



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTACION SISMICA DE
EDIFICIOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JAIME RAMON GARCIA RODRIGUEZ



DIRECTOR DE TESIS:

M. I. LEONARDO ALCANTARA NOLASCO

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 INGENIERIA
DIRECCION
NO. OFICIO 60-I-087

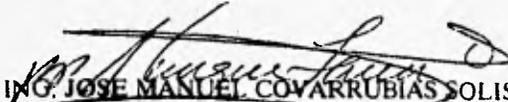
ING. LEONARDO ALCANTARA NOLASCO
P r e s e n t e .

El señor **JAIME RAMON GARCIA RODRIGUEZ** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

A t e n t a m e n t e .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".
Cd. Universitaria, D. F., 9 de mayo de 1994
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS.

JMCS/RCR*nl1

ASUNTO: Propuesta de Tema de Tesis.
No. OFICIO 60 - I - 087

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA DE LA U.N.A.M.
Presente.

En atención a su oficio de fecha 9 de mayo de 1994 en el que me solicita proponer Tema de Tesis para que sea desarrollado por el (la) señor (ita) ----- JAIME RAMON GARCIA RODRIGUEZ ----- registrado (a) con el número de cuenta 8734103-8 ----- y pueda presentar su Examen Profesional de la Carrera de Ingeniero CIVIL me permito someter a su consideración el siguiente:

TEMA:

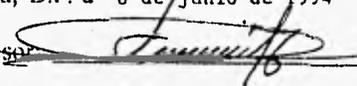
INSTRUMENTACION SISMICA DE EDIFICIOS

CAPITULOS:

- I. INTRODUCCION
- II. SISTEMA DE REGISTRO SISMICO EN LOS EDIFICIOS
PLAZA CORDOBA Y METRO JUAREZ
- III. REGISTROS OBTENIDOS Y PROCESO
- IV. ANALISIS DE RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES

Atentamente,
"POR MIRAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 6 de junio de 1994

Firma del Profesor



Nombre:

M en I LEONARDO ALCANTARA NOLASCO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-087/94

Señor
JAIME RAMON GARCIA RODRIGUEZ
Presente.

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

"INSTRUMENTACION SISMICA DE EDIFICIOS"

- I. INTRODUCCION**
- II. SISTEMA DE REGISTRO SISMICO EN LOS EDIFICIOS PLAZA CORDOBA Y METRO JUAREZ**
- III. REGISTROS OBTENIDOS Y PROCESO**
- IV. ANALISIS DE RESULTADOS**
- V. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 13 de junio de 1994.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl

1. INTRODUCCIÓN	1
2. SISTEMA DE REGISTRO SÍSMICO EN LOS EDIFICIOS PLAZA CÓRDOBA Y METRO JUÁREZ	4
2.1 Objetivos de la instrumentación	4
2.2 Selección de los edificios	5
2.3 Características de la instrumentación	7
2.3.1 Plaza Córdoba	10
2.3.2 Metro Juárez	15
2.4 Operación y mantenimiento	21
3. REGISTROS OBTENIDOS Y PROCESO	22
3.1 Procesamiento básico	26
3.1.1 Historia de aceleraciones	26
3.1.2 Espectros de Fourier	41
3.1.3 Corrección de línea base	47
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.1 Plaza Córdoba	55
4.2 Metro Juárez	65
5. CONCLUSIONES	69
6. REFERENCIAS	71

Prefacio

He de comenzar dando gracias a Dios; por haber concluido con la realización de este trabajo; que significa alcanzar objetivo personal. Para lograrlo se ha conjuntado el esfuerzo de varias personas, que intervinieron de manera directa o indirecta en la elaboración del mismo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación académica que he recibido; que me permitirá ser útil a mi país.

Quiero agradecer al M.I. Leonardo Alcántara Nolasco; quien ha dirigido y revisado este trabajo. Por su amistad y consejo.

Al personal de la Coordinación de Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En especial al M.I. Marco Antonio Macías por su ayuda y paciencia.

A mi Mamá, por su amor y comprensión.

A mi hermana Lily, por su ayuda incondicional.

A mi abue y mi tía Gela por su apoyo.

Y a todos los familiares y amigos que de una u otra manera me han ayudado muchas gracias.

Y oí a toda criatura que está en el cielo, y sobre la tierra, y debajo de la tierra, y que está en el mar, y todas las cosas que en ellos están, diciendo: Al que está sentado en el trono, y al Cordero, sea la bendición, y la honra, y la gloria, y el poder, para siempre jamás.

Apocalipsis 5:13

Porque los montes se moverán, y los collados temblarán, pero no se apartará de ti mi misericordia, ni el pacto de mi paz se quebrantará, dijo EL SEÑOR, el que tiene misericordia de ti.

Isaías 54:10

1. INTRODUCCIÓN

1

México se encuentra enclavado en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, la región de mayor actividad sísmica del mundo, y los grandes terremotos que ocurren en la República liberan aproximadamente el 3% de la energía sísmica mundial. La región donde ocurren la mayor parte de estos sismos de magnitud¹ importante es en la zona sur y centro de nuestro país. Esta actividad sísmica está asociada a la interacción de las placas de Rivera y Cocos con respecto a la placa Norteamericana. Como resultado de esta interacción, a lo largo de la costa del Pacífico grandes terremotos han sido una parte importante de nuestra historia. En la actualidad se han identificado en esta región dos sitios como los de mayor potencial sísmico: las costas de Guerrero y el istmo de Tehuantepec. Las características que presentan estas regiones hacen suponer que sismos importantes de magnitudes cercanas a 8.0 podrían ocurrir en un futuro inmediato. Desgraciadamente, no es posible aún determinar con confiabilidad la fecha en que ocurrirán. En México acontece en promedio, un sismo de magnitud mayor que 7.0 cada 2 años y medio (ref. 1). En el siglo XX han acaecido en México 8 terremotos de magnitud igual o mayor que 7.9 (tabla 1) afectando regiones densamente pobladas del sur del país. Las ciudades de Oaxaca, Guadalajara, Puebla, Acapulco, Orizaba y México, entre otras han sufrido daños importantes por dichos terremotos. Descripciones históricas sugieren, por ejemplo, que en 1787 México fue afectado por un gran terremoto, que podría ser de magnitud del orden de 8.4. Estos terremotos afectan grandes extensiones del territorio nacional y pueden generar maremotos peligrosos para los poblados de la costa del sur de México.

AÑO	1900	1903	1907	1928	1932	1932	1941	1985
MAGNITUD	8.1	8.3	8.2	8.0	8.4	8.0	7.9	8.1

Tabla 1. Terremotos $M \geq 7.7$ ocurridos en México en el siglo XX (ref. 1).

¹ La Magnitud de un sismo es una medida del tamaño del mismo, es independiente del lugar donde se hace la observación y se relaciona en forma aproximada con la cantidad de energía que se libera durante el evento.

A lo largo de la historia han ocurrido muchos temblores de gran intensidad² en distintas partes del mundo siendo devastadas grandes ciudades. El efecto de los sismos depende principalmente de la estructura del suelo y del movimiento que genera. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son tan variables dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén cimentadas las estructuras.

Las características de interés del movimiento son la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante el sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o de aceleración y la frecuencia al número de oscilación del movimiento por unidad de tiempo.

Para el estudio de los fenómenos sísmicos ha sido necesario construir aparatos que registren los movimientos del terreno con una precisión que permita obtener información cuantitativa referente al temblor. Los instrumentos que actualmente se usan para este fin se clasifican en dos grupos: sismógrafos y acelerógrafos, los primeros, son usados principalmente por los sismólogos y geofísicos desde fines del siglo pasado, sirven para determinar el epicentro del sismo, su profundidad focal, magnitud, propagación de las ondas sísmicas en el interior de la tierra, etc. Son capaces de detectar temblores fuertes lejanos, o bien, cercanos que sean débiles, imperceptibles al ser humano, sin embargo, la alta sensibilidad de estos, impide obtener registros completos de temblores intensos, ya que no es posible registrar el movimiento a lo largo de toda la línea de registro, ello ha dado lugar al desarrollo de los acelerógrafos. Estos aparatos fueron desarrollados durante los años 30 cuando fue evidente que se quería un instrumento de sensibilidad mucho menor para captar el movimiento del terreno, durante el tiempo que durará el sismo por muy violento que éste fuera.

El estudio del fenómeno sísmico representa un doble reto: estudiar y comprender su naturaleza desde el punto de vista geofísico, y desde el del Ingeniero Civil, entender sus efectos sobre el suelo y estructuras con el fin de prevenir daños potenciales. Ambos enfoques requieren de instrumentos de observación adecuados que permitan cuantificar y analizar las ondas sísmicas tanto en el terreno como en las estructuras. Es por eso que el objetivo de las Redes Acelerográficas es avanzar en el conocimiento sobre las características de la fuente de sismos intensos, investigar y estudiar los riesgos y daños provenientes de los fenómenos sísmicos, así como integrar un acervo de información y documentación que incremente los niveles de seguridad en zonas sísmicas.

² La intensidad de un sismo es una medida de los efectos que este produce en un sitio dado, de las características del movimiento del terreno y de la potencialidad destructiva del mismo, en ese lugar en particular y en lo que concierne a sus efectos en las construcciones

La Red Nacional Acelerográfica está constituida con el apoyo de diversas instituciones entre las que destacan, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CISESE), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Fundación Javier Barros Sierra (FJBS), la Fundación ICA (FICA), el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II), Gobierno de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Estas redes abarcan también la instrumentación de 12 edificios, para un mejor monitoreo del comportamiento de las estructuras.

El II, realiza investigaciones que permitan tener un mejor conocimiento sobre el reto sísmico, los estudios comprenden registro de temblores, interpretación de acelerogramas y el análisis del comportamiento dinámico de las estructuras (presas, edificios, sistemas de conducción, etc.)

Para tal efecto el II ha instalado redes acelerográficas tanto en campo libre como en estructuras, que registren las aceleraciones generadas por la ocurrencia de un sismo, las cuáles se localizan en diversos puntos de la República Mexicana; principalmente en las zonas de mayor riesgo sísmico y destacan por su importancia: la Ciudad de México y los estados de Guerrero, Michoacán y Puebla.

En la Ciudad de México, se está realizando un estudio del comportamiento dinámico de las estructuras de dos edificios, localizados en la zona de más alto riesgo sísmico (la zona de lago del valle de México); el edificio Plaza Córdoba y el Metro Juárez.

Este trabajo recopila la información obtenida por los acelerógrafos instalados en estos edificios. En el capítulo 2 se definen los objetivos que se alcanzarán al instrumentarlos; además de una descripción detallada de cada uno; en el capítulo 3 se presenta el proceso que se realiza a cada uno de los registros obtenidos enumerándose cada uno de los sismos y estaciones que lo registraron, por último en el capítulo 5 se esblecen las conclusiones, a partir de las cuáles el II de la UNAM, seguirá trabajando en está área de investigación.

2. SISTEMA DE REGISTRO SÍSMICO EN LOS EDIFICIOS PLAZA CÓRDOBA Y METRO JUÁREZ

4

2.1 Objetivos de la instrumentación

Los objetivos que se persiguen en el II con la instrumentación sísmica de los edificios Metro Juárez y Plaza Córdoba pueden dividirse en inmediatos y en aquellos que se alcanzarán a largo plazo como consecuencia de los primeros. El más cercano es obtener registros del movimiento de las estructuras y del terreno durante la ocurrencia de un sismo y a partir de estos estudiar su comportamiento sísmico. Lo que permitirá determinar efectos de interacción suelo-estructura y torsión durante sollicitaciones que provoquen deformaciones importantes del suelo y la estructura. La búsqueda de tales objetivos produce beneficios adicionales como son: en que momento ocurrió cada una de las fallas y a qué desplazamientos se asociaron, ó bien, cuando un edificio instrumentado sufre daños de cierta consideración como resultado de la acción de un sismo, estos beneficios se notan, si se plantea el caso contrario: que ni en el edificio ni en el terreno cercano existan aparatos que registren los efectos sísmicos, tal como sucedió en el Distrito Federal en 1985, donde la única información que se tiene es la totalidad de daños que se presentaron en las estructuras, pero sin que se tenga idea de qué falló primero (ref. 1). Estas son las condiciones en las que usualmente se ve obligado a trabajar quien tiene la tarea de reparar la estructura dañada, algunas veces sin tener datos que lo puedan conducir a una solución del problema, como pueden ser las aceleraciones y desplazamientos asociados a los elementos estructurales.

Así, es claro que una proporción considerable de los proyectos de refuerzo de estructuras dañadas por sismo sean poco más que intentos de mejorar la resistencia de los edificios (en particular la de los elementos que experimentaron los daños más espectaculares) y en producir una estructura más robusta que cumpla con las exigencias reglamentarias más severas (ref. 21).

En cambio, si la estructura cuenta con instrumentación sísmica y sufre daños, en los registros obtenidos se tendrá la evidencia de las aceleraciones y desplazamientos asociados a la estructura, además del comportamiento de la cimentación y de la propagación de las ondas sísmicas a través de los estratos de arcilla cercanos a este. Es claro que con esta información la reparación o refuerzo de la estructura podrá desde un principio dirigirse mejor, pues en este caso se conocen no sólo los daños como resultado final de un proceso paulatino de deterioro, sino los detalles del proceso mismo a lo largo del tiempo que duró el sismo, es decir, se tienen simultáneamente datos complementarios sobre la causa (el movimiento del terreno) y el efecto (los daños del edificio). Como parte importante de los objetivos se busca conocer la respuesta dinámica de la estructura con sismos de mediada intensidad, lo que permitirá establecer un modelo de la estructura, con el cual se puedan hacer estudios de la respuesta sísmica y de los daños esperados cuando ocurra un sismo de gran intensidad.

2.2 Selección de los edificios

Para obtener el mayor provecho de la instrumentación sísmica de las estructuras se establecieron las siguientes condiciones en su selección:

- a) Localización en zonas de mayor sensibilidad sísmica (esto es en la zona de lago preferentemente).
- b) Estructura de concreto basada en marcos con muros estructurales perfectamente definidos, fachada y acabados desligados de la estructura.
- c) Aprobación del propietario.
- d) Disponer de información detallada sobre las características del edificio como: planos, memoria de cálculo y construcción completas que incluyeran cargas y criterios de diseño.
- e) Estimaciones analíticas de los periodos de los principales modos de vibración (ref. 2).
- f) No contar con irregularidades importantes en la forma de la estructura que alteraran su comportamiento dinámico.
- g) Que fuera un edificio típico de los construidos en la Ciudad de México; para que los beneficios derivados no se limitaran a una estructura de diseño muy especial, de construcción reciente y que tuviera un rango de entre 6 y 20 niveles dado que esta es la altura promedio de los edificios en los cuáles se presentaron más fallas estructurales en los sismos de 1985; además con posibilidad de sufrir daños ligeros en un sismo fuerte.

- h) Disponer de los informes del estudio de mecánica de suelos que se uso en el criterio de diseño de la cimentación.
- i) Seguridad y vigilancia del equipo que se va a instalar, así como el libre acceso al personal encargado del mantenimiento y operación de los instrumentos (ref. 19).

Se realizaron mediciones de vibración ambiental en unos 40 edificios para obtener sus periodos naturales (ref. 28), así como una recopilación de sus características estructurales. Los resultados obtenidos se emplearon en la selección final y en la colocación de los instrumentos. Se revisó la memoria de cálculo de los edificios mediante modelado en computadora (ref. 29). En la selección final de los dos edificios a instrumentar, se examinaron 8 inmuebles con diversas características pero que cumplían con los requisitos antes descritos, los cuáles se indican en la tabla 1a se presenta su ubicación así como el número de niveles de construcción con los que cuenta cada uno:

Edificio	No. Niveles
Guerrero No. 117	11 niveles
Culiacán No. 123	15 niveles
Hamburgo y Oxford	21 niveles
Reforma No. 175	20 niveles
Durango No. 49	12 niveles
Av. México 129	16 niveles
Metro Juárez	6 niveles
Plaza Córdoba	17 niveles

Tabla 1a. Ubicación y número de niveles de los edificios estudiados como prospectos a instrumentar.

Finalmente se seleccionaron los edificios Metro Juárez y Plaza Córdoba y en ellos se instalaron las redes sísmicas. Estos edificios se encuentran en la zona de lago que fue la más afectada por los sismos del 19 de septiembre de 1985.

2.3 Características de la instrumentación

Para la instrumentación de los dos edificios se adquirieron 17 acelerógrafos triaxiales DCA-333 marca Terra Technology, estos equipos son de calidad ampliamente probada en México. Se trata de instrumentos digitales de alta resolución con un sistema de registro en memoria de estado sólido, su velocidad de adquisición es de 100 muestras por segundo en cada uno de los tres canales con los que cuenta (dos horizontales y uno vertical), para su operación se requieren baterías de 12 volts que pueden estar conectadas a un conjunto de celdas solares, en el caso de que estas no sean alimentadas por corriente alterna. (ref. 9). El diagrama simplificado de un acelerógrafo se muestra en la figura 1 y en la tabla 1b algunas de sus principales características.

El registro en tres componentes en cada uno de los puntos de medición nos permite conocer el alargamiento y acortamiento que sufren las columnas durante la ocurrencia de los sismos, además podemos registrar si existió flexión en los dos sentidos y el sentido de la torsión que sufrió el inmueble, es decir conocer el movimiento del edificio en el espacio.

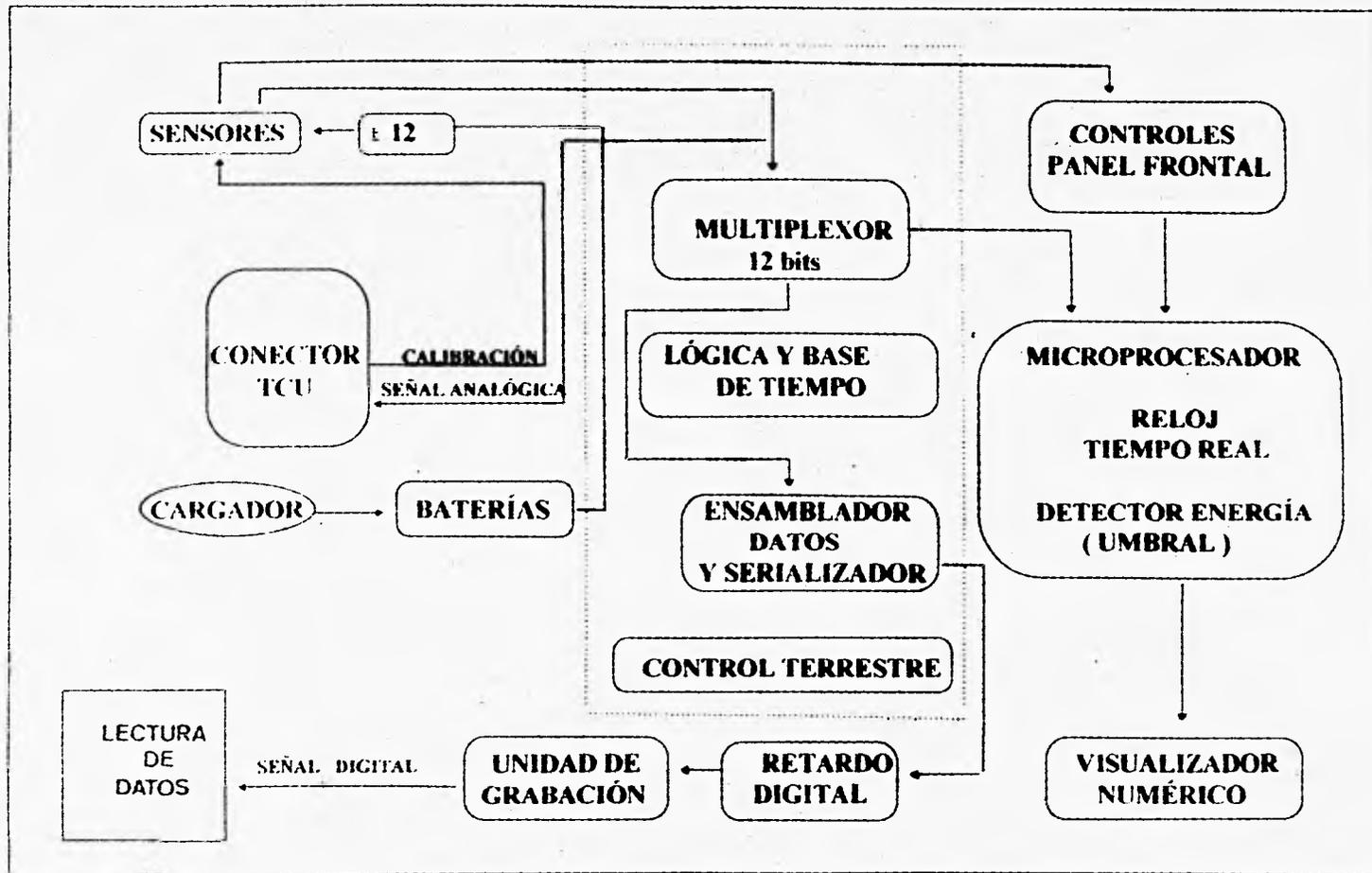


Figura 1. Diagrama simplificado de un Acelerógrafo Digital.

Medio de registro	Memoria de estado sólido
Sensores	Servoacelerómetros Triaxiales internos
Frecuencia natural	30.0 Hz
Amortiguamiento	0.70 del crítico
Sensibilidad	± 0.25 g, 0.5 g, 1 g y 2 g
Memoria de preevento	4.0 seg
Tiempo de postevento	15.0 seg
Tiempo total de registro	15.0 minutos
Velocidad de muestreo	100.0 muestras/seg/canal
Longitud de palabra del conversor A/D	12 bits, 11 + signo
Rango dinámico	72 dB
Umbral de disparo	Ajustable
Referencia de tiempo	Reloj interno, 1×10^4 y marcas externas
Alimentación	12 VCD, cargador y batería automotriz en flotación

Tabla 1b. Características de los acelerógrafos instalados en los Edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez.

2.3.1 Plaza Córdoba

10

El edificio Plaza Córdoba se encuentra localizado en la calle de Córdoba No. 42 entre Puebla y Durango en la Colonia Roma (fig. 2), es una estructura de concreto reforzado de 17 niveles, cimentado sobre 266 pilotes de fricción de sección triangular los cuáles penetran 23 m dentro del subsuelo, consta de un sótano con muros de concreto reforzado, planta baja, mezzanine, estacionamientos y una torre de 12 niveles, en el se alberga gran cantidad de oficinas y despachos comerciales, siendo la altura total del edificio de 51 m.

El subsuelo presenta una estratigrafía típica de la zona de lago del valle de México cuyas generalidades son: un relleno superficial de 2 m de espesor, por debajo tenemos la formación arcillosa superior (FAS) de unos 30 m de espesor, abajo de esta se tiene un estrato de limo y arena de 3 m (primera capa dura), la formación arcillosa inferior (FAI) se localiza a partir de los 35 m, esta cuenta con un espesor de 10 m.

Este edificio sufrió ligeros daños durante los sismos de septiembre de 1985 y como parte de la reparación la estructura fue rigidizada completamente mediante la colocación de muros de concreto. Los daños provocados por los sismos de 1985 se presentaron en los niveles E8 y N1 en donde existe un cambio importante de las características dinámicas, lo que propició efectos locales irregulares en los elementos estructurales de tales sitios.

Para este edificio se destinaron 11 equipos, la distribución de los aparatos (tabla 2 y fig. 3) es la siguiente: Tres instrumentos se encuentran instalados en el sótano (uno en la parte central PCSC, y dos colocados en columnas a los extremos PCSO y PCSE), en los niveles N7 y N8 se colocaron cuatro acelerógrafos (PCEC, PCEO, PCE7, PCE8), PCE7 y PCE8 están colocados en el extremo suroeste sobre la misma columna, en el nivel 6 se encuentran dos aparatos PC6C y PCE6, los dos restantes PCAC y PCAE se instalaron en la azotea del edificio.

Los aparatos ubicados en los sitios PCSC, PCEC, PC6C y PCAC (figura 4) se encuentran localizados a lo largo de una línea vertical, lo mismo ocurre con los instrumentos instalados al extremo suroeste de edificio (PCSE, PCE7, PC6E, PCE8, PCAC). Este arreglo permite conocer los movimientos horizontales que sufre el edificio en la cimentación, en la base y en la azotea. También se puede determinar la amplificación en los diferentes niveles del edificio y evaluar los efectos de rotación que sufre el inmueble.

Los instrumentos están interconectados entre si mediante 6 cables alojados en un ducto de $\frac{3}{4}$ ". Dos para la alimentación de energía eléctrica, dos para la señal codificada de tiempo, a fin de obtener un registro sincrónico de todos los equipos y dos cables para la señal común de arranque. Esto último permite tener el mismo tiempo en todos los aparatos (referido a la hora del Meridiano de Greenwich) y además conocer con precisión el movimiento relativos de la estructura en sus distintos puntos de medición. La configuración se basa en un sistema maestro-esclavo, en el cual, al rebasar el movimiento el umbral de disparo del aparato maestro, pone en operación simultánea a todos los equipos, no obstante cada instrumento es capaz de iniciar su operación cuando su sistema interno detecta una aceleración que rebase el umbral programado, o cuando recibe una señal exterior, en este caso la señal se obtiene del aparato maestro ubicado en el nivel seis centro PC6C.

Para determinar el aparato maestro se considera el lugar en donde se tendrá menor riesgo de constantes disparos, debido a la actividad propia del sitio. En el sótano, el movimiento de los vehículos que entran al estacionamiento podría causar constantes activaciones lo que tendría como consecuencia que la memoria de registro se agotara. Por otra parte en la azotea el aparato que funcionara como maestro, posiblemente se activaría con mucha frecuencia debido a su cercanía con los elevadores (los cuáles producen vibraciones en su desplazamiento por el edificio). Tomando en cuenta lo antes expuesto se eligió el sexto piso como sitio para alojar al equipo maestro (PC6C).

Como se mencionó la instrumentación se encuentra en la estructura y para conocer los movimientos del subsuelo es necesario instalar equipo adicional. Se adquirieron dos acelerógrafos con características similares a los descritos y los sitios donde se instalarán se denominarán PCRJ y PCP1. En breve serán colocados dentro del área del inmueble, uno en campo libre y el otro tendrá sus sensores en un pozo profundo, para ello se hará una perforación en el jardín exterior del edificio, una vez hecho el barrenó, se instalará el ademe respectivo. Los sensores ya han sido calibrados y se alojarán a 2.00 y 60.00 m. de profundidad. La finalidad es conocer la amplificación que sufren las ondas sísmicas en su paso por los diferentes estratos del subsuelo hasta llegar a la estructura, y se compararán los distintos niveles de aceleración. Además se cuantificará el filtrado que sufren las ondas sísmicas en el momento en que tienen contacto con la estructura. Y finalmente se conocerán las diferencias entre el registro de campo libre con los de la estructura y pozo profundo.

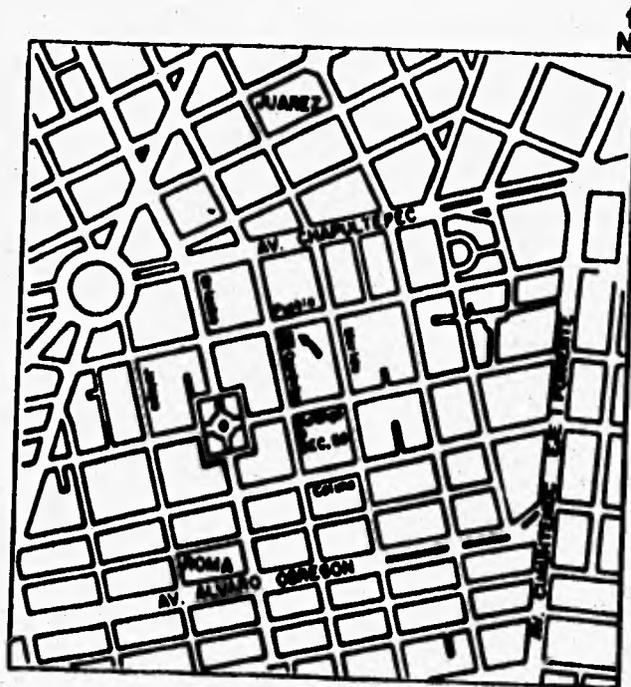
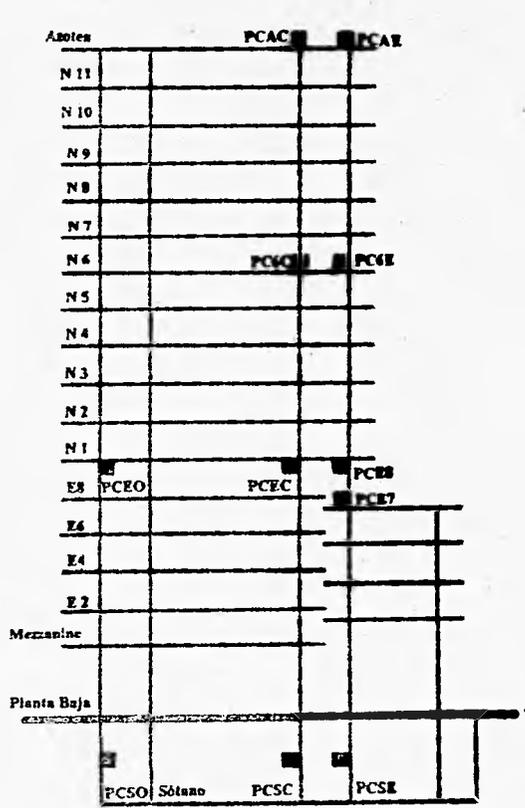


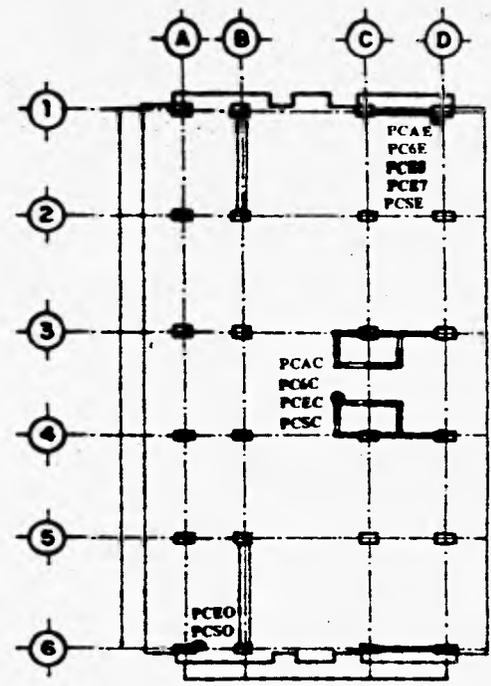
Figura 2. Localización del edificio Plaza Córdoba

NOMBRE ESTACIÓN	CLAVE
Plaza Córdoba Azotea Centro	PCAC
Plaza Córdoba Azotea Este	PCAE
Plaza Córdoba nivel seis de oficinas Centro	PC6C
Plaza Córdoba nivel seis de oficinas Este	PC6E
Plaza Córdoba nivel ocho de estacionamiento Oeste	PCEO
Plaza Córdoba nivel ocho de estacionamiento Centro	PCEC
Plaza Córdoba nivel ocho de estacionamiento Este	PCE8
Plaza Córdoba nivel siete de estacionamiento Este	PCE7
Plaza Córdoba sótano Oeste	PCSO
Plaza Córdoba sótano Centro	PCSC
Plaza Córdoba sótano Este	PCSE
Metro Juárez Azotea Centro	MJAC
Metro Juárez Azotea Este	MJAE
Metro Juárez Base Oeste	MJBO
Metro Juárez Base Este	MJBE
Metro Juárez Sótano Anden	MJSE

TABLA 2. Nombre y clave de las estaciones de registro en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez.



ELEVACIÓN



PLANTA

Figura 3. Elevación y Planta del Edificio Plaza Córdoba. (En los puntos se indica la ubicación y la clave de los acelerógrafos).

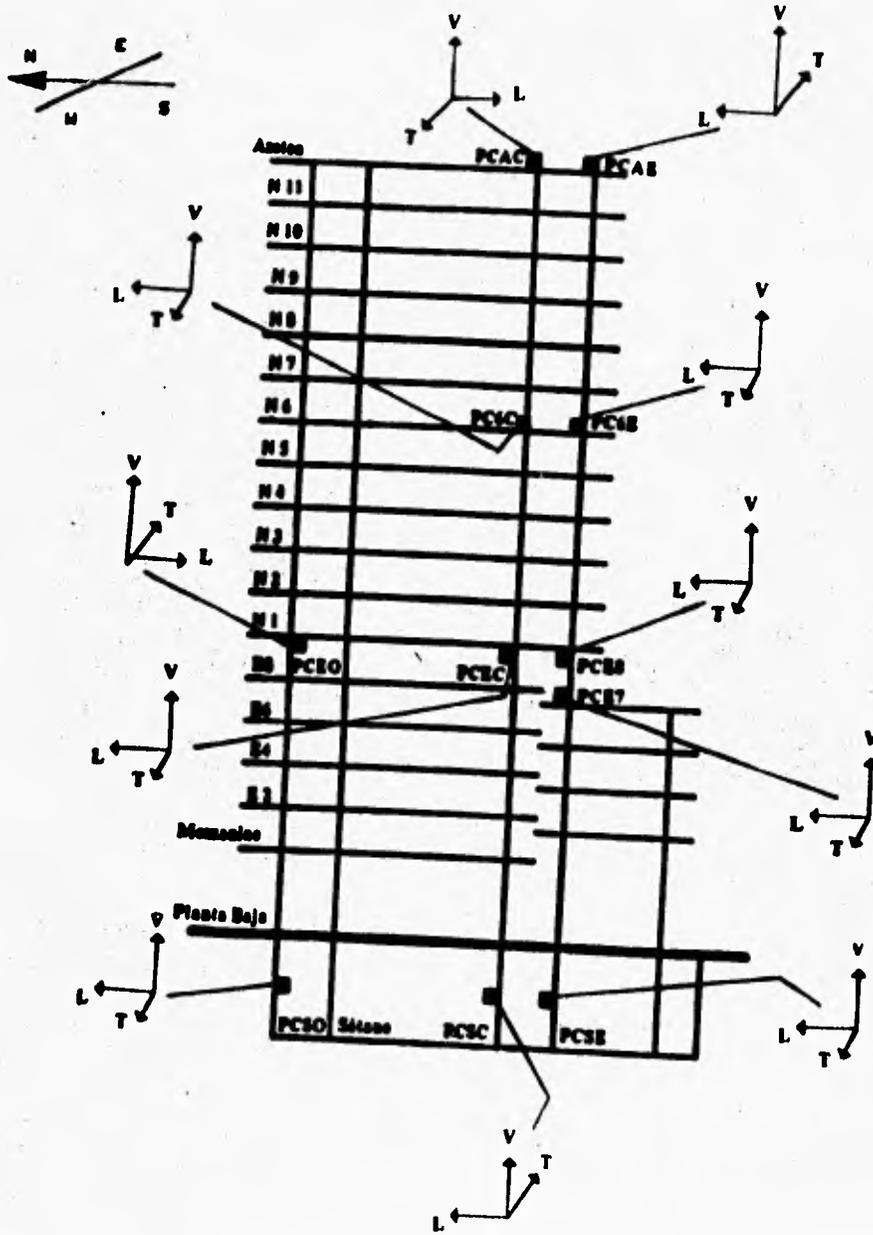


Figura 4. Ubicación de los acelerógrafos y la orientación de los sensores en el edificio Plaza Cordoba.

2.3.2 Metro Juárez

16

El segundo edificio seleccionado es el ubicado en la estación del Metro Juárez localizado en la calle de Balderas entre Av. Juárez y Artículo 123 (fig. 5), en la denominada zona de lago del valle de México. Se trata de una estructura de concreto reforzado en la cual se realizaron pruebas de vibración ambiental, medición de los periodos fundamentales y se recopiló la información de los datos estructurales. Está integrado de planta baja, seis niveles y dos sótanos. Su cimentación consiste de un cajón totalmente compensado, la estructura es regular y está formada por marcos de concreto en ambas direcciones y losa reticular (fig. 6).

En el se han instalado 5 acelerógrafos digitales cuya distribución se muestra en la figura 7 y en la tabla 2 se presentan las clave asignadas. Un aparato se localiza en la parte central del edificio, en el sótano de la estación del metro (MJSE), dos más se encuentran en la planta baja (MJBE y MJBO), los dos restantes en la azotea (MJAC y MJAE). El aparato MJAE es el que funciona como maestro. La distribución de los equipos permitirá conocer la torsión que experimente el edificio, en la cimentación y en la azotea; y además se podrá determinar el efecto de amplificación de los movimientos con la altura. Cabe mencionar que el aparato colocado en el andén de metro es para conocer la interacción que existe entre el cajón de cimentación del edificio y el del metro (ref. 26).

Al igual que en el edificio Plaza Córdoba los instrumentos se interconectaron entre sí para asegurar marcas de tiempo y señal de arranque comunes. El rango dinámico de los equipos se ha ajustado de tal manera que con la ocurrencia de un sismo cada instrumento sea capaz de grabar el movimiento de manera independiente, en la tabla 3 se presentan los valores del rango dinámico de los equipos localizados en ambos edificios.

RANGO DE LOS SENSORES					
ESTACIÓN	NORTE-SUR (g)	ESTE-OESTE (g)	VERTICAL (g)	UMBRAL DE DISPARO (gal)	
EDIFICIO PLAZA CORDOBA					
				HORZ.	VERT.
PCAE	±2.00	±2.00	±0.50	18.0	4.5
PCAC	±1.00	±1.00	±0.25	6.0	1.5
PC6C*	±1.00	±1.00	±0.25	6.0	1.5
PC6E	±1.00	±1.00	±0.25	6.0	1.5
PCEC	±0.50	±0.50	±0.25	5.0	2.5
PCEO	±0.50	±0.50	±0.25	5.0	2.5
PCE8	±0.50	±0.50	±0.25	5.0	2.5
PCE7	±0.50	±0.50	±0.25	5.0	2.5
PCSC	±0.25	±0.25	±0.25	2.0	2.0
PCSO	±0.25	±0.25	±0.25	2.0	2.0
PCSE	±0.25	±0.25	±0.25	2.0	2.0
EDIFICIO METRO JUÁREZ					
				HORZ.	VERT.
MJAC	±1.00	±1.00	±0.25	8.00	2.50
MJAE*	±1.00	±1.00	±0.25	7.00	2.50
MJBO	±0.25	±0.25	±0.25	2.75	2.75
MJBE	±0.25	±0.25	±0.25	2.50	2.50
MJSE	±0.25	±0.25	±0.25	2.50	2.50
$gal = 1 \text{ cm} / \text{s}^2$ $g = 981 \text{ cm} / \text{s}^2$ * Aparato Maestro.					

TABLA 3. Rango dinámico de los sensores colocados en los Edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez.

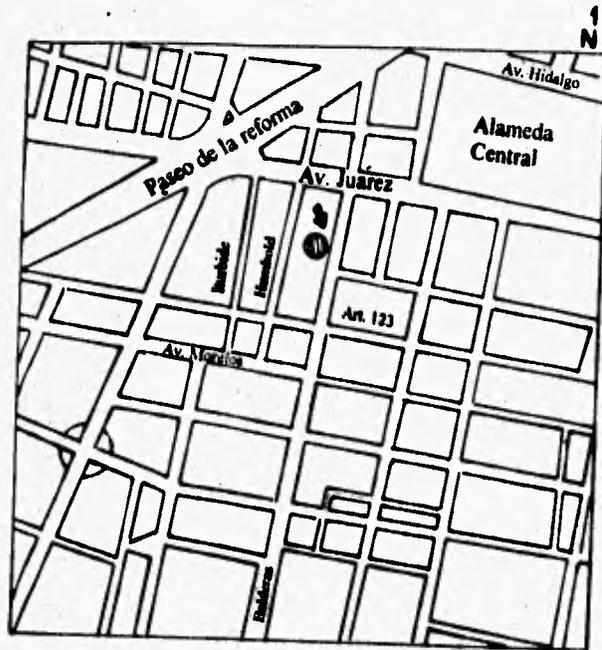


Figura 5. Localización del edificio Metro Juárez.

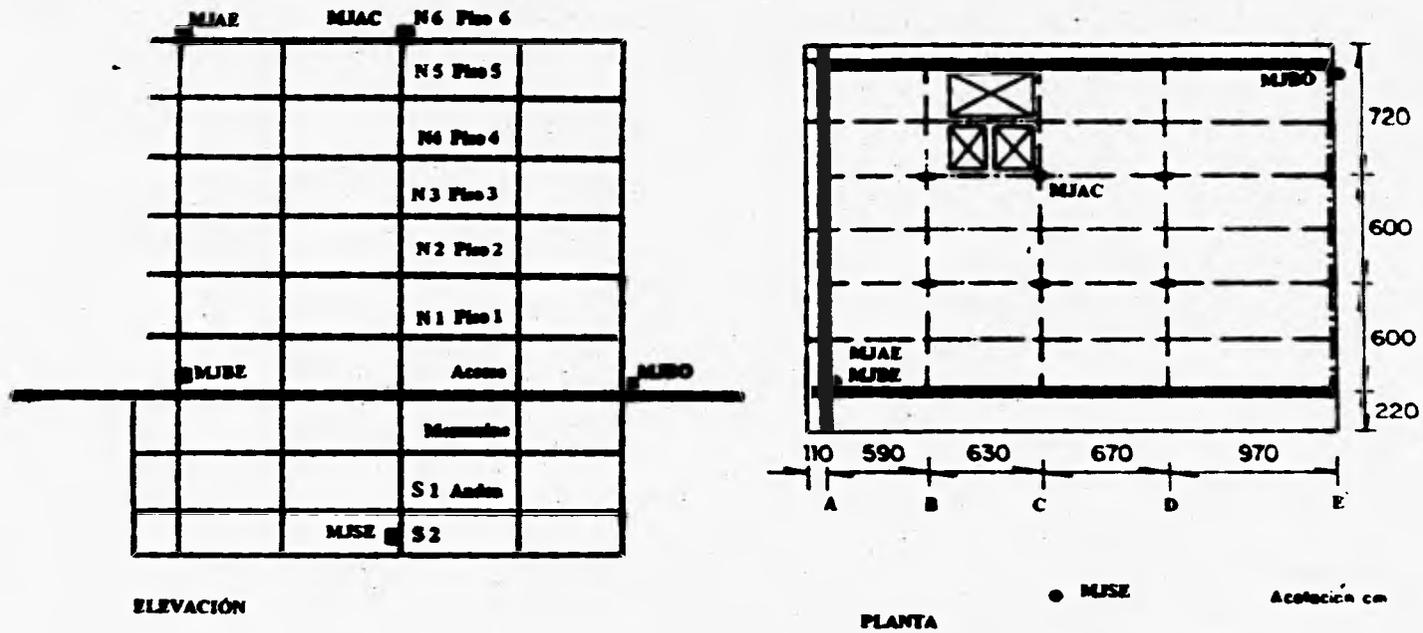


Figura 6. Elevación y Planta del Edificio Metro Juárez. (En los puntos se indica la ubicación y la clave de los acelerógrafos).

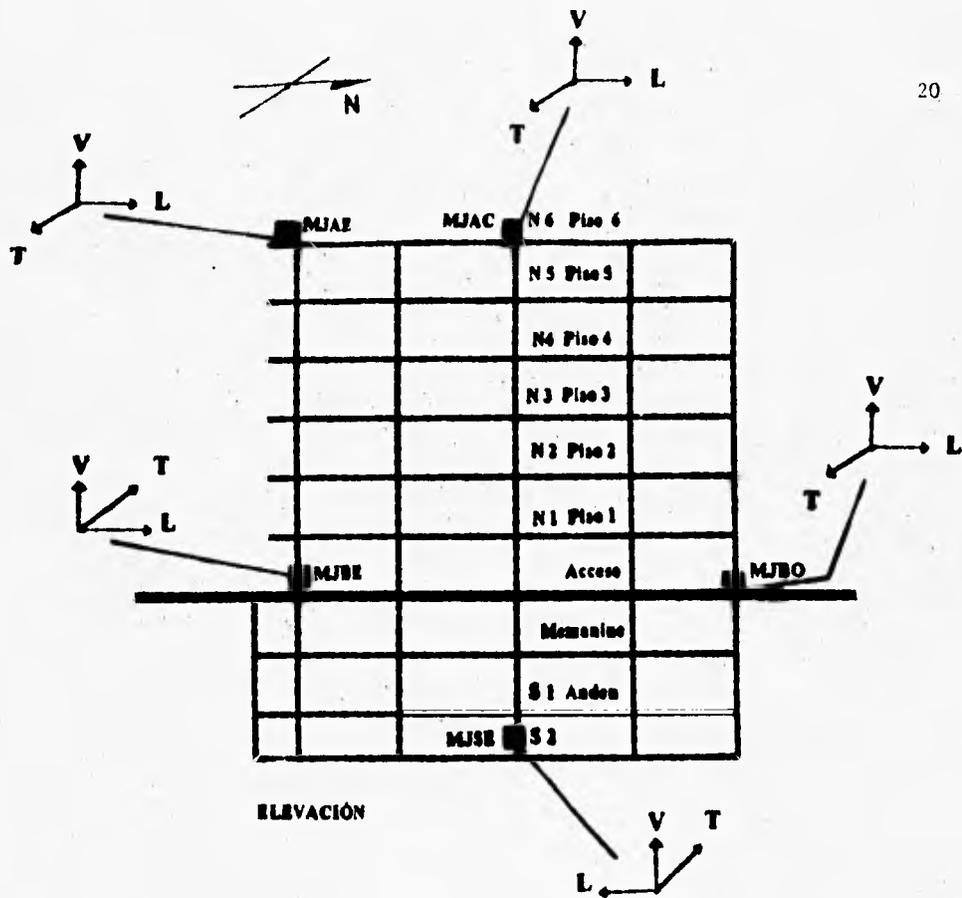


Figura 7. Ubicación de los acelerógrafos y la orientación de los sensores en el edificio Metro Juárez.

2.4 Operación y mantenimiento

21

Debido a que la ocurrencia de los temblores es un proceso aleatorio, es necesario mantener operando de manera ininterrumpida el sistema. Esto hace necesario establecer un riguroso programa de operación y mantenimiento mediante el cual se garantice que los equipos se encuentran en perfecto estado y se tenga la certidumbre de obtener los registros de los sismos que puedan ocurrir.

Los acelerógrafos modernos exigen un frecuente mantenimiento el cual es función del tipo de aparato y principalmente de la experiencia del personal responsable de dichas tareas. Las visitas de mantenimiento a los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez deben sucederse sistemáticamente a intervalos de 15 a 20 días (ref. 24), si se presenta un evento se realizan visitas extraordinarias para recolectar los registros, corregir los tiempos de los relojes y dejar listos los equipos para posibles réplicas.

Por las características tan especiales de los acelerógrafos, la tarea de mantenimiento es vital y dista de ser trivial, como muchas veces pudiera considerarse. De hecho la lista de fracasos y de pérdida de datos son por falta de un mantenimiento adecuado y esta es considerablemente más larga de lo que podría pensarse .

Cada visita implica dos fases, la primera se lleva a cabo en el lugar y consiste esencialmente en inspeccionar la estación, revisar el buen funcionamiento de los aparatos, verificar el suministro de corriente eléctrica, la operación de los sensores, el control de despliegue de datos en el visualizador numérico, la lectura del tiempo real, los niveles de offset, observar si existen glitches, que los umbrales de disparo sean los correctos y comprobar que el conjunto funcione correctamente. Esto último se logra satisfactoriamente al completarse la segunda fase realizada en el laboratorio, que consiste en el proceso de los registros obtenidos.

3. REGISTROS OBTENIDOS Y PROCESAMIENTO

Después de cinco años de operación de la red acelerográfica del edificio Plaza Córdoba y cuatro años de la del edificio Metro Juárez, se han obtenido 361 registros de aceleración de tres componentes ortogonales cada uno (2 horizontales y 1 vertical), al procesar las componentes de cada una de las estaciones tenemos como resultado 1083 acelerogramas, tal como se muestra en la tabla 4. Se presenta la fecha del sismo, hora de ocurrencia (hora del meridiano de Greenwich), magnitud de Coda (ref. 25), coordenadas epicentrales y las estaciones que registraron los eventos. En el transcurso de septiembre de 1989 a octubre de 1994 se han logrado registrar 60 eventos sísmicos en el edificio Plaza Córdoba y 15 en el Metro Juárez, cuyas magnitudes varían desde 4 (el menor ocurrido de 27 de octubre de 1991) hasta 6.7 (el mayor ocurrido el 24 de octubre de 1993); debido a la magnitud y distancia epicentral no siempre se cuenta con registro en todas las estaciones.

De la relación de registros, destacan los obtenidos en el edificio Plaza Córdoba el 11 de mayo de 1990, 31 de mayo de 1990 y 24 de octubre de 1993 cuyas aceleraciones respectivas fueron de 24, 35 y 90 gales; esta última generada en la azotea este (PCAE) era la máxima aceleración registrada por el sistema, sin embargo el evento del 10 de diciembre de 1994 (no incluido en el trabajo) generó en el mismo sitio 180 gales.

FECHA SISMO (dd/mm/aa)	HORA TGM (hh:mm:ss)	M	EPICENTRO LAT(N) - LONG(W)	E	ESTACIONES
160989	23:21:27.8	5.3	17.40,96.30	A	PCAC PCEO PCEC
				B	PCEO
081089	22:32:39	5.0	17.137,100.183	A	PC6C PC6E PCAC PCEC
				B	PC6C PCAC
091189	08:36:44	5.1	17.042,99.463	A	PC6C PCAC PCE7 PCE8 PCEC PCEO PCSC PCSO
130190	02:07:21.0	5.0	16.55,99.43	A	PCAC PCE7 PCE8 PCEO PC6E PCSE PCSC PCEC PCSO
				B	PCE8 PC6E PCSE PCSC PCSO PCEC PCEO
290190	02:41:15.0	4.6	18.07,102.83	A	PC6E
				B	PC6E
170290	01:24:11	4.8	14.92,97.18	A	PC6E PCSO
				B	PC6E
230390	13:50:40	4.7	15.64,96.03	A	PCAE
				B	PCAE
				C	PCAE
110590	23:43:45.0	5.0	17.07,100.94	A	PCSC PCSO PCSE PCE7 PCE8 PCEC PC6C PC6E PCAC PCAE
				B	PCSC PCE7 PCEC PC6C PC6E PCAE
190590	13:37:24.9	5.1	16.39,101.98	A	PCSE PCSO PCSC PCEC PCEO PCE7 PC6C PC6E PCAC
310590	07:35:27.0	5.4	17.26,100.70	A	PCSC PCSE PCSO PCE7 PCEC PCE8 PCEO PC6C PC6E PCAC PCAE
010491	07:34:42.8	5.3	15.56,98.34	A	PCSO PCAC PCE7 PCSC PCE8 PC6C PCEO PCSE PCAE PC6E MIJSE
070491	09:39:25.2	5.1	15.46,97.02	A	PCSE PCSO PCSC PCAE
				B	PCAE
250791	15:25:49.4	5.2	18.17,96.59	A	PCSE PCEO PCE7 PC6C PCAC PCAE PCE8 PC6E PCEC
				B	PCSE PCEO PCE7 PC6C PCAC PCAE PCE8 PC6E PCEC
				C	PCSE PCEO PCE7 PC6C PCAC PCAE PCE8 PC6E PCEC
				D	PCSE

TGM = Tiempo del meridiano de Greenwich
M = Magnitud de Coda
E = Evento

Tabla 4. Registros obtenidos en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez

FECHA SISMO	HORA TGM (hh:mm:ss)	M	EPICENTRO LAT(N) - LONG(W)	E	ESTACIONES
271091	18:57:13.6	4.0	18.27,98.86	A	PCSC PCSE PCAE PC6E
241191	03:46:49.5	5.	14.90,97.60	A	PCE8 PC6C PC6E PCAC PCAE PCEO PCE7 PCSE PCSO PCSC
260192	04:38:59.42	4.5	16.21,97.95	A	PCSC PCSE PCSO PCAE
120292	11:59:51.6	5	17.28,101.71	A	PCSE PCSO PCEC PCE8 PCEO PC6C PC6E PCAC PCE7
310392	20:56:25.94	4.8	16.08,100.87	A	PCE8 PCEC PCEO PC6C PCE7 MJBO MJBE MJAC
010492	00:31:48.08	5.0	17.52,101.30	A	PCSO MJBO MJAC MJBE
130592	21:32:16.52	4.7	16.43,97.725	A	PCSC PCAE MJAE MJBE MJAC MJBE
				B	MJAE MJBE MJBE
110393	20:44:08.86	4.7	18.67,101.14	A	PC6C PCAC PCSO PCSE PCSC PCAE PC6E PCEC PCE8
310393	10:18:03	5.0	16.63,101.55	A	PC6C PCSO PCSC PCAC PCEC PCAE PCE8 PCSE PCEO
				B	PC6C
150593	03:09:33.8	5.7	16.17,98.35	A	PCAC PC6C PCSO PCAE PCSE PC6E PCE7 PCE8 PCEC PCEO PCSC
				B	PCAC PC6C PCSO PCAE PCSE
				C	PC6C PCSO PCAE PCSE
290793	20:17:13.92	4.6	18.13,100.00	A	PCSO PCAC PCAE PCSE PCSC PC6C PCE8 PCEO PCE7 PCEC PC6E
050893	01:21:31.59	5.6	15.00,98.41	A	PCSC PC6C PCE8 PCEO PCAE PCSE PC6E PCAC PCSO PCE7
030993	12:35:37.53	4.3	18.37,97.02	A	PCAE PCAC PCSE PCSO PCE8 PC6E PC6C PCSC PCEC PCE7 MJSE MJBO MJBE
				B	PC6E
<p>TGM = Tiempo del meridiano de Greenwich M = Magnitud de Coda E = Evento</p>					

Tabla 4. (Continuación)

FECHA SISMO (dd/mm/aa)	HORA TGM (hh:mm:ss)	M	EPICENTRO LAT(N) - LONG(W)	E	ESTACIONES
100993	10:51:56.31	4.1	17.76,102.90	A	PCAE PCSE PCAC PCSO PCE8 PC6E PC6C PCEC PCE7
				B	PCAE PCSE PCAC PCSO PCE8 PC6E PC6C PCEC PCE7 MJSE MJBO MJBE MJAC
				C	PCAE MJBO MJBE
				D	PCAE
190993	14:10:57.00	6.1	14.30,93.20	A	PCAE
241093	07:52:23.21	6.7	16.41,98.83	A	PC6E PCE8 PCSO PCAC PCAE PCSC PCEO PCE7 PCEC PCSE PC6C MJAE MJBO MJAC MJBE
				B	MJBO
131193	00:18:43.16	5.3	15.63,99.2	A	PCSO PC6E PC8C PCE7 PC6C PCE8 PCEO PCEC PCAE PCSE PCAC MJSE
230294	14:13:50.9	5.3	17.73,97.37	A	PCSC PCSE PCSO PCE7 PCE8 PCEC PCEO PC6C PC6E PCAE MJSE MJBE MJAE MJAC
				B	PC8C PCSE PCSO PCAE MJSE MJBE MJAC
				C	PCAE
				D	PCAE
140394	20:51:32.5	6.5	15.67,93.01	A	PCSO PCSE PCSC PCE7 PCE8 PCAE PCEC PCEO PC6E PC6C MJSE MJBE MJBO MJAC
				B	PCE7 PCE8 PCEC PCEO PC6C
230594	1:41:46.0	5.6	18.03,100.57	A	PCSC PCSO PCSE PCE7 PCEO PCEC PCE8 PC6E PCAC PCAE MJSE MJBO MJAE MJAC
040794	21:36:43.8	5.9	14.83,97.29	A	PC6E PCAE
				B	PCAE
<p>TGM - Tiempo del meridiano de Greenwich M - Magnitud de Coda E - Evento</p>					

Tabla 4. (Continuación)

3.1 Procesamiento básico

26

Después de los daños provocados por los sismos de 1985 en la Ciudad de México, se hizo indispensable aumentar el número de equipos que registraran las aceleraciones tanto en el terreno natural como en las estructuras. Esto propició un aumento en los últimos años en la cantidad de registros obtenidos, saturando los sistemas utilizados para su proceso, por lo que se hizo necesaria la búsqueda de otras opciones que aumentaran calidad, capacidad y disminuyeran el tiempo de proceso. Mediante la utilización de equipos personales de cómputo se ha buscado satisfacer estas necesidades, por lo que se tuvieron que rediseñar los procesos y reprogramar paquetes que hicieran compatible la utilización de computadoras personales con paqueterías previamente desarrolladas (ref. 11). El proceso que se realiza en las computadoras presenta los acelerogramas de manera concisa y útil filtrando datos innecesarios y reteniendo aquellos que describan el movimiento con mayor exactitud. Para el procesamiento de la información se utilizó el sistema SPA (ref. 6) con el cual se obtienen: historia de aceleraciones, espectros de Fourier, corrección de línea instrumental y de línea base y funciones de transferencia.

3.1.1 Historia de aceleraciones

De los sismos ocurridos en 1989 hasta el 1 de diciembre de 1994, destacan 4 por las aceleraciones que generaron, las fechas son: 11 de mayo de 1990, 31 de mayo del mismo año, 1 de abril de 1991 y 24 de octubre de 1993. En la tabla 5 se muestran las aceleraciones que se presentaron en la parte central de los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez respectivamente.

ESTACIÓN	ACELERACIÓN MÁXIMA ABSOLUTA EN GALES			
	11 MAYO 1990	31 MAYO 1990	1 ABRIL 1991	24 OCTUBRE 1993
PCAE	19.61	35.40	15.79	90.00
PCGE	11.00	20.08	11.00	59.40
PCEC	5.74	12.92	*	22.74
PCSE	3.71	7.00	3.35	15.00
MJAC	*	*	*	24.43
MJAE	*	*	*	20.60
MJBO	*	*	*	8.38
MJBE	*	*	*	8.00
MJSE	*	*	2.27	7.30
* EVENTO NO REGISTRADO				

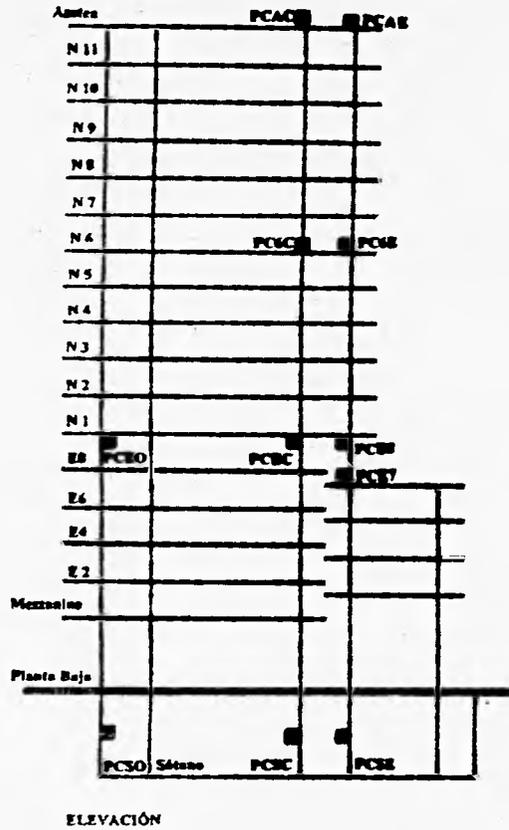
Tabla 5 . Aceleraciones máximas registradas en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez.

Otra de las características a considerar de un acelerograma es su duración para lo cual se presenta la tabla 6, en donde se relaciona la clave de la estación con el tiempo de registro en segundos. Nótese que la duración de los registros del 1 de abril 1991 y del sismo del 24 octubre de 1993 en la estación PCAE varia de 216 a 272 seg. Esto es 1.25 veces, mientras que para las mismas fechas en la estación MJSE tuvieron una diferencia del 12.75 veces la duración del registro, es claro que la duración depende de algunos factores como son la localización del epicentro, distancia de este a la Ciudad de México, magnitud, además cabe aclarar que la magnitud de cada del sismo del 1 de abril de 1991 fue de 5 y la del 24 de octubre de 1993 fue de 6.7, localizándose el epicentro de los dos sismos frente a las costas de Guerrero.

ESTACIÓN	DURACIÓN			
	(segundos)			
	11 MAYO 1990	31 MAYO 1990	1 ABRIL 1991	24 OCTUBRE 1993
PCAE	216	150	117	272
PCGE	124	288	117	263
PCEC	123	291	*	262
PCSE	208	292	114	262
MJAC	*	*	*	144
MJAE	*	*	*	126
MJBO	*	*	*	170
MJBE	*	*	*	170
MJSE	*	*	15.2	194
* EVENTO NO REGISTRADO				

Tabla 6. Duración de los registros obtenidos en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez.

El resultado del proceso de los datos se presenta en las figuras 8 a 19, se indica la fecha, localización, orientación del sensor, aceleración y duración. Nótese que los registros en las azoteas son los que presentan las mayores amplitudes del movimiento, esto es debido a la amplificación que con la altura sufren las ondas al llegar a la estructura. Se observa claramente para el evento del 24 de octubre de 1993 que las ondas se amplificaron del PCSE a PCAE en 5.28 veces en el edificio Plaza Córdoba, mientras que en el Metro Juárez de MJSE a MJAC solo se amplificaron 3.34 veces.



ELEVACIÓN

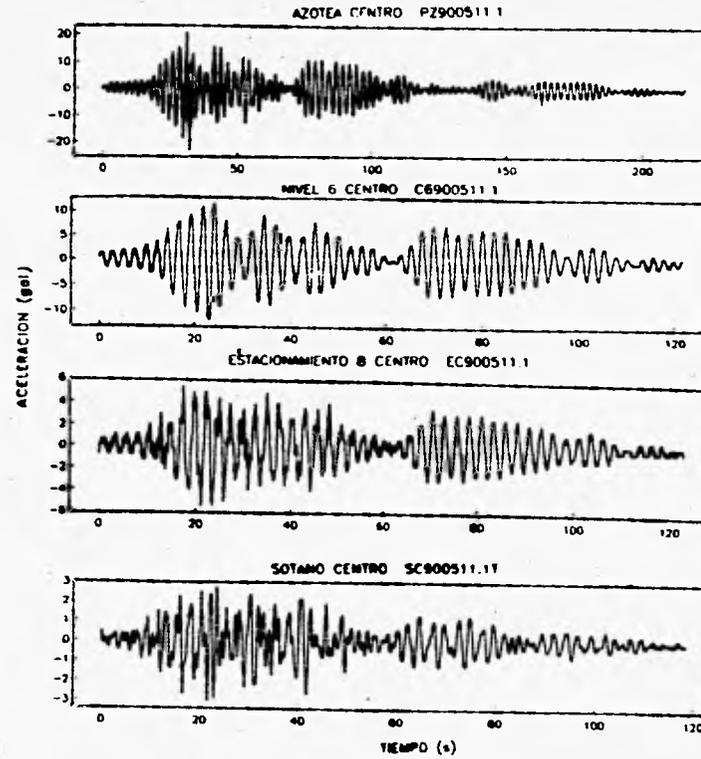


Figura 8. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Norte-Sur, del Temblor del 11 de mayo de 1990, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

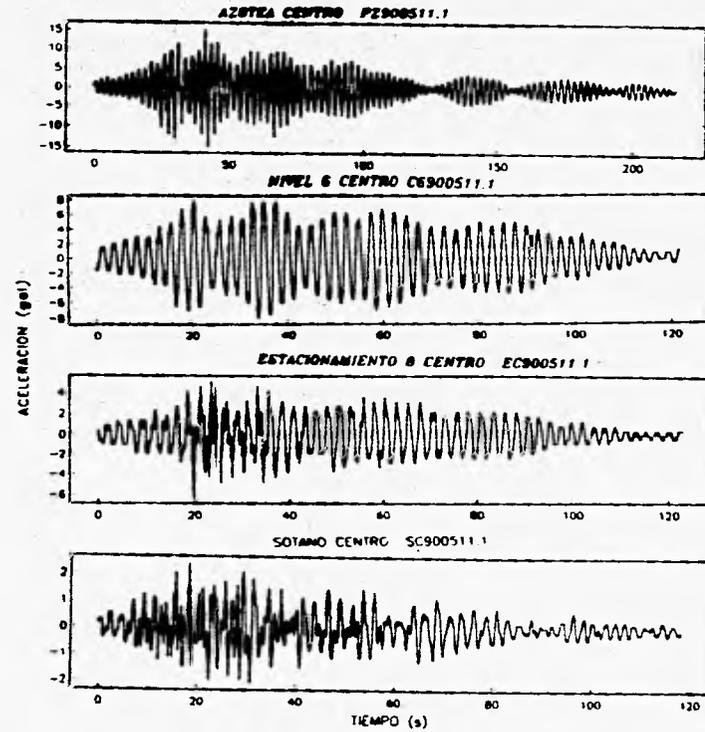
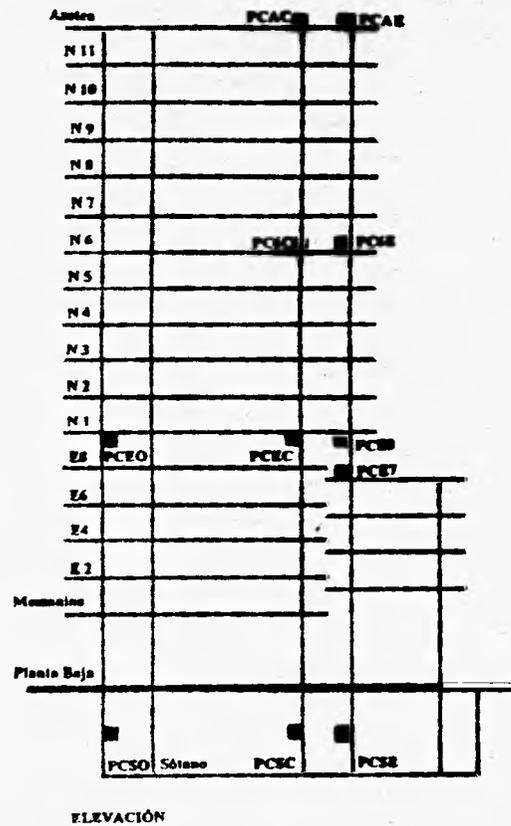


Figura 9. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Este-Oeste, del Temblor del 11 de mayo de 1990, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

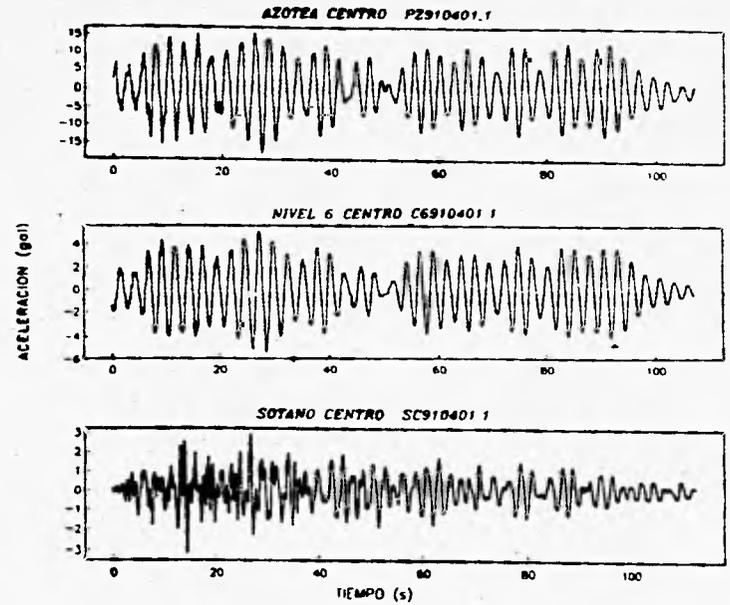
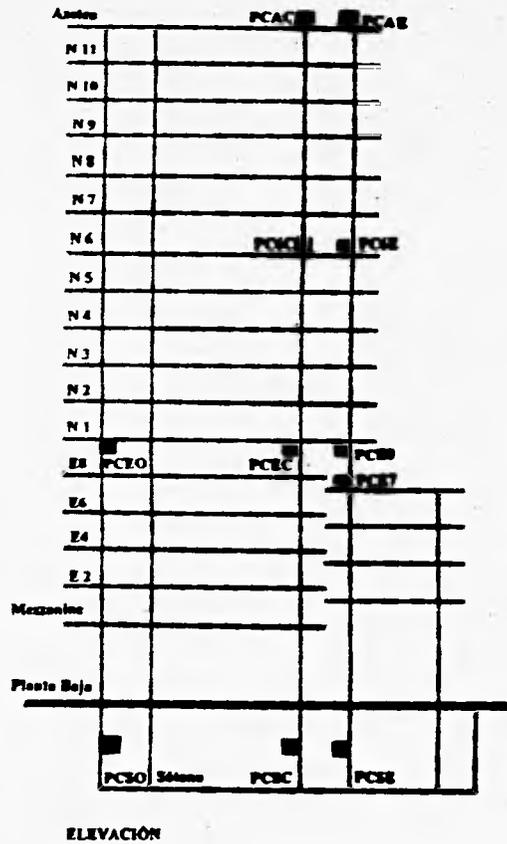


Figura 10. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Norte-Sur, del Temblor del 1 de abril de 1991, en las estaciones PCAC, PC6C y PC6S.

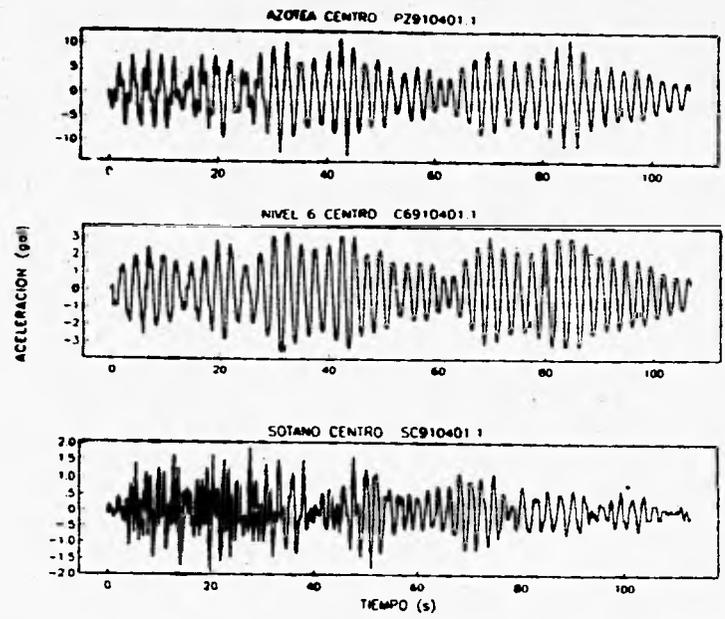
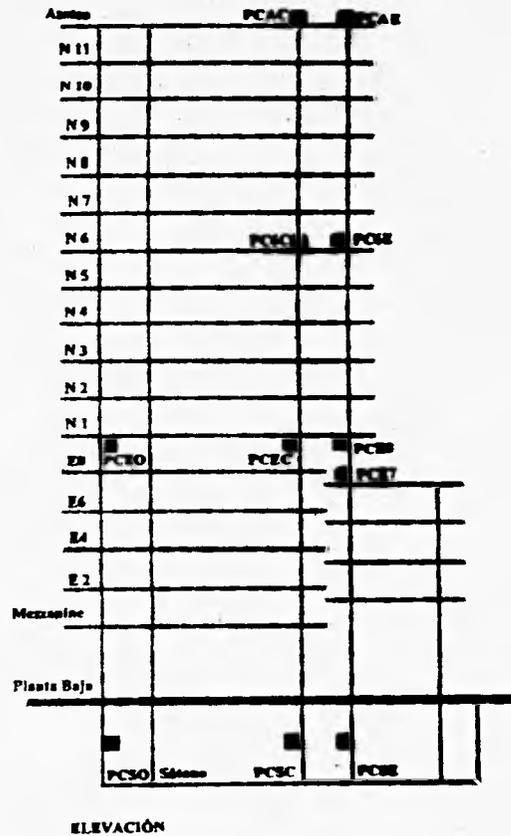


Figura 11. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Este-Oeste, del Temblor del 1 de abril de 1991, en las estaciones PCAC, PC6C y PCSC.

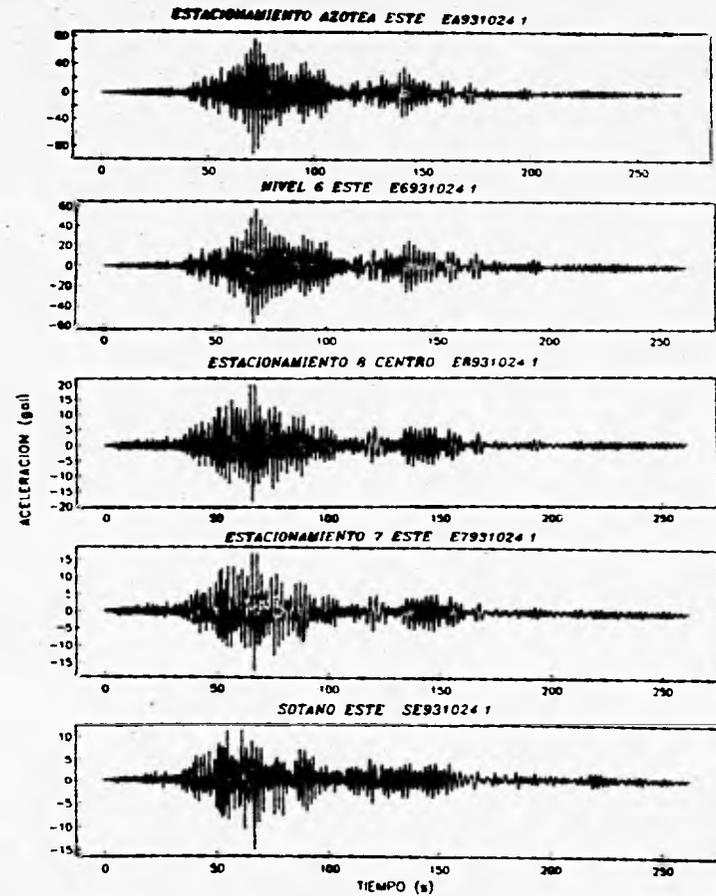
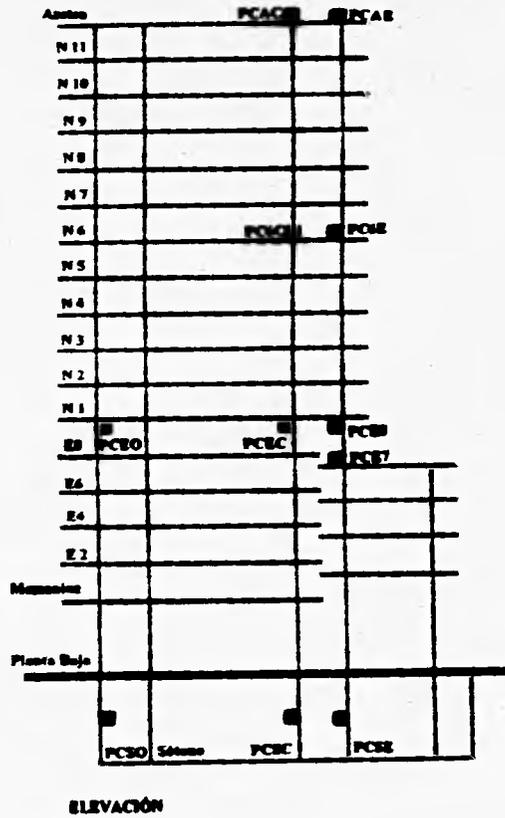


Figura 12. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Norte-Sur, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAE, PC6E, PC8E y PCSE.

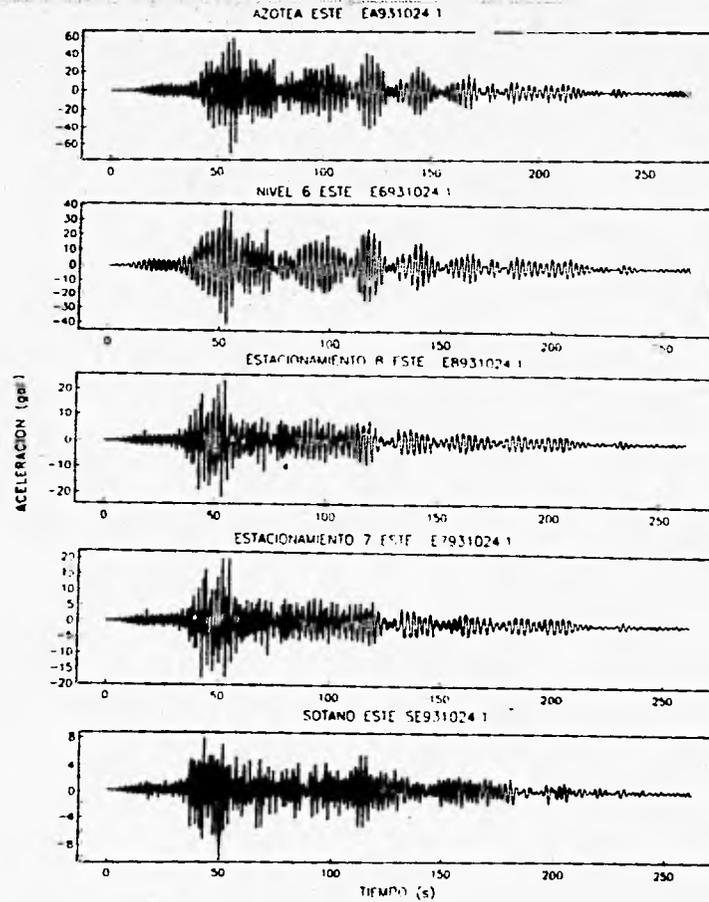
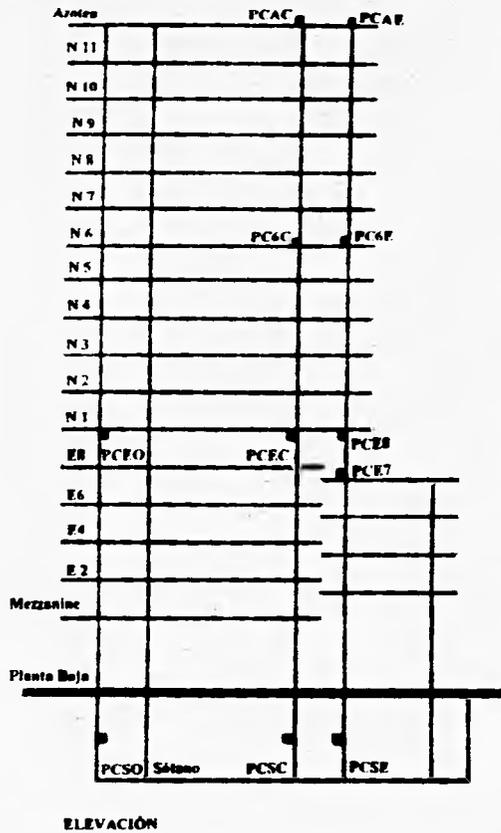


Figura 13. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Este-Oeste, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAE, PC6E, PCE8 y PCSE.

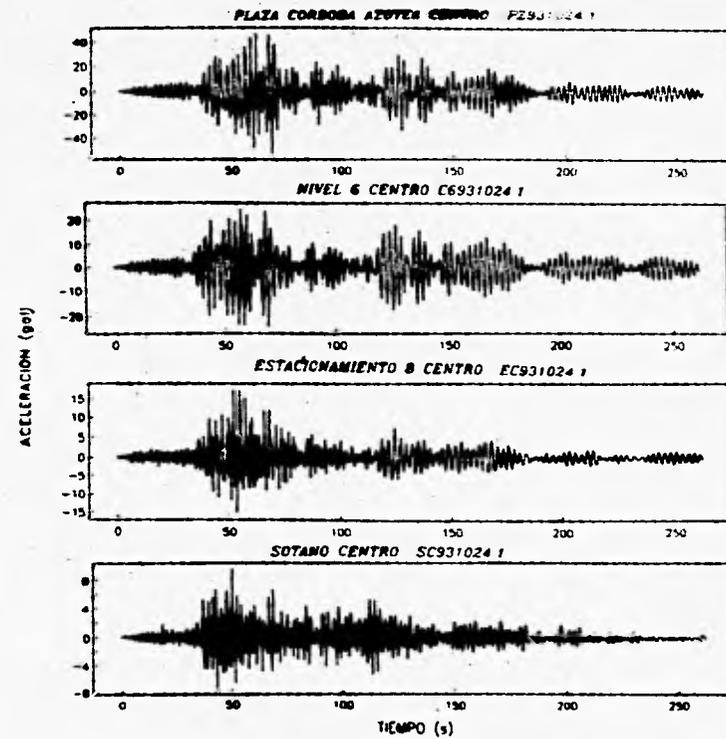
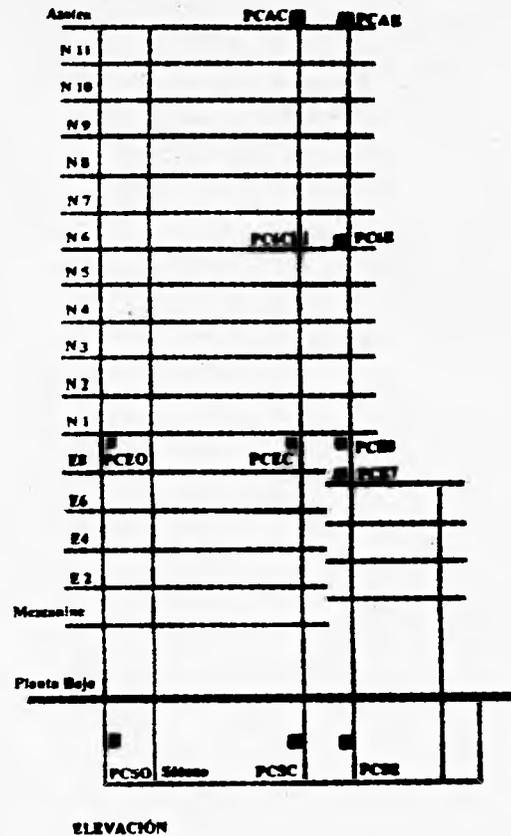


Figura 14. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Norte-Sur, del Tumbor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

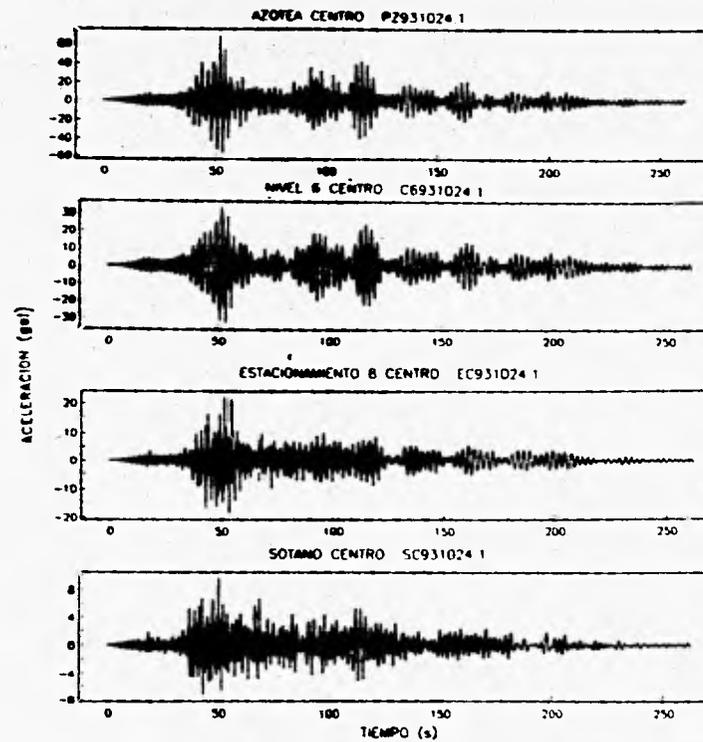
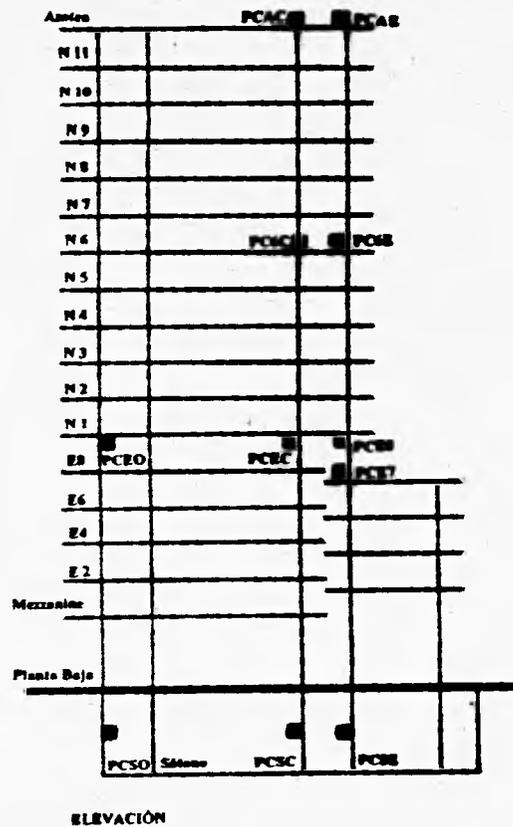


Figura 15. Registros obtenidos en el edificio Plaza Córdoba, dirección Este-Oeste, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

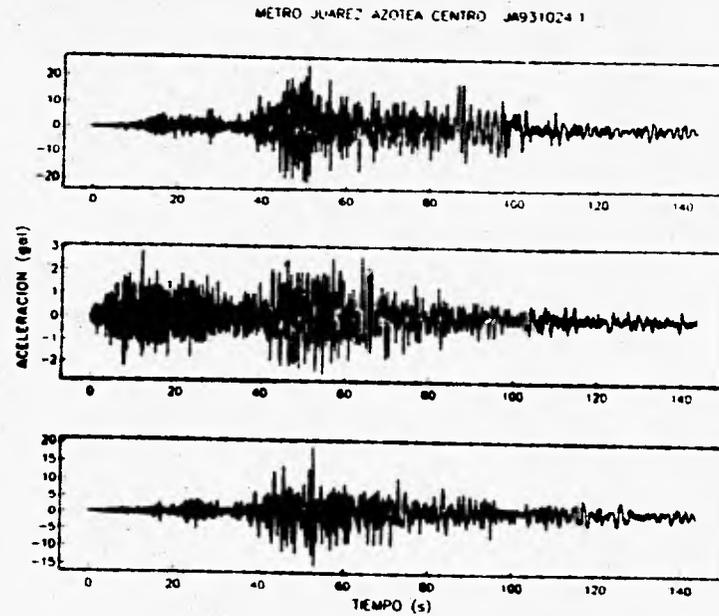
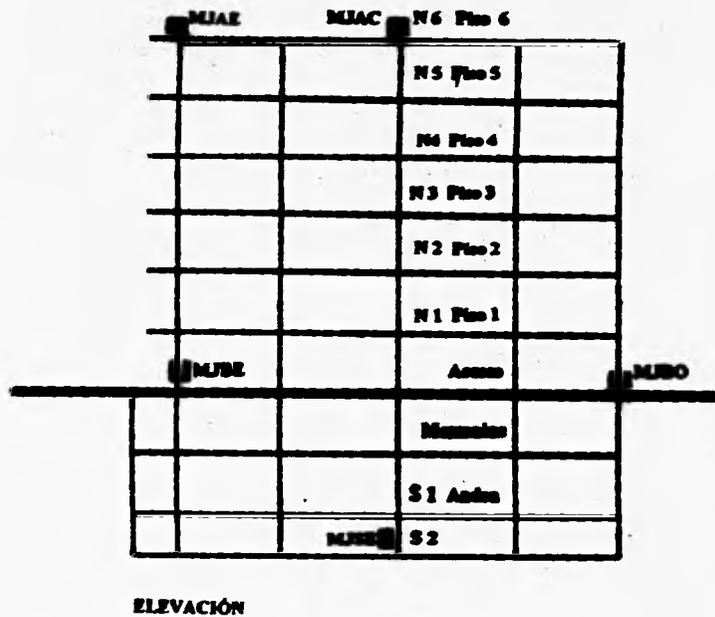


Figura 16. Registros obtenidos en el edificio Metro Juárez, en las tres direcciones, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en la estación MJAC.

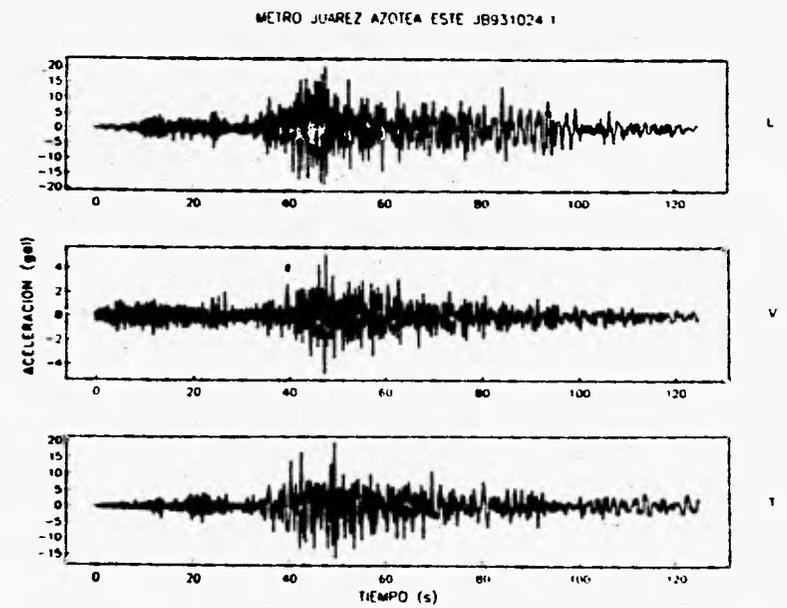
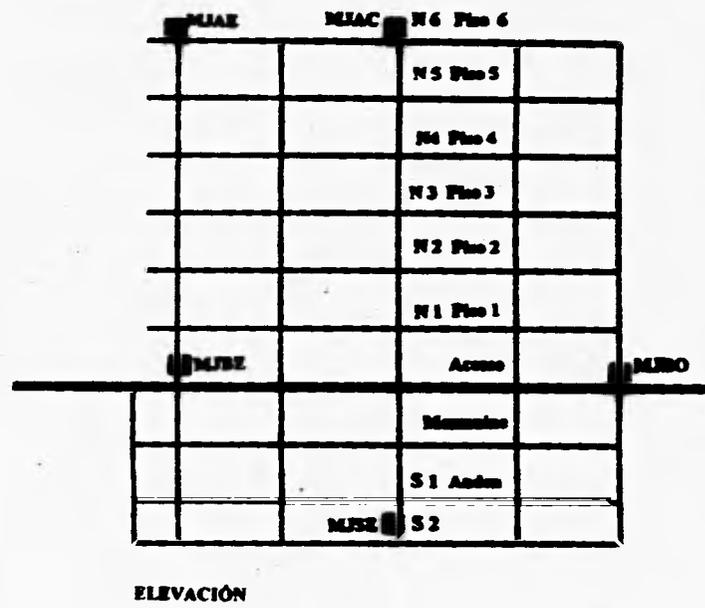
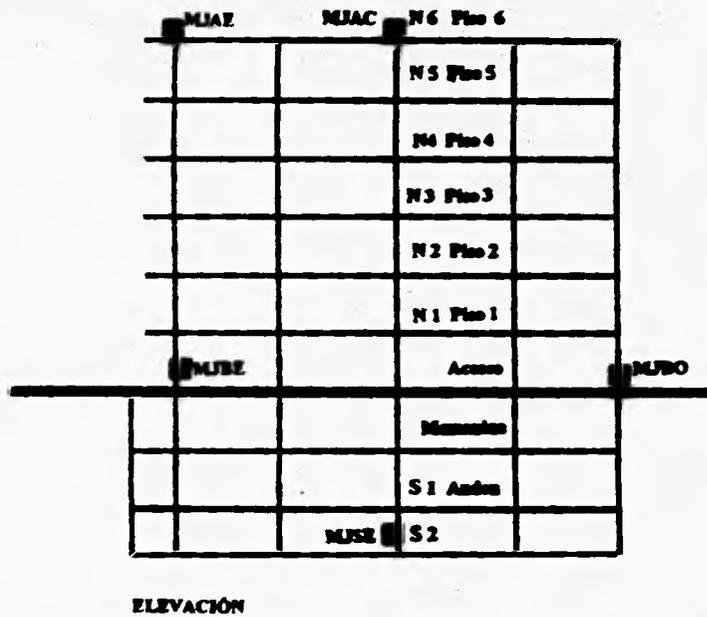


Figura 17. Registros obtenidos en el edificio Metro Juárez , en las tres direcciones, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en la estación MJAE.



METRO JUÁREZ PLANTA BAJA OESTE J0931024.1

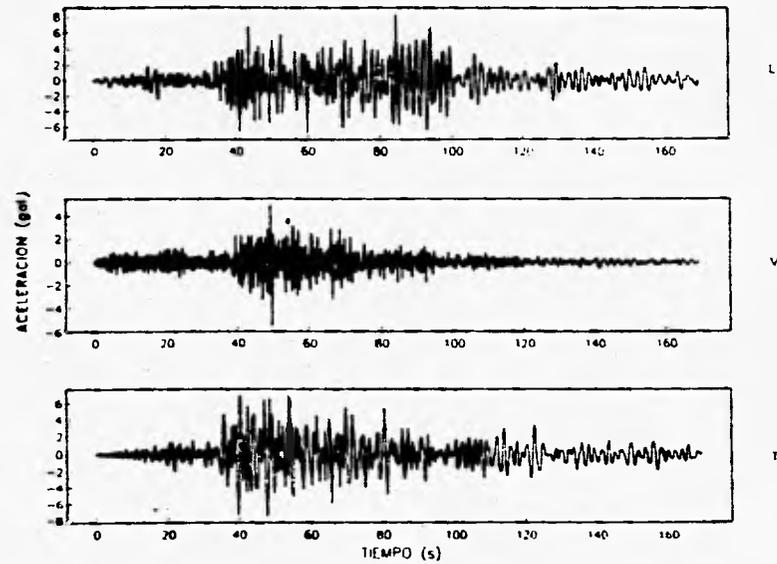


Figura 18. Registros obtenidos en el edificio Metro Juárez, en las tres direcciones, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en la estación MJBO.

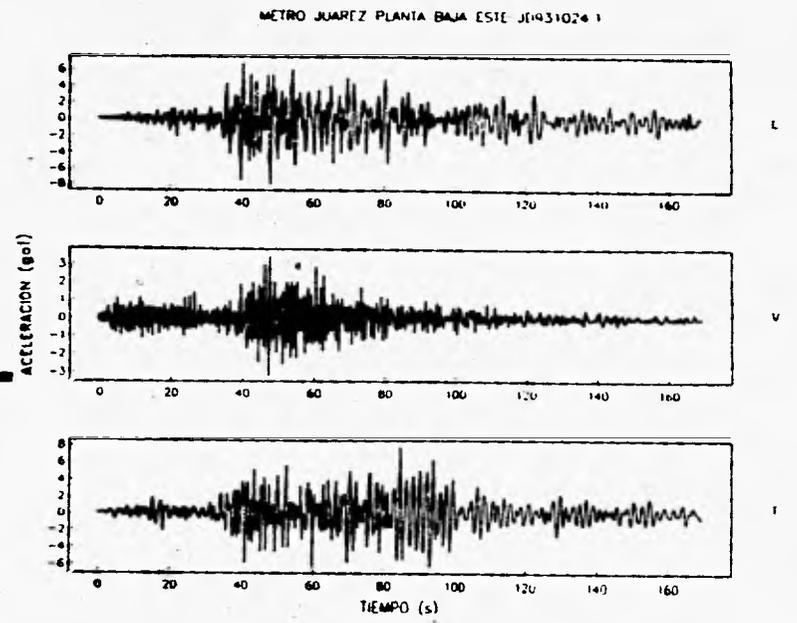
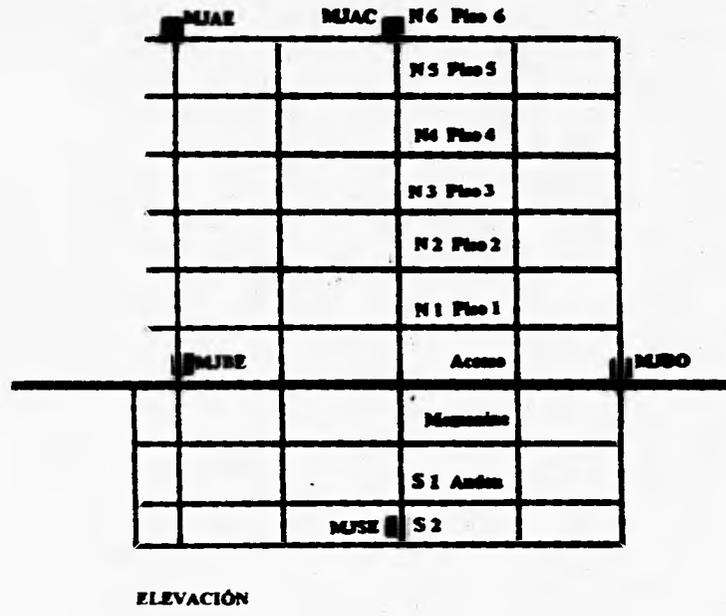


Figura 19. Registros obtenidos en el edificio Metro Juárez , en las tres direcciones, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en la estación MJBE.

3.1.2 Espectros de Fourier

Los acelerogramas presentados anteriormente son de gran utilidad en la ingeniería, ya que si se conocen las aceleraciones del terreno es posible estimar las fuerzas de inercia que se generan en la base de las estructuras. No obstante para un mejor análisis, es necesario el uso de algún tipo de herramienta que permita visualizar la información registrada en forma espectral.

La transformada de Fourier es desde hace tiempo una de las herramientas matemáticas más valiosas, con la cual es posible encontrar la relación que existe entre el dominio del tiempo y el de la frecuencia en una señal. Sin embargo, aún con las velocidades de cálculo que pueden alcanzarse con las computadoras modernas, la transformada discreta de Fourier (DFT) no es un proceso óptimo debido al exorbitante tiempo de máquina que se requiere para su estimación. Debido al avance tecnológico de las computadoras personales y con la ayuda de un algoritmo publicado por Coley y Tukey en 1965, capaz de calcular la Transformada discreta de Fourier de manera eficiente y rápida, se revolucionó el concepto del análisis de series de tiempo; la aplicabilidad de este algoritmo ha alcanzado áreas muy diversas en donde se tiene la necesidad de realizar análisis de datos, o bien procesos que involucren una variable que es función del tiempo (ref. 32). El algoritmo mencionado recibe el nombre de Transformada Rápida de Fourier (FFT).

La representación de señales en el dominio del tiempo a señales en el dominio de la frecuencia se define por medio de la Transformada de Fourier, la operación se simboliza como:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad \text{----- (1)}$$

$F(\omega)$ = Señal en el dominio de la frecuencia.

$f(t)$ = Señal en el dominio del tiempo.

ω = $2\pi\xi$

ξ = Frecuencia en Hz.

t = Tiempo.

j = $\sqrt{-1}$

En general la Transformada de Fourier es una expresión compleja representada por:
 $F(\omega) = R(\omega) + j\chi(\omega)$ / donde $R(\omega)$ es la parte real y $j\chi(\omega)$ es la parte imaginaria.

El espectro de amplitudes de Fourier se define como:

42

$$|F(\omega)| = (R(\omega)^2 + jX(\omega)^2)^{1/2} \text{-----} (2)$$

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt \text{-----} (3)$$

$$X(\omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{sen}(\omega t) dt \text{-----} (4)$$

A la ecuación 2 también se le denomina **Espectro de Fourier** (ref. 27) los cuales se pueden graficar tal como se obtuvieron, pero presentan en su trazo gran cantidad de valores con un importante número de oscilaciones en torno a la tendencia general. En una gráfica logarítmica donde normalmente se presentan los valores de una **Trasformada Rápida de Fourier**, se tendría una gran mancha en la zona de frecuencias mayores a 10 Hz impediría ver la señal con detalle. Para solucionar el problema anterior se aplicó un filtro de un tercio de octava sobre el módulo, sin afectar los puntos donde aparecen los máximos y solo en un pequeño porcentaje, la amplitud de los mismos, esto es lo que se denomina suavizado de un espectro. En las figuras 20 a 23 se presentan los **Espectros de Fourier suavizados** de las estaciones de los edificios **Plaza Córdoba** y **Metro Juárez** obtenidos para el sismo del 24 de octubre de 1993. La frecuencia asociada a la amplitud máxima fue de 0.4, la cual es indicativa del primer modo de vibrar del Edificio **Plaza Córdoba**, para el edificio **Metro Juárez** se tiene que la frecuencia asociada a la amplitud máxima fue de 0.4 Hz, no obstante encontramos otro pico a 1 Hz lo que puede ser indicativo del segundo modo de vibrar en este edificio.

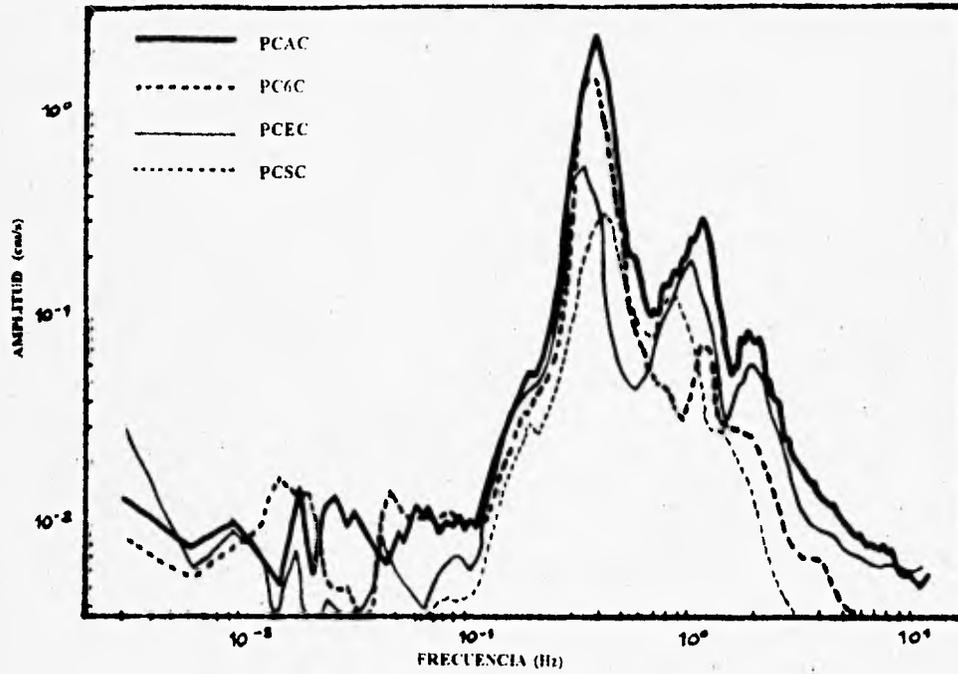
ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

Figura 20. Espectros de Fourier del sismo del 24 de octubre de 1993, en el edificio Plaza Córdoba, dirección E-O.

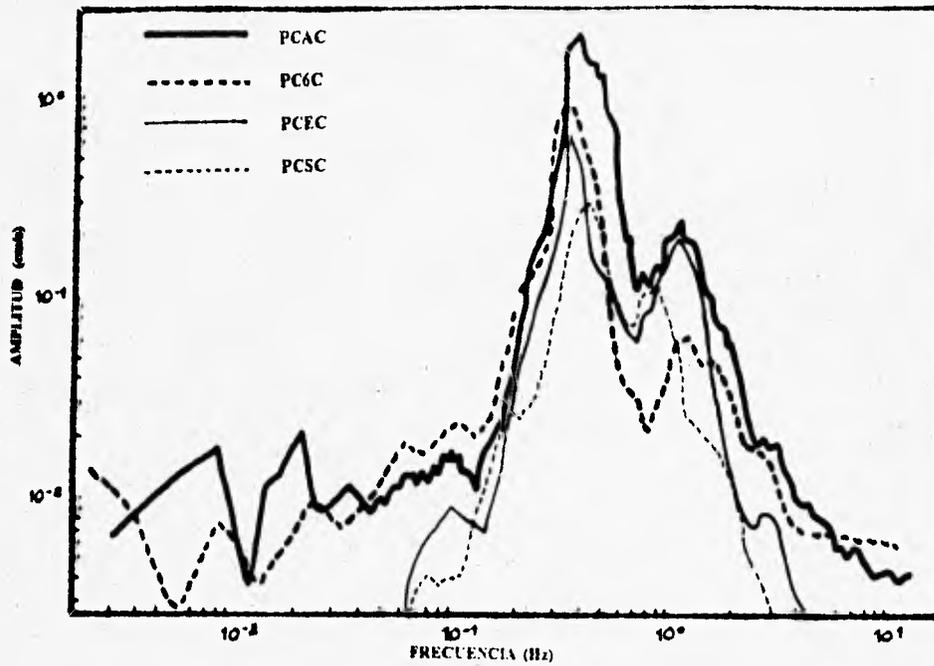
ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

Figura 21. Espectros de Fourier del sismo del 24 de octubre de 1993, en el edificio Plaza Córdoba, dirección N-S.

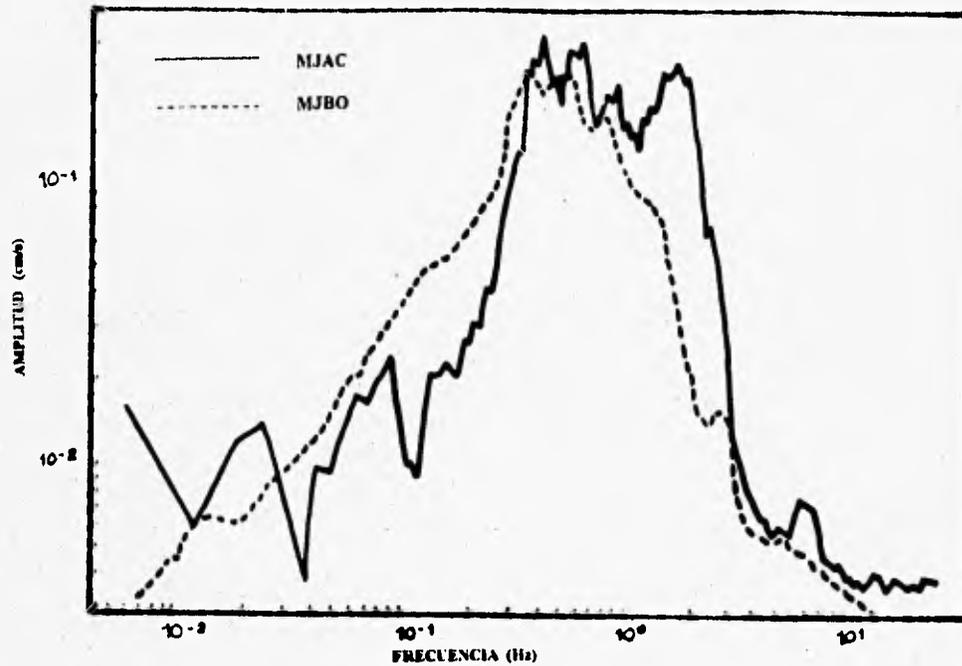
ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

Figura 22. Espectros de Fourier del 24 de octubre de 1993, en el edificio Metro Juárez, dirección N-S.

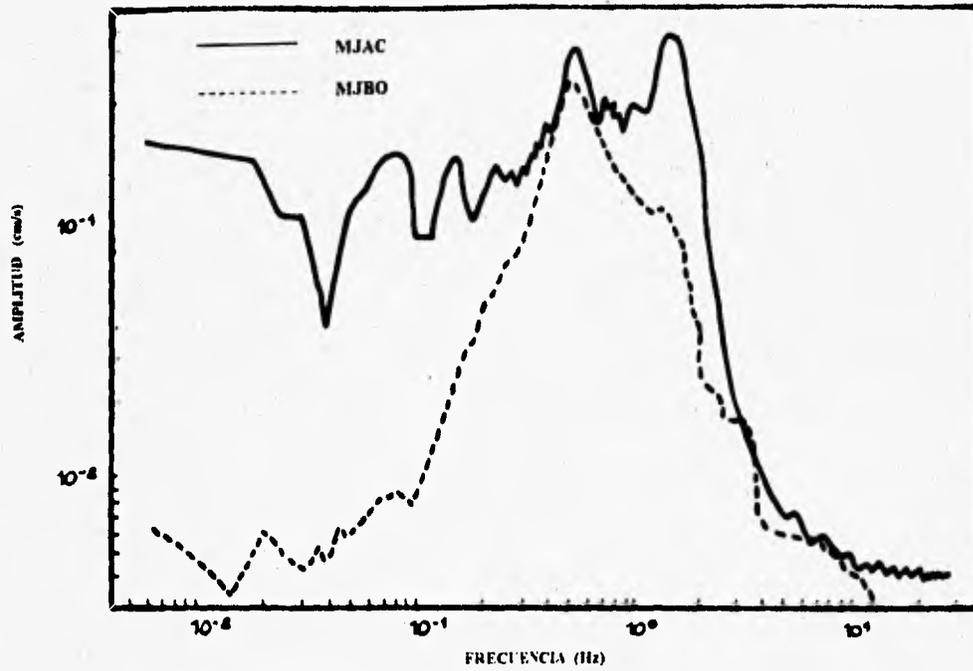
ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

Figura 23. Espectros de Fourier del sismo del 24 de octubre de 1993, en el edificio Metro Juárez, dirección E-O.

3.1.3 Corrección de línea base

Uno de los parámetros de más importancia en el estudio de un acelerograma es la obtención, a partir de estos, de la velocidad y del desplazamiento, lo cual representa uno de los problemas más complejos. Este radica en que se desconoce el valor inicial y final de las variables en estudio debido a: el registro empieza después de iniciado el movimiento en la estructura, la longitud finita del acelerograma, el corrimiento del cero del registro con respecto al cero real de la aceleración. Otra de las causas generadoras del problema que nos ocupa son las distorsiones inducidas por los sensores lo que comúnmente se conoce como ruido. Al respecto se pueden señalar dos tipos: el electrónico, el cual es inducido por el propio equipo (el movimiento de los electrones dentro de los conductores) y el ambiental cuyo origen radica en la actividad humana (caminar o correr), el movimiento de los vehículos automotores o bien el viento. Estos tipos de señales son registrados por los sensores pero se consideran no deseadas ya que no corresponden al fenómeno que se estudia, por estas razones es necesario depurar la señal, es decir, filtrar las señales de baja y alta frecuencia para poder observar únicamente la aceleración provocada por el sismo (ref. 12 y 13).

Después de obtener el espectro de Fourier de amplitud de aceleración, y determinar la frecuencia dominante se aplican los filtros necesarios para poder retener las frecuencias provocadas por el ruido ambiental y por ruido electrónico, teniendo como parámetro que en una señal sísmica tiene una respuesta de amplitud-frecuencia lineal, lo más importante es tener claro el rango de frecuencias que representan el efecto sísmico.

La necesidad de ajustar las aceleraciones a una línea base no es un problema simple, existen varios métodos para corregir un acelerograma para su posterior integración, que nos conducen a valores de velocidad y desplazamiento entre los que destacan: el método de ajuste por mínimos cuadrados y ajuste de polinomios.

En la corrección de los registros se utilizó un algoritmo que permite destacar la señal sísmica con respecto al ruido, es una serie de procedimientos matemáticos, que introducen mínimos y pequeños errores a la señal, pero preferibles a los inducidos por cualquier tipo de ruido, este método se denomina Caltech. El algoritmo fué desarrollado en el Instituto Tecnológico de California en 1960 (ref. 6) y está diseñado para corrección e integración de acelerogramas se basan el filtro de Ormsby cuya tarea principal es quitar todo tipo de frecuencias bajas y altas; La figura 24 (ref. 6) lo ejemplifica.

Para la corrección de un acelerograma se consideran dos partes: la primera es la que quita el ruido inducido por el equipo, que se basa en modelar al acelerógrafo como un sistema de un grado de libertad, es decir se toma en cuenta la respuesta dinámica del sensor, una vez destacada la señal con respecto al ruido, se sitúa la línea base del acelerograma al nivel de donde la aceleración es nula, a partir de esta corrección la aceleración que obtengamos será confiable. El siguiente punto es integrar la aceleración y determinar la velocidad y desplazamiento, si no se realizara esta corrección, lo que obtuviéramos como resultado de la doble integración sería irreal; con esta corrección se busca que el desplazamiento sea una ayuda para el ingeniero estructurista y con base en los resultados obtenidos pueda determinar las fuerzas actuantes en la masa del edificio y con el desplazamiento máximo determinar las fuerzas cortantes inducidas por las columnas a la base del edificio (ref. 16). Las figuras 25 y 26 presentan los acelerogramas corregidos del evento del 24 de octubre de 1993.

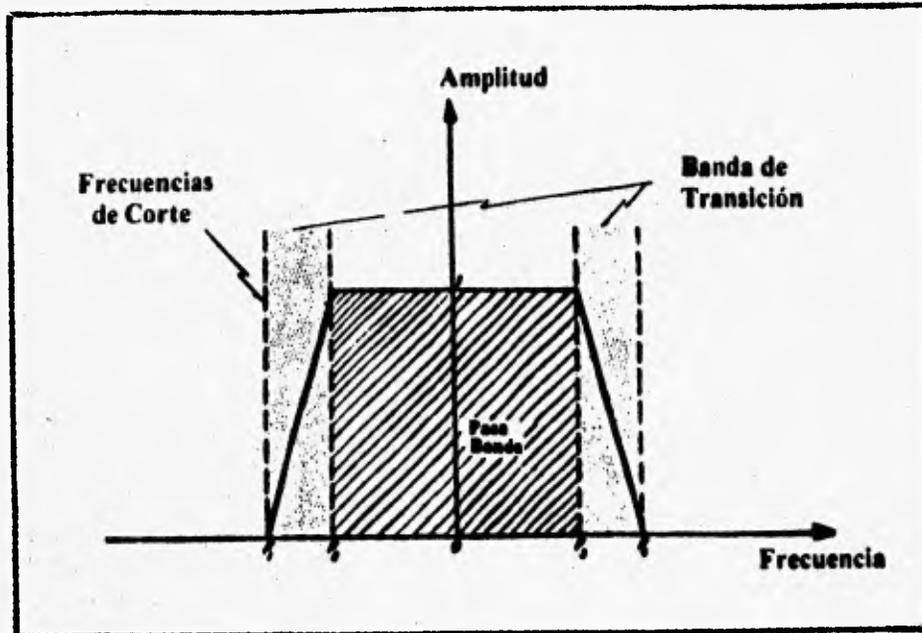


Figura 24. Filtro Digital de Ormsby con frecuencias de corte (ref.6).

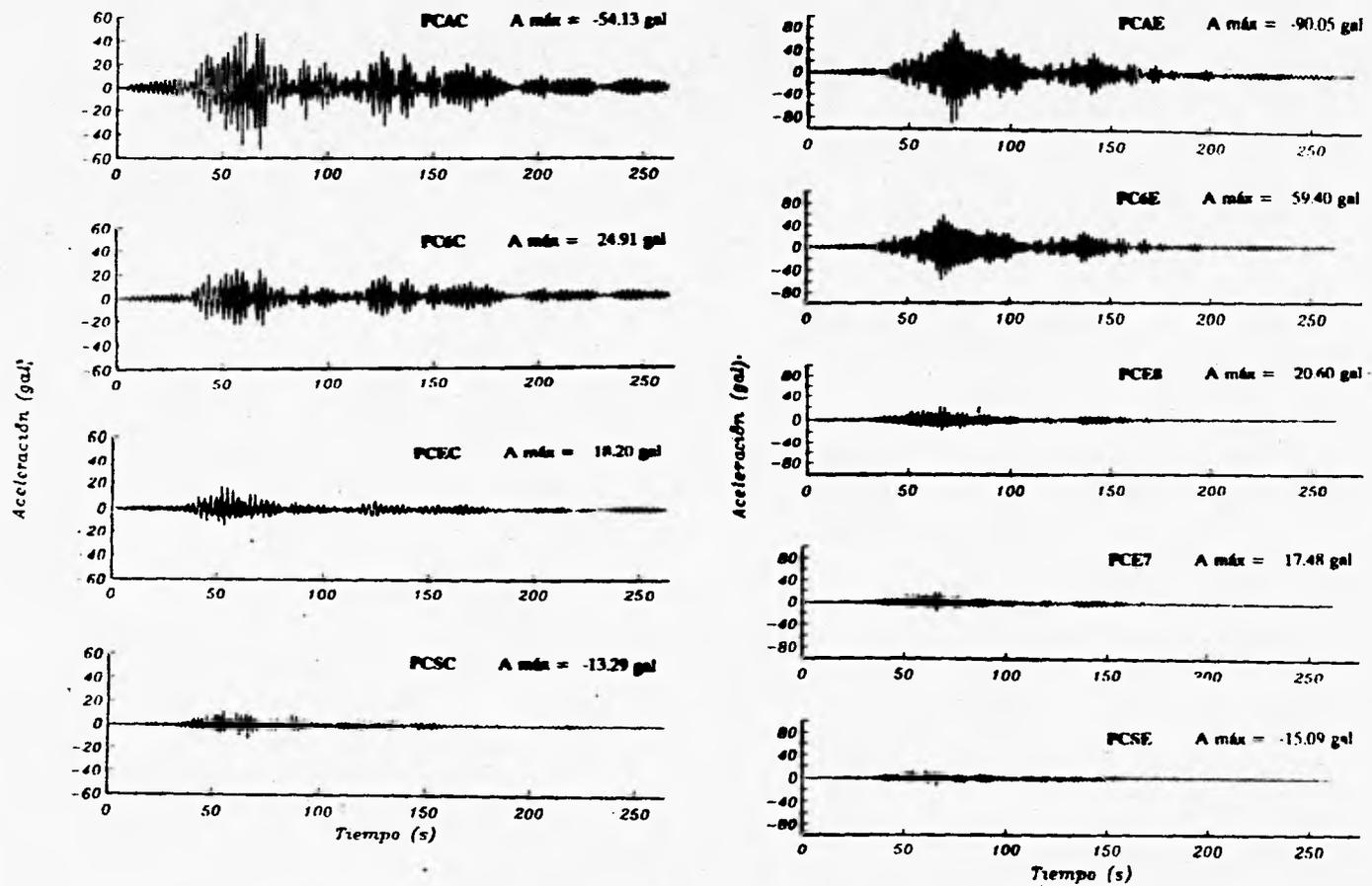


Figura 25. Registros corregidos en el edificio Plaza Córdoba, del sismo del 24 de octubre de 1993, dirección N-S.

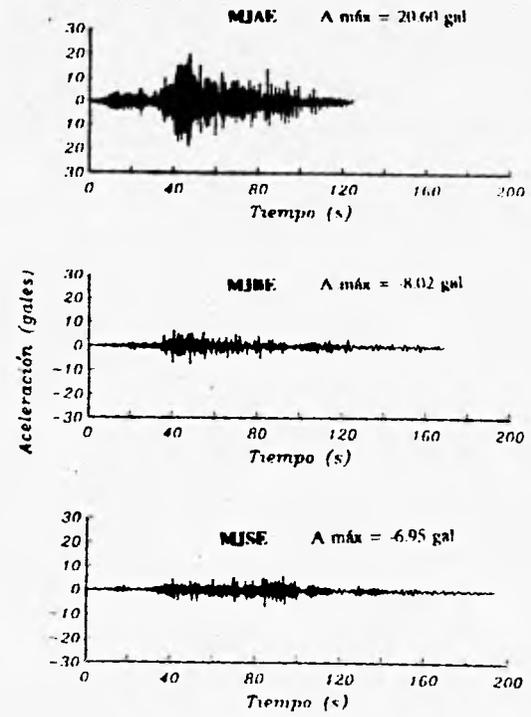
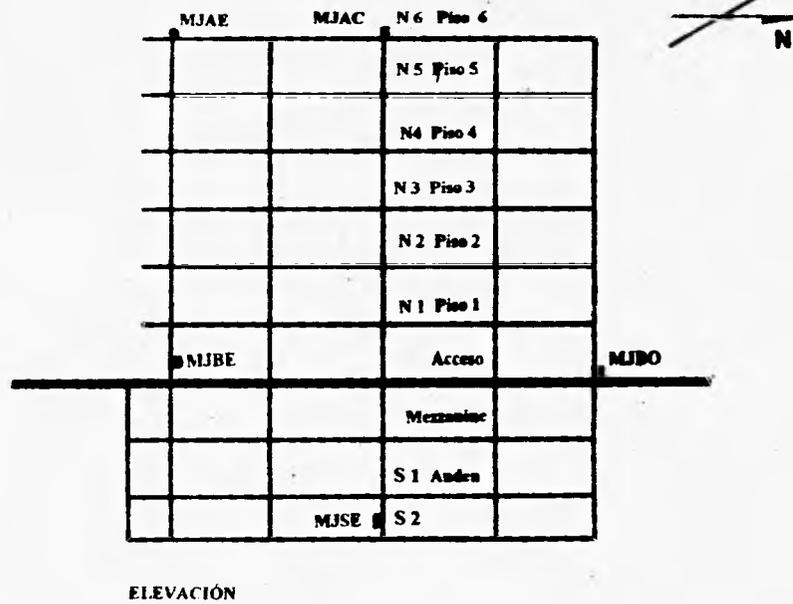


Figura 26. Registros obtenidos en el edificio Metro Juárez, dirección Norte-Sur, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones MJAE, MJBE Y MJSE.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Revisemos ahora los principales resultados de cada uno de los dos edificios instrumentados.

En el tiempo en el que los edificios han estado instrumentados se han registrado 60 eventos en donde las aceleraciones no han sobrepasado los 180 gales, la cual fue registrada en PCAE el 10 diciembre de 1993, en esta fecha todos los equipos instalados en ambos edificios registraron el movimiento. La tabla 7 resume los datos procesados del sismo del 24 octubre de 1993, incluye la clave de la estación, tiempo de registro (TGM), la duración del registro (en segundos) y por ultimo la aceleración máxima que se alcanzó en cada una de las direcciones: norte-sur, este-oeste y vertical.

Comparando la aceleración máxima registrada el 24 de octubre de 1993 en la estación PCAE con la más alta registrada para la misma fecha en la MJAC tenemos como resultado que la primera es superior en 3.68 veces a la segunda, algo que es de esperarse dado que el edificio Plaza Córdoba es 2.42 veces más alto que el Metro Juárez.

CLAVE DE LA ESTACIÓN	TIEMPO INICIAL (GMT) hh:mm:ss.ss	DURACIÓN (S)	ACELERACIÓN	MÁXIMA	(GALES)
			L (N-S)	T (E-O)	(VERT)
PCAC	07:53:06.50	262.30	54.13	70.41	8.74
PCAE	07:53:02.14	271.92	90.05	71.87	7.70
PC6C	07:53:06.49	262.40	24.91	34.01	9.22
PC6E	07:53:06.48	262.54	59.40	40.72	6.71
PCEO	07:53:06.50	262.28	24.19	22.27	6.83
PCEC	07:53:06.50	262.50	18.20	22.27	4.19
PCE8	07:53:06.50	262.36	20.60	23.95	5.87
PCE7	07:53:06.51	263.38	17.48	20.36	4.43
PCSO	07:53:06.50	263.14	11.86	9.70	3.71
PCSC	07:53:06.51	262.30	13.29	9.70	3.47
PCSE	07:53:06.51	262.00	15.09	10.18	3.23
MJAC	07:53:04.32	143.66	24.43	19.16	2.87
MJAE	07:53:07.72	125.08	20.60	19.64	5.27
MJBO	07:53:07.72	169.34	8.02	7.90	3.47
MJBE	07:53:07.72	169.26	8.02	7.90	3.47
MJSE	07:53:07.72	193.84	6.95	7.30	2.87

Tabla 7. Aceleraciones máximas registradas en los Edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez durante el sismo del 24 de octubre de 1993.

Para los sismos que han sido registrados por todos los aparatos instalados en los dos edificios se elaboró la tabla 8 en donde se muestra la fecha de ocurrencia, Magnitud de Coda y el número de estaciones que registraron los eventos tanto en el edificio Plaza Córdoba como en el Metro Juárez.

Fecha	Magnitud de coda	Número y Clave de las Estaciones			
		No.	PLAZA CORDOBA	No.	METRO JUÁREZ
11 MAYO 1990	5.0	10	PCSC PCSO PCSE PCE7 PCE8 PCEO PC6C PC6E PCAC PCAE	0	Ninguno
31 MAYO 1990	5.4	11	PC8C PCSO PCSE PCE7 PCE8 PCEO PCEC PC6C PC6E PCAC PCAE	0	Ninguno
1 ABRIL 1991	5.3	10	PC8C PCSO PCSE PCE7 PCE8 PCEO PCEC PC6C PCAC PCAE	1	MJSE
24 OCTUBRE 1993	6.7	11	PCSC PCSO PCSE PCE7 PCE8 PCEO PCEC PC6C PC6E PCAC PCAE	5	MJAE MJAC MJBO MJBE MJSE

Tabla 8. Eficacia de las redes acelerográficas.

En la tabla 8 podemos ver que los equipos instalados en los edificios están mejorando la calidad y número de registros esto se debe a la experiencia que se ha tenido a lo largo de estos años, con la que se han ajustado el umbral de disparo de los equipos el cual permite grabar las aceleraciones de los sismos en un mayor número de aparatos.

4.1 Plaza Córdoba

Con los espectros de Fourier de amplitud de aceleración que se determinaron en el edificio Plaza Córdoba de la estación PCAC para la componente Norte-sur (tabla 9), podemos observar que todos tienen la misma tendencia y valor máximo de frecuencia que es de 0.4 Hz que corresponde al primer modo de vibrar de la estructura.

Fecha del sismo	Frecuencia en Hz para PC
11 mayo 1990	0.4
31 mayo 1990	0.4
1 abril 1991	0.4
24 octubre 1993	0.4

Tabla 9. Tendencia en la frecuencia asociada a la amplitud máxima en el edificio Plaza Córdoba.

Los eventos registrados en el edificio Plaza Córdoba no ha variado en cuanto a la frecuencia asociada a la amplitud máxima, a pesar de que el sismo del 24 de octubre de 1993 tuvo una magnitud de coda 6.7; por otra parte el periodo de vibración del suelo es de 0.4 Hz, obtenido este valor a partir de mediciones de vibración ambiental (ref. 29). Para verificar este valor se filtró la señal obtenida durante el sismo mediante la utilización de un programa llamado SUPERETAPS cuyos espectros superficiales se muestran en la fig. 27. Se ha marcado el periodo del suelo y como podemos ver los valores son similares tanto en la frecuencia de la estructura a partir de los aparatos colocados en el edificio así como en el estudio de vibración ambiental del subsuelo.

No existe evidencia del cambio en las propiedades dinámicas de el edificio Plaza Córdoba por efecto de los sismos (ref. 30), a pesar de que se colocaron muros estructurales para rigidizar la estructura, sin embargo no se realizo ningún trabajo en la cimentación. En la figura 28 podemos ver el fenómeno antes mencionado comprobando que la frecuencia observada en este edificio no ha variado desde los sismos de 1990 hasta el 24 de octubre de 1993.

También se realizó el cálculo de las funciones de Tránsito, definidas como el cociente de los espectros de Fourier de sitios en diferentes niveles con respecto a los ubicados en el sótano; todos los puntos se referenciaron sobre un mismo eje vertical. En las figuras 29 a 31 se presentan dichas funciones para los sismos de las fechas 11 y 31 de mayo de 1990. En las direcciones norte-sur y este-oeste, obtenidos de los aparatos PCAC, PC6C, PCEC con respecto a PCSC, se observa que en todos los sitios la amplitud de los movimientos es mayor en los niveles superiores, excepto en el intervalo de frecuencias comprendido entre 0.48 Hz a 1.3 Hz ; en el caso de la azotea se alcanzan amplificaciones de hasta 15 veces en relación con los registros en el sótano a una frecuencia de 0.38 Hz, siendo este valor muy cercano al primer modo de vibrar del edificio. En la figura 32 se presentan las Funciones de transferencia para los temblores 31 de mayo de 1990, 15 de mayo y 24 de octubre de 1993, el cálculo se hizo para la relación entre las estaciones PCAC/PCSC. La tendencia es similar en los tres sismos, es decir para una frecuencia de 0.38 Hz se amplifica hasta 13 veces entre estas dos estaciones. El comportamiento de la estructura ha sido uniforme a través del tiempo para sismos de moderada intensidad y se concluye que la amplitud máxima se presenta a una frecuencia de 0.4 Hz estando esta asociada al primer modo de vibrar.

Por otra parte en las figuras 33 y 34 encontramos que los niveles de desplazamiento máximos para el sismo del 24 de octubre de 1993, en las componentes norte-sur y este-oeste, para las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC son: 70.41, 34.21, 22.27, 13.29 gales. Se consideró esta fecha por tener los registros las máximas aceleraciones presentadas hasta el momento.

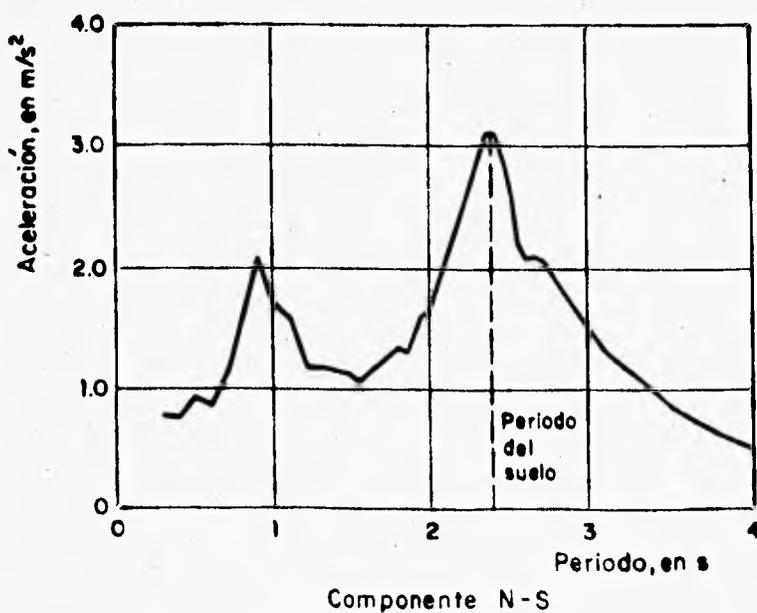
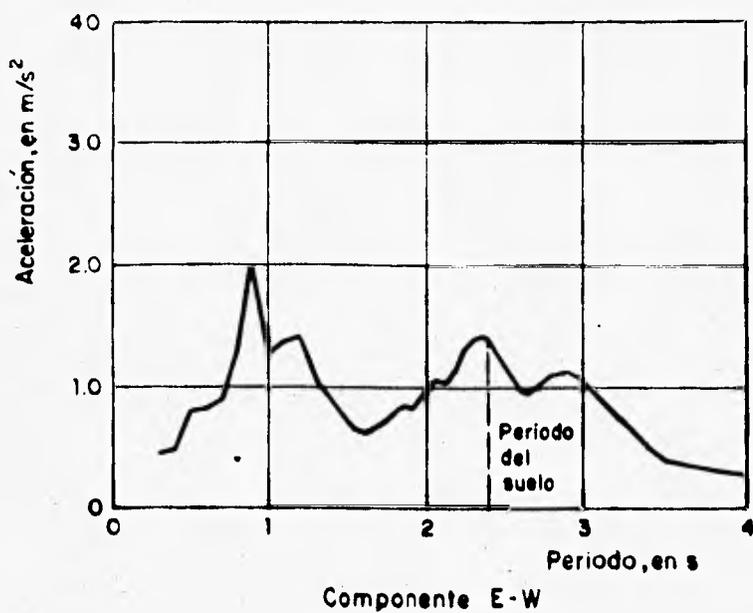


Figura 27. Espectros de respuesta resultantes de usar los registros de un sismo. (ref. 4)

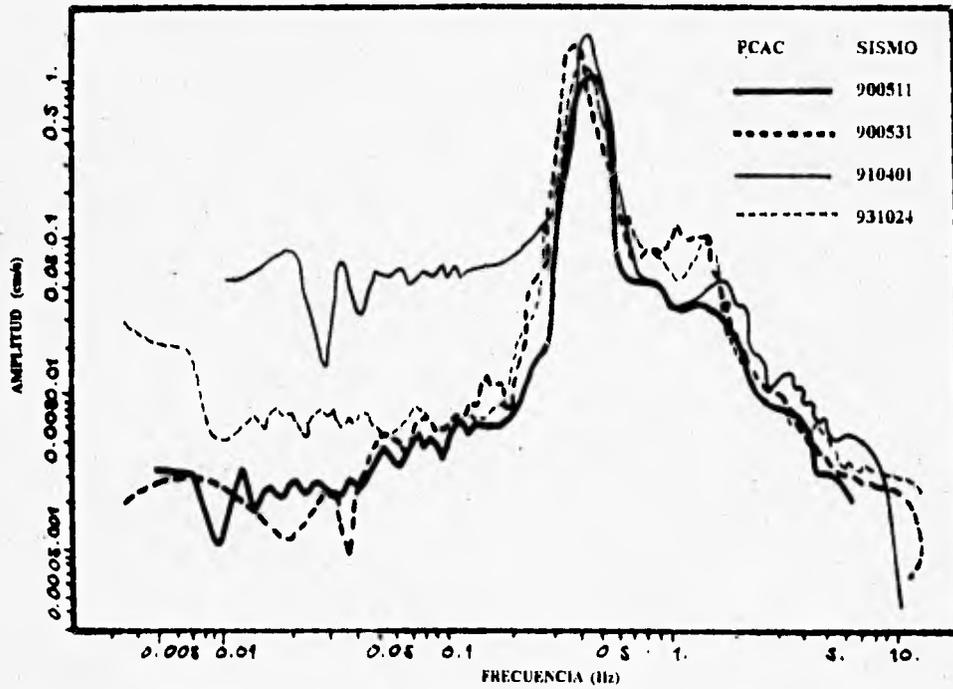
ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

Figura 28. Espectros de Fourier de cuatro sismos en la Estación Plaza Córdoba Azotea Centro.

FUNCIONES DE TRASFERENCIA (Aceleración) Dirección Norte-Sur

Función entrada al sistema PCSC

Función salida del sistema PCAC, PC6C, PCEC

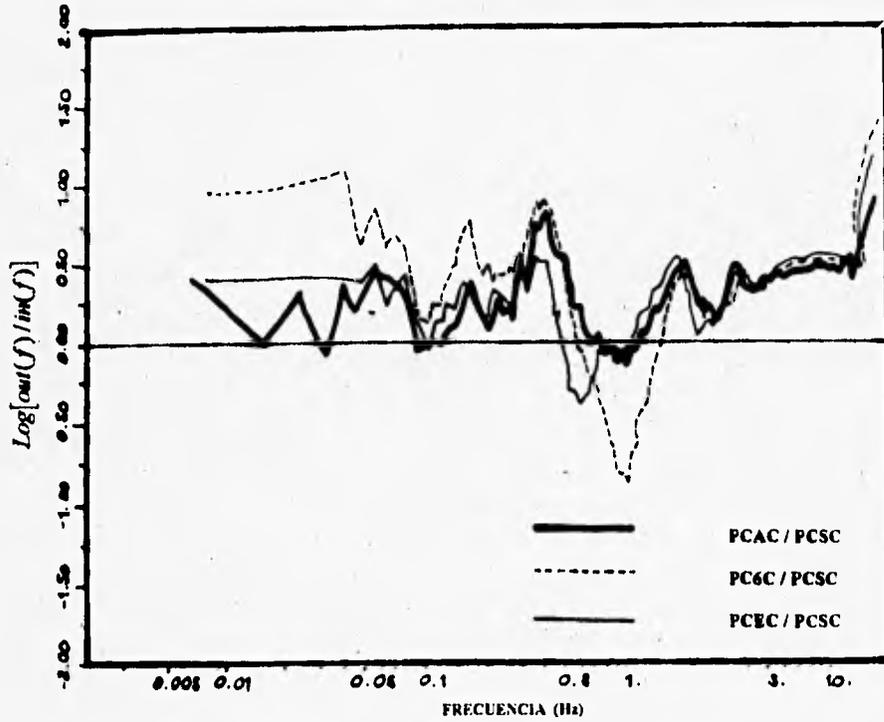


Figura 29. Funciones de Trasterencia de los registros PCAC, PC6C, PCEC, entre PCSC, dirección Norte-Sur, para el sismo del 11 mayo de 1990, en el edificio Plaza Córdoba.

FUNCIONES DE TRASFERENCIA (Aceleración) Dirección Este-Oeste

Función entrada al sistema PCSC
Función salida del sistema PCAC, PC6C, PCEC

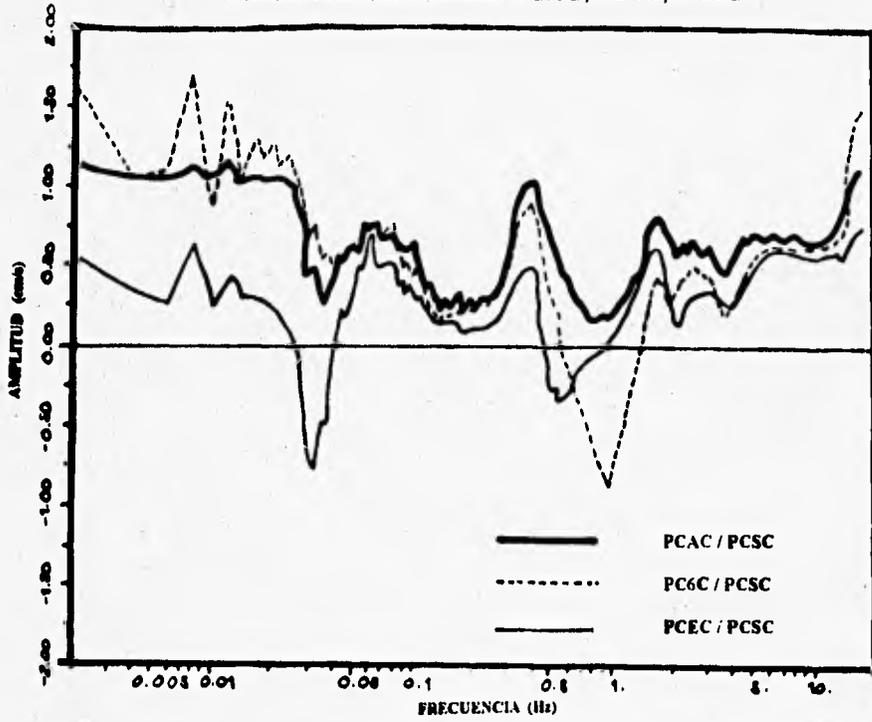


Figura 30. Funciones de Trasterencia de los registros PCAC, PC6C, PCEC, entre PCSC, dirección Este-Oeste, para el sismo del 11 mayo de 1990, en el edificio Plaza Córdoba.

FUNCIONES DE TRASFERENCIA (Aceleración) Dirección Norte-Sur

Función entrada al sistema PCSC

Función salida del sistema PCAC, PC6C, PCEC

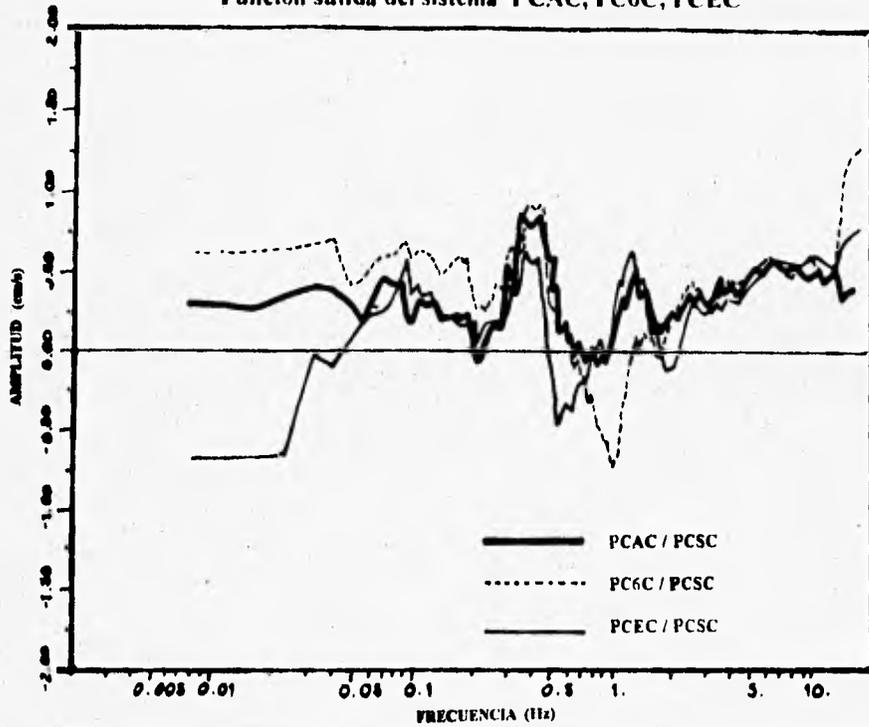


Figura 31. Funciones de Traserencia de los registros PCAC, PC6C, PCEC, entre PCSC, dirección Norte-Sur, para el sismo del 31 mayo de 1990, en el edificio Plaza Córdoba.

FUNCIONES DE TRASFERENCIA (Aceleración) Dirección Norte-Sur

Función entrada al sistema PCSC
Función salida del sistema PCAC

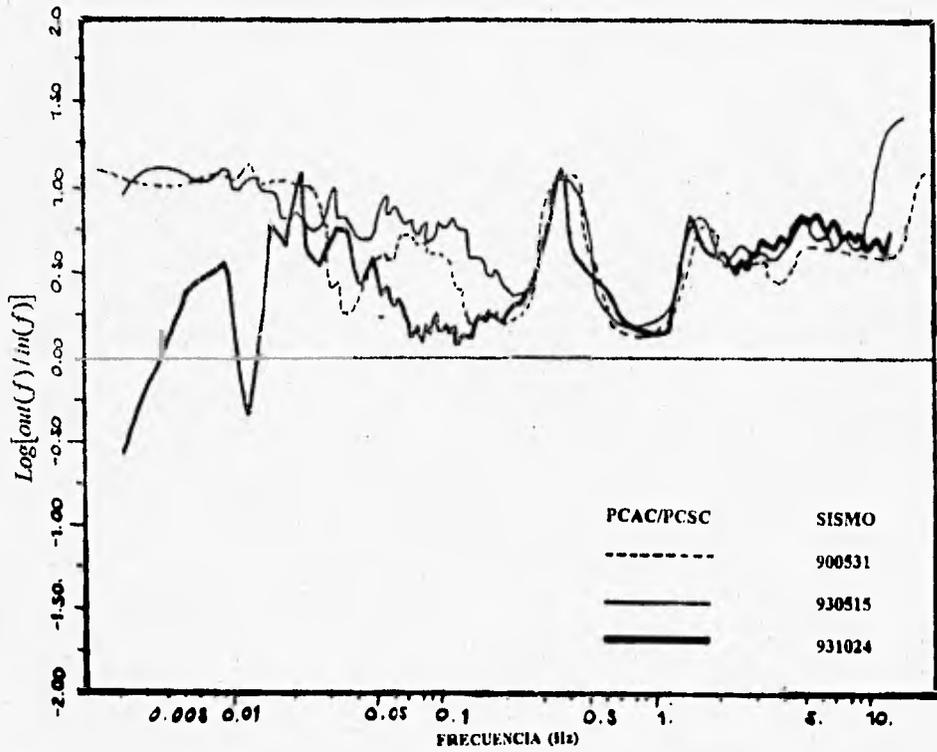


Figura 32. Funciones de Trasterencia de los registros PCAC entre PCSC, dirección Norte-Sur, en los sismos de 31 mayo 1990, 15 de mayo y 24 de octubre de 1993, en el edificio Plaza Córdoba.

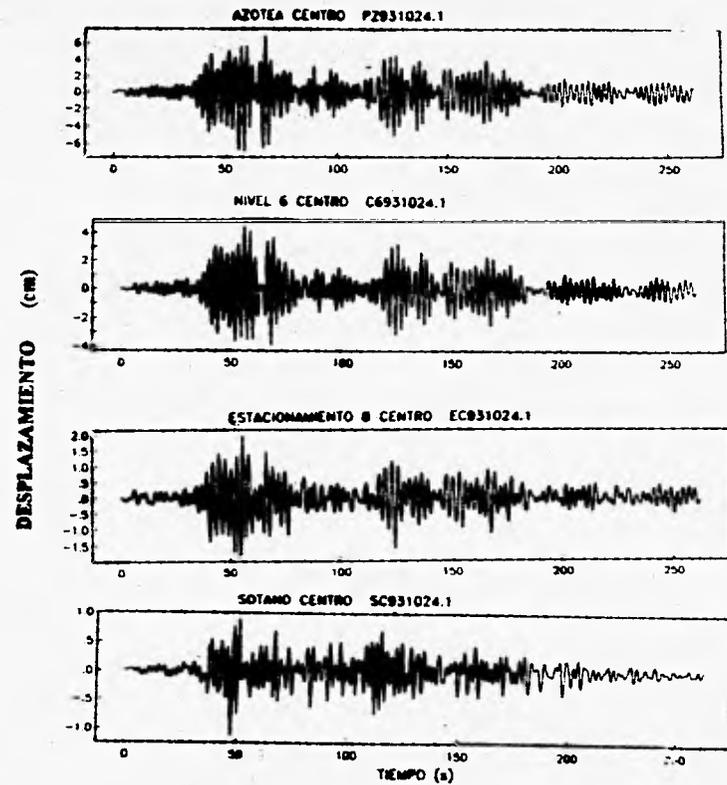
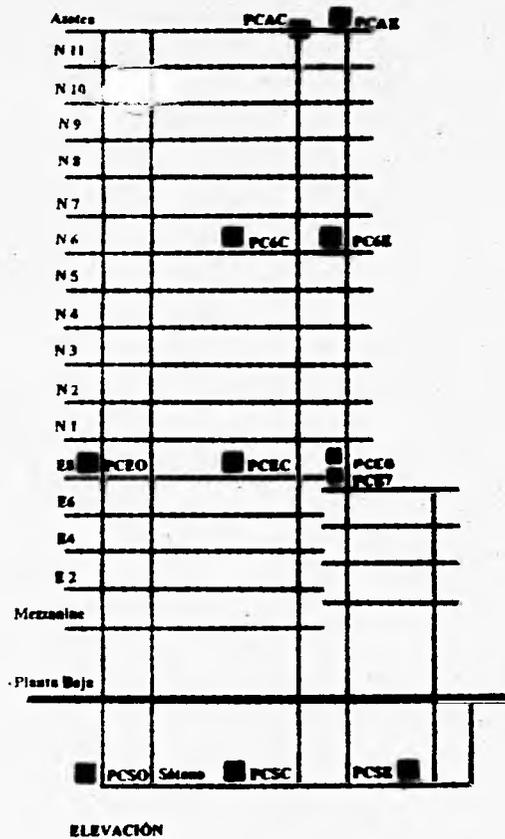


Figura 33. Desplazamientos registrados en el edificio Plaza Córdoba, dirección Norte-Sur, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

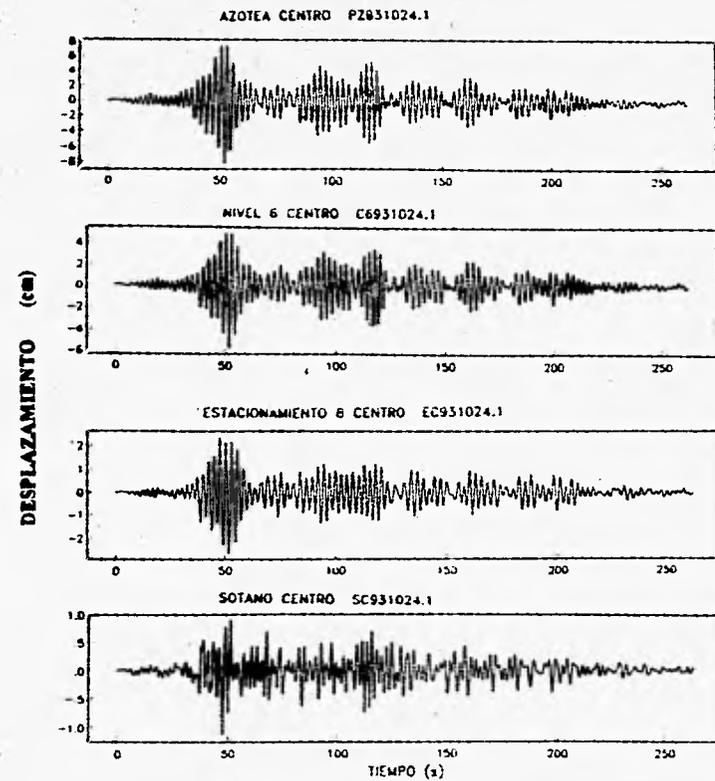
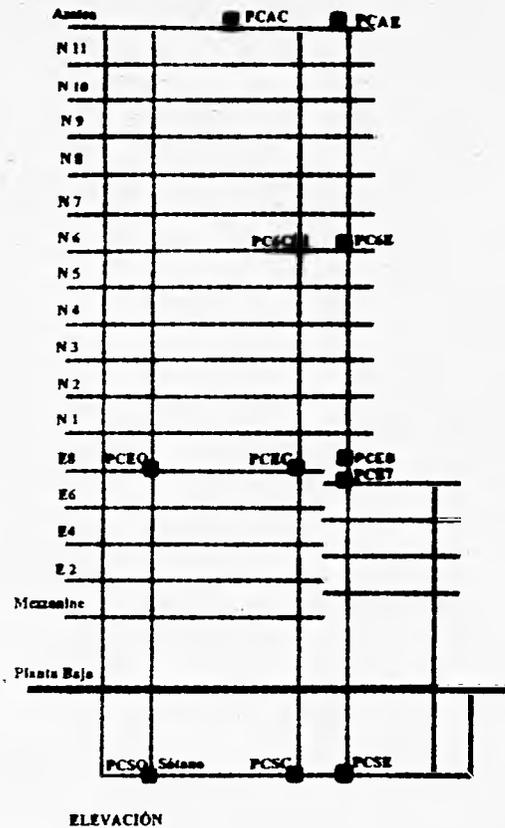


Figura 34. Desplazamientos registrados en el edificio Plaza Córdoba, dirección Este-Oeste, del Temblor del 24 de octubre de 1993, en las estaciones PCAC, PC6C, PCEC y PCSC.

4.2 Metro Juárez

65

La red acelerográfica del Metro Juárez presenta aspectos muy importantes del comportamiento de la estructura, en especial, modificaciones en la rigidez del edificio, se iniciaron operaciones en 1990, pero en junio de 1992 los acelerógrafos fueron retirados debido a que la estructura iba a ser reforzada, entrando en operación nuevamente hasta 1993, está es la razón por la que los avances logrados son menores en comparación con los que se presentan en el Edificio Plaza Córdoba.

En el año de 1992 se lograron registrar algunos sismos, en la figura 35 se presenta el espectro de Fourier de aceleraciones para el sismo del 1 de abril de 1992, en donde la amplitud máxima se presentó a una frecuencia de 0.8 Hz comparándola con las que se obtuvo para el 15 de mayo y 24 de octubre de 1993, que corresponde a un registro posterior a los trabajos de rigidización que se realizaron en la estructura; en esta figura es claro el cambio en el comportamiento, inducido en las propiedades dinámicas de la estructura observándose el corrimiento de los máximos de frecuencia de 0.8 Hz a 1.5 Hz

Se obtuvieron las Funciones de Tránsito de la relación entre la azotea centro y base este, de los componentes norte-sur, en la figura 36 se muestran los resultados para cuatro sismos, uno de ellos antes de la remodelación del edificio (1 de abril de 1992) y dos posteriores a esta (15 de mayo de 1993 y 24 de octubre del mismo año). En la primera fecha vemos que la amplificación máxima es de ocho veces a una frecuencia de 0.9 Hz, en cambio para las fechas del 15 de mayo de 1993 y 24 de octubre de 1993 donde la tendencia cambia completamente debido a que alcanza una amplificación mayor a 30 veces en la azotea con respecto a la base, a una frecuencia totalmente corrida hacia la derecha, es decir el valor cambio de 0.90 a 2 Hz, producto de la rigidización. También la amplificación de la azotea con respecto a la base aumentó significativamente, en el caso de los equipos colocados al este MJAE/MJBE ocurre una situación similar.

Con base en los registros obtenidos, de los aparatos colocados en este edificio, se realizó un estudio del comportamiento dinámico de la estructura (ref. 26). Durante el mes de junio de 1993 se hicieron pruebas de vibración ambiental en el edificio que permitieron identificar los tres primeros modos de torsión, se encontró que las frecuencias fundamentales en los componentes transversal, longitudinal y rotacional son de 2.28, 1.88 y 3.52 Hz respectivamente; estas frecuencias son entre 0.9 y 2.2 veces mayores a las medidas antes de la reestructuración, lo que indica un significativo aumento en la rigidez del edificio.

El análisis entre los registros sísmicos y los de vibración ambiental muestran similitud en la frecuencia asociada a la amplitud máxima, sin embargo revelan un comportamiento no lineal que se atribuye principalmente a una interacción entre el cajón del edificio y el cajón del Metro. En la estimación de las frecuencias fundamentales de vibrar se detectó una disminución de estas hasta en un 12 por ciento con respecto a las frecuencias detectadas en las pruebas de vibración ambiental, estas variaciones son inferiores a las que se han encontrado en otros edificios instrumentados.

ESPECTROS DE FOURIER (Aceleración)

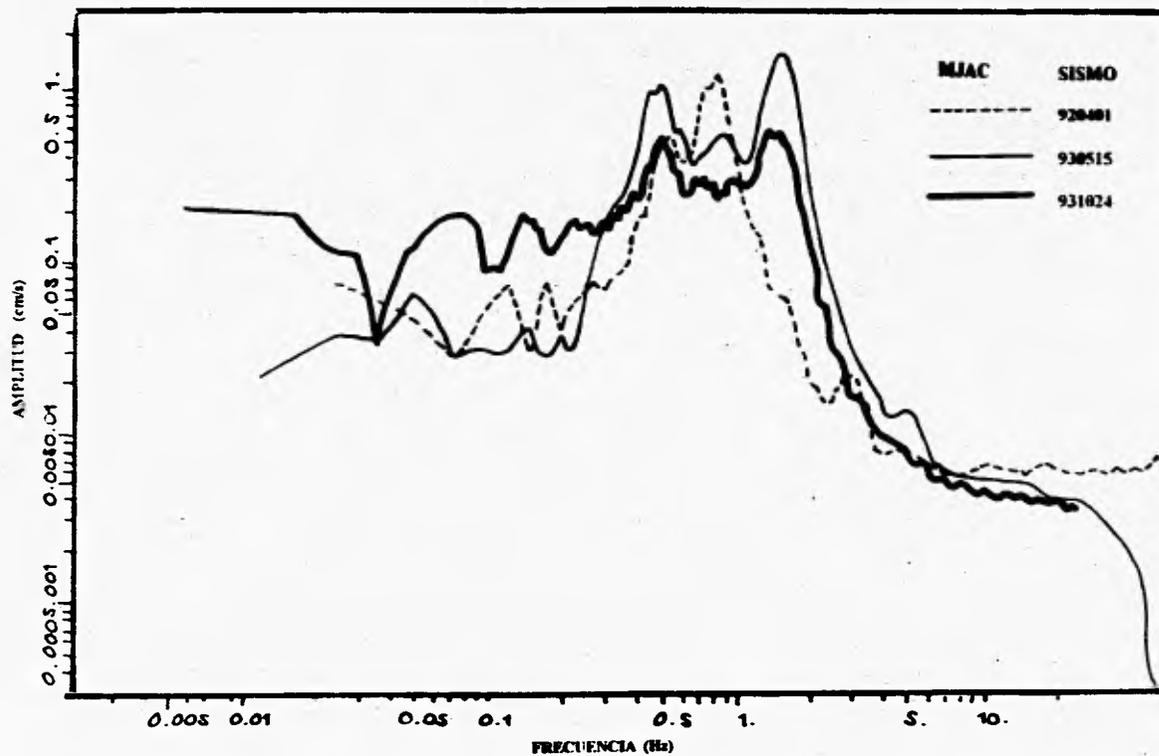


Figura 35. Espectros de Fourier de tres sismos en la Estación Metro Juárez Azotea Centro, dirección Norte-Sur.

FUNCIONES DE TRASFERENCIA (Aceleración) Dirección Norte-Sur

Función entrada al sistema MJBE
Función salida del sistema MJAC

68

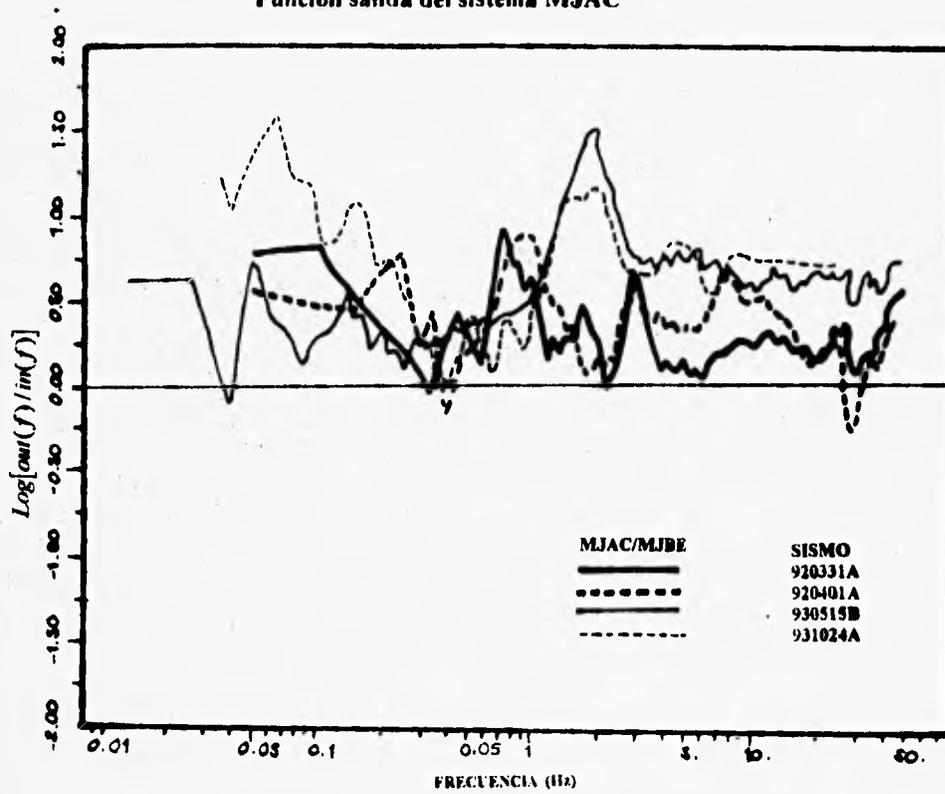


Figura 36. Funciones de Tránsito de los registros MJAC entre MJBE, dirección Norte-Sur, en los sismos de 310390, 010492, 150393 y 241093, en el edificio Metro Juárez.

5. CONCLUSIONES

Anteriormente en México no se contaba con la experiencia en la obtención de datos del comportamiento de edificios durante la ocurrencia de sismos. Estos solo existían en Japón y en Estados Unidos, pero ahora con la RED ACELEROGRÁFICA operada por distintas instituciones como son: II de la UNAM (II), Centro de prevención de desastres (CENAPRED), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Fundación Barros Sierra (FJBS), entre otros se ha podido recabar información que es indispensable para mejorar el conocimiento sobre la respuesta sísmica en todo tipo de estructuras, especialmente en aquellas estructuras ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico.

Durante el período en el que el II de la UNAM ha operado los equipos en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez se han obtenido 361 acelerogramas de sismos de diferentes magnitudes, con los cuales se ha podido crear un banco de información acelerográfica de ambos edificios, lo que representa un avance en el conocimiento de la respuesta sísmica en edificios instrumentados en la Ciudad de México.

La experiencia derivada de este trabajo ha permitido mejorar los sistemas de registro en otros proyectos de instrumentación sísmica de edificios en la República Mexicana.

Es importante señalar que los instrumentos que se utilizan en los dos edificios en estudio, requieren de un mantenimiento constante y cuidadoso para garantizar que los datos grabados durante la ocurrencia de un sismo sean confiables.

La instrumentación del edificio Plaza Córdoba deberá ser reforzada instalando 2 acelerógrafos más, uno cuyos sensores estarán colocados en campo libre y los del otro estarán colocados en un pozo profundo. Esto permitirá conocer las características de las ondas sísmicas en el subsuelo antes de que tengan contacto con la estructura.

El comportamiento en el edificio Plaza Córdoba ha sido uniforme durante todo el período de la instrumentación, esto es no se han presentado cambios en la respuesta dinámica de la estructura durante la ocurrencia de sismos, con los que se define un máximo en amplitud a la frecuencia de 0.4 Hz en ambas direcciones. Existe la necesidad de rigidizar el cajón de la cimentación, para que el período de la estructura varíe con respecto al del suelo, para que el fenómeno de resonancia que existe entre el movimiento de la estructura y el del suelo desaparezca, evitando así un riesgo muy alto de sufrir daños durante la ocurrencia de sismos de gran magnitud.

En el caso del edificio Metro Juárez y con la ayuda de los Espectros de Fourier se ha observado el cambio en el período en su estructura, debido a los trabajos de rigidización. Será necesario reforzar en un futuro inmediato la instrumentación del edificio Metro Juárez con sensores de pozo, para conocer el comportamiento sísmico en el subsuelo, además de colocar otro aparato en el cajón de cimentación del edificio y así comparar las respuestas sísmicas entre el cajón del Metro y el cajón del edificio.

Es necesario que en ambos edificios el medio de interrogación de los aparatos consuma menos cantidad de tiempo al operador que realiza esta tarea, con la utilización de un Modem y una línea telefónica en los aparatos que funcionan como maestros, la recuperación de información entre los acelerógrafos y la computadora sería con mayor rapidez, además de que se podría tener un monitoreo constante de cada uno de los equipos localizados en estos edificios.

La medición de los periodos naturales de las estructuras facilita: la interpretación de los futuros registros de sismos, el mejoramiento del reglamento del D.F., y la estimación de su posible grado de deterioro después de un temblor importante.

Es necesaria una mayor inversión de recursos humanos y técnicos para que esta tarea tan importante no se detenga, al contrario aumenten la cantidad de estructuras instrumentadas en la República Mexicana para poder contribuir así a construir estructuras que tengan un comportamiento adecuado durante la ocurrencia de un sismo y que sean económicas.

6. REFERENCIAS

1. Experiencias derivadas de los sismos de septiembre 1985, Fundación ICA, Editorial Limusa Noriega editores 1988, México.
2. Mena E y Quaaas R, oct 1989. Instrumentación para registro de sismos en edificios del Distrito Federal, Informe Técnico Final, II, UNAM, Sismología e Instrumentación Sísmica, México.
3. Alcántara L, Almora D, Macías M y otros, ago 1992. Estudio del Comportamiento sísmico de dos edificios Instrumentados en el Distrito Federal, II, UNAM, México.
4. Rodríguez N y Quaaas R, oct 1990. Respuesta sísmica de un edificio Instrumentado de la Ciudad de México durante sismos recientes, Memorias del Seminario Internacional de Instrumentación Sísmica y Uso de elementos disipadores de energía en el comportamiento estructural, Pavón y Rodríguez Editores, México.
5. Rodríguez N y Macías M, may 1993. Rotaciones Producidas por sismos en un edificio instrumentado en el valle de México, II, UNAM, México.
6. Mena E, dic 1990. Sistema de Procesamiento Avanzado de Aceleraciones para el CENAPRED, Coordinación de Investigación instrumentación Sísmica, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.
7. Quaaas R, Mena E, Almora D, Alcántara L y otros, jun 1990. Instrumentación Sísmica del Edificio Plaza Córdoba, Registros Obtenidos del temblor mayo 11, Ms= 5.7, II, UNAM, México.
8. Prince J Red, sep 1988. Acelerográfica de Guerrero, II, UNAM, México.
9. Alcántara L, Almora D, Macías M y otros, ago 1993. Estudio del Comportamiento Sísmico de dos Edificios Instrumentados en el Distrito Federal, II, UNAM, México.
10. Quaaas R y Almora D, nov 1993. Acelerogramas del temblor del 24 de octubre de 1993 obtenidos del Edificio Jalapa, II, UNAM, México.

11. Quaas R, Guevara E y González R, sep 1991. Red de Observación Sísmica del Centro Nacional de Prevención de Desastres, Simposio: Instrumentación Sísmica de Temblores, Memoria, CENAPRED y FICA, México.
12. Papoulis A, Bertran M, 1989. Sistemas y circuitos Digitales y Analógicos, BOUIXAREU Editores, España.
13. MA Saposhkov, 1983. Electroacústica REVERTÉ, SA Editorial, España.
14. Alcántara L, Almora D y Macías M, ago 1992. Estudio del comportamiento Sísmico de Dos Edificio Instrumentados en el DF, II, UNAM, México.
15. Alcántara L, Almora D y Macías M, sep 1994. Respuesta sísmica en los Edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez, UNAM, México.
16. Alcántara L, Almora D y Macías M, nov 1993. El sismo del 24 de octubre de 1993 en el edificio Plaza Córdoba, Acelerogramas Obtenidos, UNAM, México.
17. Muria D, González R y Espinosa JM, ene 1993. Efectos de la Interacción Suelo-Estructura en la respuesta sísmica en un edificio Instrumentado, II, UNAM, México.
18. Emilio Rosenblueth, 1982. Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto AC, Emilio Rosenblueth Editor, México.
19. Telmex, 1988. Reto sísmico, Editorial IDH, México.
20. Martínez Ignacio Navarro A y Ceniceros J, 1983. Dinámica Estructural Universidad Autónoma de Zacatecas, Editorial Universitaria, México.
21. Enrique Bazan y Meli P, 1985. Manual de Diseño Sísmico de Edificios, Editorial Limusa, México.
22. A Primer Bruce, A Bolt, 1978. Earthquakes, Editorial Freman, Traducido al Español con el Título Terremotos por Editorial Reverté, USA.
23. Prince J y Bustamante, 1963. Corrección de Acelerogramas de 4 Macrosismos en la Ciudad de México, Boletín Soc Mex de Ingeniería Sísmica, vol no 2, México.

24. Ing. Gerardo Castro, oct 1994. Comunicación Personal, Coordinación de Instrumentación Sísmica, II, UNAM, México.
25. Ing Emilio Nava, nov 1994. Comunicación Personal Coordinación de Sismología, II, UNAM, México.
26. González Alcorta R y Muria Vila D, 1994. Comportamiento Dinámico del Edificio Metro Juárez, Sociedad Mexicana Estructural, Memorias del Congreso de Ingeniería Estructural, Zac México.
27. Esteva L. Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño Sísmico, II, UNAM, México.
28. Determinación de Parámetros Estructurales y de Cimentación de Edificios Mediante Vibración Ambiental, SMIS, Ingeniería Sísmica No 38, abril 1990, México.
29. Schabel, PBY y Shake, 1972. A Computer Program For Earthquake Analysis of Horizontally Layed sites, EERC UCB.
30. Honda KK, mar 1976. Measurement and Evaluation of High-Rise Building Response to Ground motion Generated by Underground Nuclear Explosions, Procasc/em Specialty Conrence, Universidad de California, Los Angeles, USA.
31. Alcántara L, Almora D y Macías M, nov 1993. El sismo del 24 de octubre de 1993 en el edificio Metro Juárez, Acelerogramas Obtenidos, II, UNAM, México.
32. MT Jong, 1982. Methods of discrete signal and system analysis, Discrete and Fast Fourier Transforms, Mc Graw Hill, Inc USA.
33. Brigham, E O, 1974. The Fast Fourier Transform, Prentice-Hall Inc, New Jersey, USA.