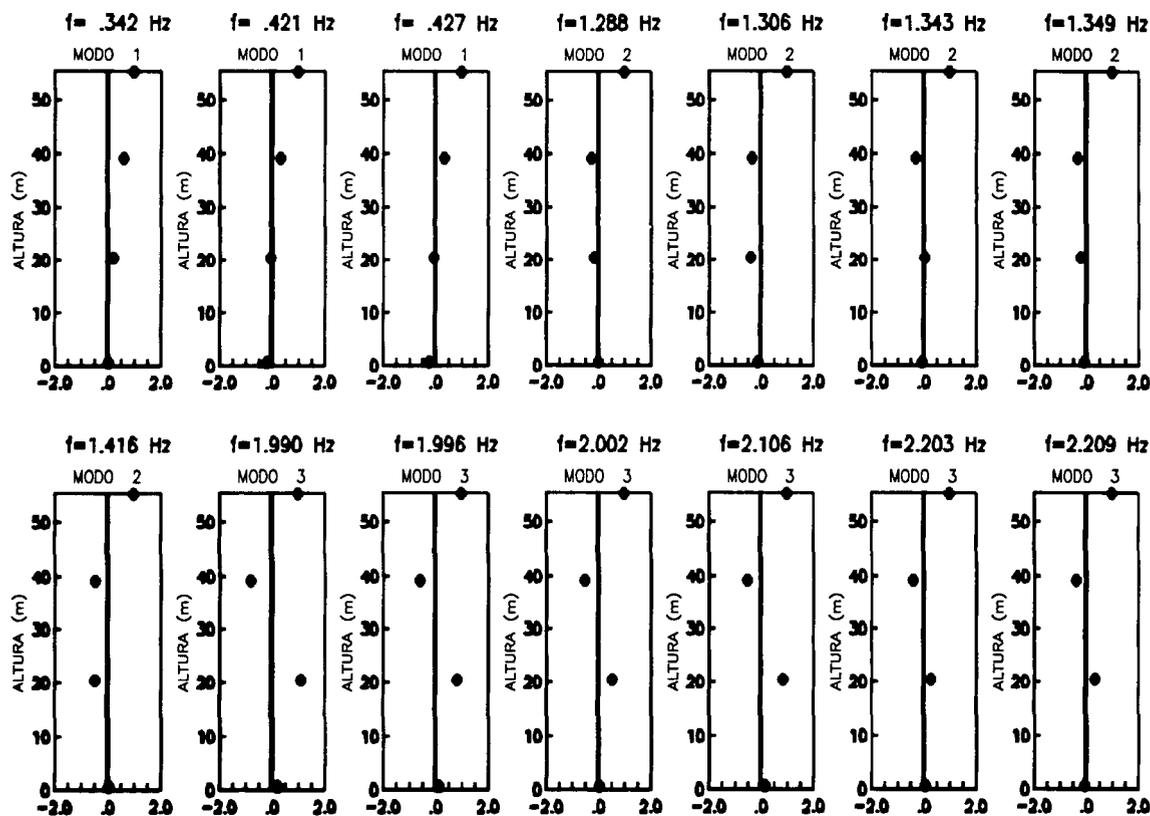


Figura 5.30 Formas modales en dirección T para el sismo 000809

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

DIRECCION LONGITUDINAL

EVENTO 000809

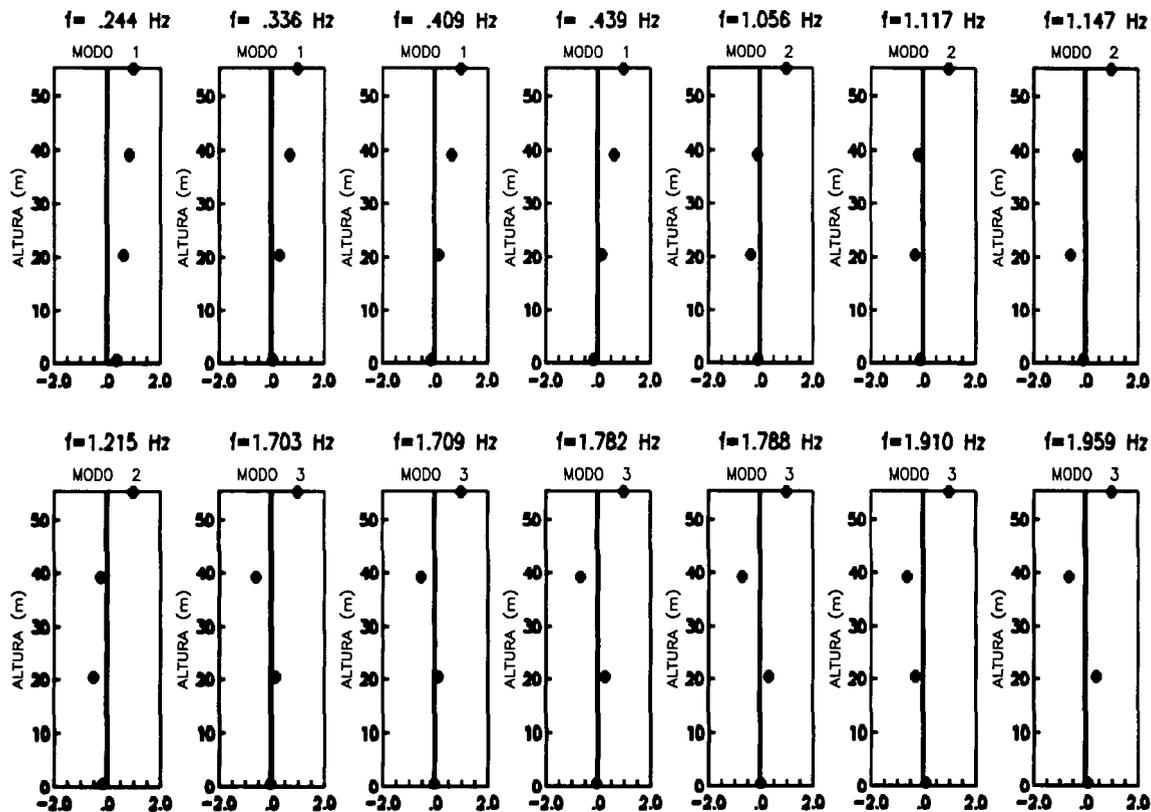


Figura 5.31 Formas modales en dirección T para el sismo 000809

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

DIRECCION EXTREMOS
EVENTO 000809

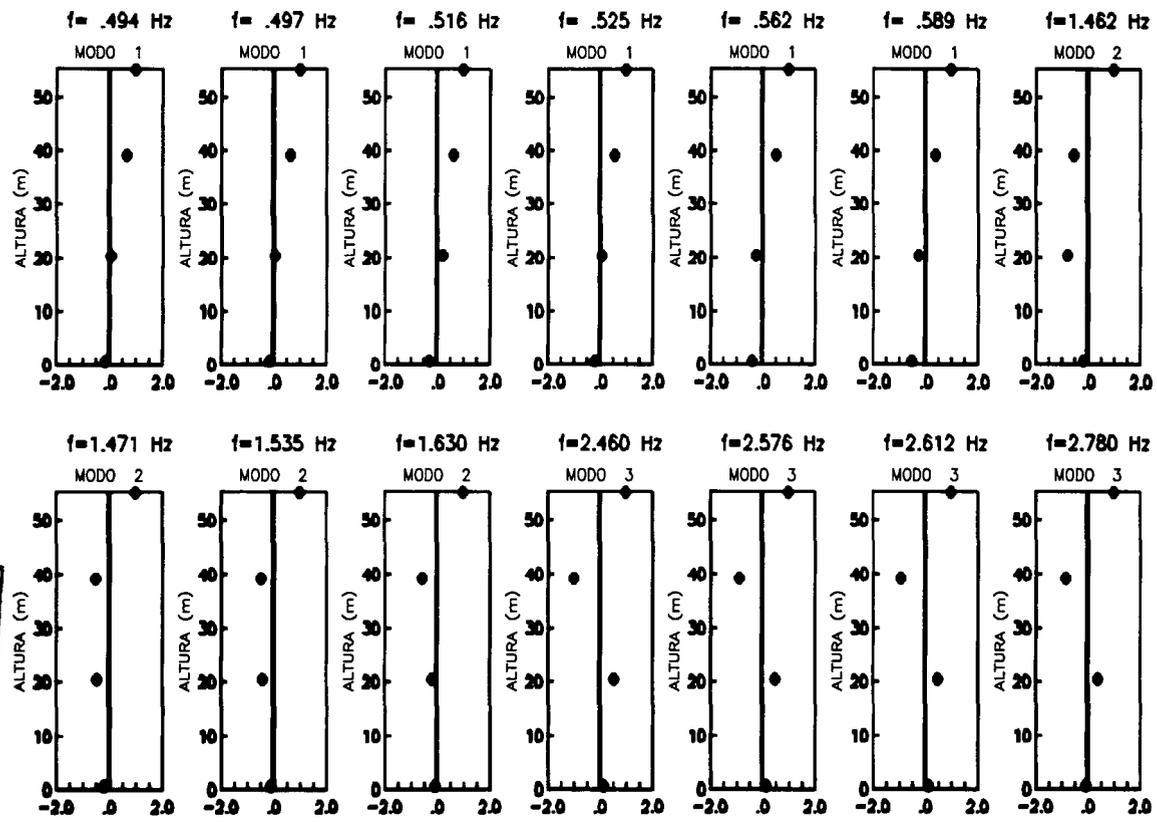


Figura 5.32 Formas modales en Torsión para el sismo 000809

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

En la Tabla 5.21 se presentan los valores de frecuencia para tres modos de vibrar en tres direcciones. Al no identificarse una frecuencia claramente, se presentan intervalos de variación; lo cual indica que la frecuencia de vibrar varió durante un mismo evento por un componente no lineal del sistema, y/o de una diferente resolución en amplitud del movimiento asociado a dichas frecuencias (Muría y Rodríguez, 1999). Es importante resaltar que no se puede decir con exactitud en que sismo se presentaron los valores de frecuencias altas o bajas ya que todos son intervalos y la mayoría de veces se intersecan, por ello solo se hacen comentarios de tendencias frecuenciales.

Evento	Sismo	Intensidad (cm/s)	Modo	Frecuencia (Hz)		
				Dirección		
				T	L	R
1	900531	0.83	1	0.36-0.42	0.37-0.42	0.46-0.57
			2	1.18-1.32	1.15-1.28	1.49-1.76
			3	2.25-2.56	2.40-2.47	-----
2	931024	2.91	1	0.32-0.43	0.35-0.41	0.45-0.54
			2	1.18-1.35	1.15-1.26	1.40-1.71
			3	2.34-2.66	2.29-2.61	2.34-2.55
3	940523	0.48	1	0.35-0.42	0.35-0.43	0.47-0.52
			2	1.22-1.44	1.23-1.29	1.48-1.72
			3	2.36-2.49	1.99-2.22	2.30-2.51
4	941210	6.45	1	0.31-0.42	0.33-0.42	0.42-0.51
			2	1.20-1.34	1.16-1.34	1.36-1.59
			3	2.03-2.84	2.09-2.52	2.05-2.40
5	950914	21.40	1	0.31-0.39	0.32-0.40	0.42-0.59
			2	1.21-1.33	1.12-1.29	1.35-1.45
			3	2.04-2.73	1.90-2.55	2.01-2.42
6	951009	9.24	1	0.32-0.38	0.32-0.38	0.39-0.44
			2	1.19-1.34	1.09-1.33	1.35-1.46
			3	1.93-2.49	1.94-2.33	2.07-2.34
7	970111	7.58	1	0.31-0.38	0.32-0.37	0.41-0.43
			2	1.11-1.26	1.10-1.23	1.26-1.58
			3	2.08-2.49	1.83-2.38	1.92-2.52

Tabla 5.21 Valores de frecuencia en los tres modos de vibrar, para flexión en L y T y torsión en R

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Evento	Sismo	Intensidad (cm/s)	Modo	Frecuencia (Hz)		
				Dirección		
				T	L	R
8	970522	0.42	1	0.32-0.39	0.34-0.39	0.42-0.50
			2	1.07-1.20	1.06-2.25	1.33-1.60
			3	1.92-2.63	1.76-2.56	1.87-2.58
9	990615	17.56	1	0.32-0.36	0.32-0.37	0.40-0.44
			2	1.00-1.172	1.05-1.19	1.27-1.56
			3	2.07-2.55	1.79-2.52	1.77-2.63
10	990621	0.71	1	0.34-0.40	0.34-0.40	0.41-0.46
			2	1.03-1.24	1.10-1.22	1.40-1.53
			3	1.95-2.63	1.78-2.52	1.85-2.50
11	990930	20.88	1	0.33-0.37	0.35-0.37	0.41-0.43
			2	0.98-1.34	1.05-1.33	1.30-1.50
			3	2.08-2.62	1.86-2.61	1.91-2.56
12	991229	0.65	1	0.35-0.40	0.35-0.40	0.43-0.55
			2	1.02-1.18	1.14-1.29	1.34-1.56
			3	2.17-2.56	1.76-2.53	1.86-2.48
13	000721	1.87	1	0.32-0.45	0.29-0.49	0.45-0.57
			2	1.37-1.47	1.18-1.28	1.52-1.75
			3	1.94-2.45	2.15-2.57	2.41-2.77
14	000809	5.99	1	0.34-0.43	0.34-0.44	0.49-0.59
			2	1.29-1.42	1.06-1.22	1.46-1.63
			3	1.99-2.21	1.70-1.96	2.46-2.78

Tabla 5.21 Valores de frecuencia en los tres modos de vibrar, para flexión en L y T y torsión en R (continuación)

Transformando esto a periodos, se obtuvo que la estructura se mueve en dirección transversal en un período fundamental de 2.22 a 3.22 segundos, de 2.04 a 2.94 s en dirección longitudinal y 1.69 a 2.56 segundos en torsión. Por la cercanía de los periodos fundamentales, se puede concluir que la estructura se encuentra fuertemente acoplada en flexión y en torsión. Cabe considerar en este análisis que el periodo del suelo es de 2.15 s, encontrándose dentro de los

rangos obtenidos en el edificio; es decir, se presentan condiciones muy cercanas a la resonancia.

V.2.4 Amortiguamientos

El amortiguamiento viscoso es una característica estructural que influye en la respuesta sísmica, esta característica se expresa normalmente como una fracción del amortiguamiento crítico. El tipo de amortiguamiento así considerado toma en cuenta fuentes de disipación de energía como fricciones internas, fricciones en los apoyos, en elementos no estructurales, etc (*Rosenblueth et al, 1976, Wakabayashi et al, 1990 y Housner, 1962*).

Las fracciones de amortiguamiento crítico equivalente (h), del sistema suelo-estructura, (tabla 5.22) se evaluaron con la expresión:

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

Siendo FAD, el factor de amplificación dinámico, el cual corresponde a la máxima amplitud de la función de transferencia entre la azotea centro (AC) y terreno (JR) (cuando no se tiene registro de terreno se sustituye por el del sótano centro y el cociente que se toma es AC/SC) de la frecuencia fundamental de la estructura en cada dirección (T o L). Debe aclararse que esta forma de determinar FAD no es comúnmente utilizada, ya que no emplea un ancho de banda para determinar la amplitud media, y con ello se evita error por suavizado de la función de transferencia; aún así, los amortiguamientos obtenidos son confiables.

El máximo valor de amortiguamiento crítico en la dirección L fue de 4.29% y se presentó en el evento 990615 el tercer sismo en cuanto intensidad sísmica se refiere (13.014 cm/s); y en la dirección T fue de 3.74% que se obtuvo en el sismo 940523 con intensidad sísmica de 0.479 cm/s.

El valor promedio de amortiguamiento crítico de la estructura en dirección Transversal es de 2.60% y en dirección Longitudinal de 3.02%; Por lo que se puede apreciar que la estructura disipa más energía en la dirección L que en la dirección T. Aún así, este nivel de disipación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

queda por debajo del que recomienda el reglamento de construcciones que es entre el 4 y el 7%.

Evento	Fecha de Sismo	Amortiguamiento (h%)	
		L	T
1	900531	2.70	2.78
2	931024	2.58	2.79
3	941210	3.68	3.56
4	940523	2.94	3.74
5	950914	3.05	2.09
6	951009	2.70	2.84
7	970111	2.94	2.40
8	970522	2.48	1.86
9	990615	4.29	2.40
10	990621	2.95	2.48
11	990930	3.48	2.29
12	991229	2.46	2.53
13	000721	2.95	2.36
14	000809	3.66	2.32

Tabla 5.22 Amortiguamiento crítico

Comparación con vibración ambiental

Las pruebas de vibración ambiental se realizaron con base en la metodología experimental desarrollada en el Instituto de Ingeniería. Se emplearon servoacelerómetros de alta resolución, similares a los que tienen los acelerógrafos del edificio, y se colocan en diferentes puntos de observación en la estructura. Las señales de estos sensores se capturaron con un sistema de

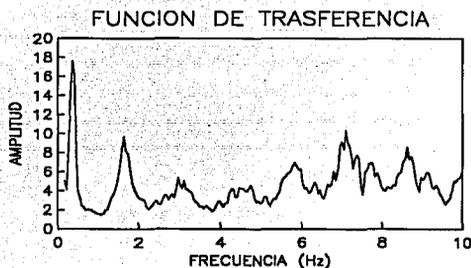
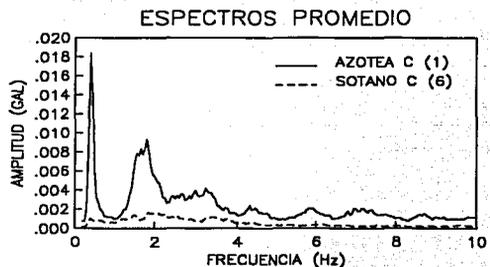
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

adquisición automático de datos de ganancia ajustable para lograr registrar digitalmente las señales de pequeña amplitud de aproximadamente 10^{-4} g.

El procesamiento de la información consistió en un análisis de señales aleatorias (Bendat y Piersol, 1989) para obtener las densidades espectrales promedio, así como las correspondientes funciones de transferencia, en fase y amplitud, y de coherencia entre pares de señales.

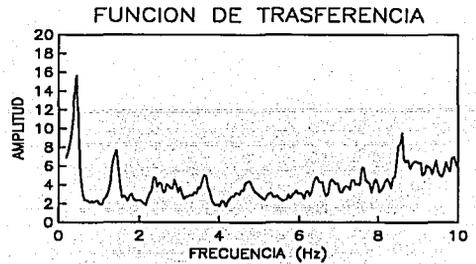
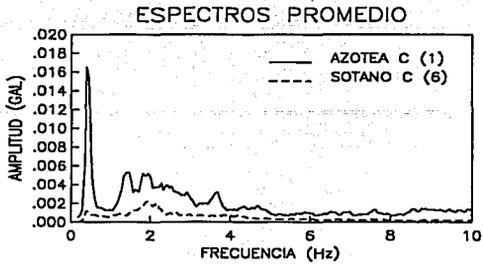
En julio de 1999 se realizó un programa de pruebas (VA1) en el edificio PC después de ocurrir el evento 990615. En la tabla 5.23 aparecen las frecuencias de traslación y de torsión identificadas de los registros de estas pruebas. Se aprecia un incremento de las frecuencias con respecto a las obtenidas con los registros sísmicos, tanto en la torsión, como en los componentes horizontales. Se detectan ligeras variaciones entre un evento y otro, lo cual es indicio de que ha habido poco daño o recuperación de rigidez, según el caso.

PRUEBA VA1 (DIRECCION T)

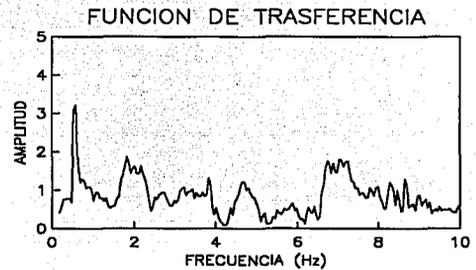
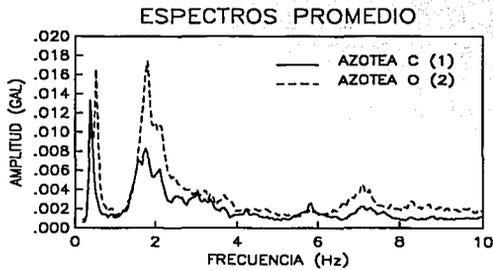


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRUEBA VA1 (DIRECCION L)



PRUEBA VA1 (DIRECCION T)



Evento	Sismo	Intensidad (cm/s)	Modo	Frecuencia (Hz)		
				Dirección		
				T	L	R
VA-1	990707	-	1	0.44	0.49	0.59
			2	1.71	1.47	1.86-2.2

Tabla 5.22 Valores de frecuencia en los tres modos de vibrar, para vibración ambiental

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

VI. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- ◆ Ante la necesidad creciente de realizar óptimos diseños de estructuras, es indispensable conocer mejor las condiciones naturales a las que son sometidas y las respuestas de estas a dichos fenómenos. Es de real importancia continuar con el estudio de la respuesta sísmica de edificaciones, con la finalidad de mejorar el empleo de materiales, adecuar las normas de construcción a condiciones reales y realizar mejores y más económicos diseños.
- ◆ Durante los 11 años de instrumentado, el edificio Plaza Córdoba ha registrado como máxima intensidad sísmica, la producida por el sismo del 14 de septiembre de 1995, 21.398 cm/s; sin embargo, este sismo no produjo la máxima aceleración, 219.90 cm/s², registrada durante el evento del 30 de septiembre de 1999. Pudo observarse que las amplificaciones de los movimientos de la azotea respecto al terreno natural han sido de aproximadamente 8 veces.
- ◆ Se observa, al descomponer los registros de aceleración, la importancia de los efectos de flexión y torsión de la estructura, ya que el cabeceo y la traslación de la base son prácticamente despreciables. A partir de los registros posteriores a 1999, año en que fue instalado el equipo de Jardín, se pudo hacer la comparación de las distorsiones de entrepiso eliminando los efectos de interacción suelo-estructura con los desplazamientos absolutos obtenidos en los años anteriores, evidenciando esto la poca influencia de los efectos de interacción suelo-estructura.
- ◆ Las distorsiones de entrepiso no han excedido las permitidas en el Reglamento de Construcciones del D.F. Sin embargo el sismo 950914 presenta los mayores valores de distorsión ubicados en el entrepiso de azotea y nivel seis de oficinas en componente transversal con un valor de 0.55 por ciento, el cual es muy cercano al límite que marca el reglamento de 0.60 por ciento al considerar la presencia de muros estructurales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- ◆ Los mayores alargamientos en elevación se presentan en el nivel 8 de estacionamiento, este lugar es donde la sección de la base se reduce para dar inicio a la torre de oficinas, este motivo es importante para los alargamientos ya que pareciera que la base sostiene a la torre.
- ◆ Se observa nuevamente, al evaluar las funciones de transferencia SC/JR, la poca influencia de los efectos de la interacción del suelo con la estructura. Ya que del cociente indicado obtenemos un resultado muy cercano a la unidad, lo cual nos indica que el sótano del edificio se mueve de la misma forma que el terreno natural.
- ◆ Al evaluar los cocientes espectrales, AC/SC y AE/AC principalmente, se obtuvieron frecuencias modales asociadas a las ordenadas máximas, en flexión y torsión respectivamente. Debido a la cercanía de las frecuencias modales de la estructura se definieron intervalos de frecuencias. Transformando esto a periodos, se obtuvo que la estructura se mueve en dirección transversal en un período fundamental de 2.22 a 3.22 segundos, de 2.04 a 2.94 s en dirección longitudinal y 1.69 a 2.56 segundos en torsión. Por la cercanía de los periodos fundamentales, se puede concluir que la estructura se encuentra fuertemente acoplada en flexión y en torsión. Cabe considerar en este análisis que el periodo del suelo es de 2.15 s, encontrándose los obtenidos en el edificio dentro de este; es decir, se presentan condiciones muy cercanas a la resonancia, lo cual se evidenció al presentarse el efecto de pulsación en los registros de aceleración obtenidos. Una alternativa para solucionar este problema es hacer la estructura mas flexible para lograr con ello que el periodo aumente o más rígida para reducirlo.
- ◆ El porcentaje de amortiguamiento promedio del edificio no excede en general el 5 por ciento.

Durante los 10 años de proceso de los registro de aceleraciones producidas por sismos en la estructura, se ha obtenido una gran cantidad de información, misma que ha permitido hacer evaluaciones cuantitativas de las excitaciones impuestas por los sismos a las estructuras y de las respuestas de las mismas. Sin embargo, aún no se tienen registros de sismos de gran intensidad, que es precisamente para estos casos

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

donde subsisten las mayores controversias y como estos no son frecuentes hay que seguir esperando.

Los registros obtenidos y los estudios que de estos se han derivado están permitiendo avanzar en el conocimiento de la respuesta dinámica de este tipo de estructuras con la finalidad de mejorar en el futuro los criterios de diseño.

REFERENCIAS

1. **Alcántara L., Almora D., Macías M.A., Sandoval H., Castro G., Ylizaliturri J., Vázquez R.** (1998). "Comportamiento sísmico del edificio Plaza Córdoba". Informe final elaborado para el departamento del Distrito Federal, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F.
2. **Alcántara L., Almora D., Macías M.A., Sandoval H., Castro G., Ylizaliturri J., Vázquez R., Velasco J.M., Soto U., Carmona G.** (1999). "El sismo del 15 de junio de 1999 (M=6.7) en el edificio Plaza Córdoba, Acelerogramas obtenidos" Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F.
3. **Alcántara L., Almora D., Macías M.A., Sandoval H., Castro G., Ylizaliturri J., Vázquez R., Velasco J.M., Soto U., Carmona G.** (1999). "El sismo del 30 de septiembre de 1999 (M=7.4) en el edificio Plaza Córdoba, Acelerogramas obtenidos" Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F.
4. **Arias A.** (1970). "A Measure of Earthquake Intensity" en Seismic Design for Nuclear Power Plants. Editor R.J. Hansen, MIT Press.
5. **C.T. Sun, Y.P. Lu.** (1995). "Vibration damping of structural elements". Ed. Prentice Hall. E.U.A.
6. **Housner G. W.** (1962). "Fundamentos de Ingeniería sísmica". Revista de Ingeniería No. 3. México D.F. p 25-54.
7. **Marsal R.J., Mazari M.** (1987). "El suelo de la ciudad de México, parte D variación de las propiedades mecánicas con la profundidad" series del Instituto de Ingeniería No. 505, México D.F.
8. **Murià D., Alcántara L., Pérez L.E., Duran R., Tena A., Macías M. A., Vázquez R., Maldonado S.** (1997). "Edificios Instrumentados" Ingeniería Civil No. 343, México D.F.
9. **Murià D., Rodríguez G.** (1999). "Análisis de los registros sísmicos obtenidos de 1993 a 1998 en el edificio Jalapa" Informe elaborado para el Departamento del Distrito Federal, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F.

10. **Quaas R., Mena E., Almora D., Alcántara L., Macías M.A. (1990).** "Acelerogramas del terremoto de mayo 31, 1990, obtenidos en el edificio Plaza Córdoba" Instituto de Ingeniería, UNAM, reporte IPS-16, México D.F.
11. **Rosenblueth E., Newmark N.M. (1976).** "Fundamentos de Ingeniería Sísmica". Ed. Diana, México D.F. p (19-41, 293-415).
12. **Schiff D. (1990).** "Dynamic Analysis and failure modes of simple structures". Ed. Wiley, E.U.A.
13. **Wakabayashi M., Martínez E. (1990).** "Diseño de Estructuras Sismo Resistentes". Ed. Mc Graw-Hill, México D.F. p 24-35.