



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**INSTRUMENTACION SISMICA PARA
REGISTRO DE TEMBLORES FUERTES**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL.

P r e s e n t a :

José Manuel Mendoza del Barrio



Director de Tesis :

M en I Leonardo Alcántara Nolasco

México, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

I.	<i>Introducción</i>	1
II.	<i>Actividad Sísmica en México</i>	
	II.1 Actividad Sísmica Mundial	3
	II.2 Potencial Sísmico en la República Mexicana	7
	II.2.1 Sismos mas importantes ocurridos en México	10
	II.2.2 Zonificación Sísmica de México	12
	II.3 Zonificación Geotécnica del Valle de México	14
III.	<i>Redes Acelerográficas</i>	
	III.1 Instrumentos usados en mediciones sísmicas de temblores fuertes	21
	III.2 Redes Acelerográficas en México	25
	III.2.1 Red de Instrumentación Sísmica del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada	26
	III.2.2 Red Sísmica del Centro Nacional de Prevención de Desastres	29
	III.2.3 La Red Acelerográfica de la Comisión Federal de Electricidad	33
	III.2.4 Red de Observación Sísmica de la Fundación ICA en la Ciudad de México	36
	III.2.5 Red de Observación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra	42

III.2.6 Red de Observatorios Sismológicos del Instituto de Geofísica de la UNAM	48
III.2.7 Red de Observación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM	50
III.2.8 Red Acelerográfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco	68
III.2.9 Red de Instrumentación Sísmica del la Universidad Autónoma Metropolitana	70
IV. <i>Procesamiento de Datos y Aplicaciones</i>	
IV.1 Corrección de Línea Base	78
IV.2 Cálculo de Velocidades y Desplazamientos	81
IV.3 Espectro de Fourier	84
IV.4 Espectro de Respuesta	88
IV.4 Aplicaciones	94
V. <i>Conclusiones</i>	99

I. INTRODUCCION

Es tan limitada la experiencia y son tantas las incógnitas que se tienen en la ingeniería sísmica que sólo con aparatos que registren movimientos intensos puede esperarse una mejoría de importancia para un óptimo diseño sísmico, por lo cual, el registro instrumental de los sismos que ocurren en el país es indispensable para formular criterios de diseño adecuados a los diversos tipos de suelos y estructuras.

El objetivo del presente trabajo consiste en proporcionar información sobre la cantidad y distribución de las distintas Redes Acclerográficas en nuestro país, así como describir el proceso de los registros sísmicos y su aplicación en la ingeniería civil.

En el Capítulo II se trata la relación entre tectónica de placas y la sismicidad mundial, para enfocarnos a México, a su potencial sísmico y a las características de los movimientos sísmicos que se esperan en nuestro país. Las Redes de Observación Acclerográfica de la República Mexicana se describen en el tercer capítulo. El proceso de obtención de datos de interés en la ingeniería sísmica a través de temblores fuertes y sus aplicaciones se explica en el capítulo IV. Finalmente, se dan las conclusiones de éste trabajo.

II. ACTIVIDAD SISMICA EN MEXICO

*"...con frecuencia, la Tierra temblorosa
sufre de un cólico punzante y doloroso
a causa del viento incontrolado que queda
en su entraña aprisionado y el que
pugnando por salir, viento furioso,
sacude a la vieja bruja Tierra, derribando, fatal,
los campanarios y las torres de algún templo mustoso..."*

Shakespeare, El Rey Enrique IV

A finales del siglo pasado y a principios del presente se establecieron estaciones que registraban sismos en varios países alrededor del mundo, incluyendo México. Mediante instrumentos de diferentes tipos se inició en esa época el registro de las ondas sísmicas generadas por terremotos, tanto de origen local como lejano, lo que permitió determinar en forma relativamente precisa la localización de los focos sísmicos y su profundidad. Con el tiempo se formó un mapa bien definido que mostró la distribución geográfica de los sismos.

Desde el advenimiento de la sismología moderna, sorprendió a los investigadores que al representar en un mapa los focos de los sismos registrados durante un período de tiempo dado, estos se concentran siempre a lo largo de franjas relativamente angostas, indicando en dichas zonas una alta sismicidad. Estas franjas, a su vez, limitan o separan grandes regiones oceánicas y continentales con actividad sísmica escasa o nula.

Una explicación reciente (Wegner, 1912) y satisfactoria de la mayoría de los terremotos se basa en los términos de lo que se llama *tectónica de placas*. La idea general es que la parte superior de la Tierra, llamada litósfera, está constituida por varios bloques amplios llamados placas. A continuación se describirá la relación entre la tectónica de placas y la sismicidad mundial, para enfocarnos a México, a su potencial sísmico, y a las características de los movimientos sísmicos que se esperan en nuestro país.

II.1 ACTIVIDAD SISMICA MUNDIAL

Un sismo es una perturbación súbita en el interior de la Tierra, que da origen a vibraciones o movimientos del suelo, la causa principal es el rompimiento y fracturamiento en las capas más exteriores, como resultado de un proceso gradual de acumulación de energía debido a los fenómenos geológicos que deforman la superficie de la Tierra. Mas exactamente podemos definir un terremoto como la evidencia de la deformación de las rocas que revelan las regiones donde están sucediendo cambios en la corteza terrestre (Ref. 6).

La litosfera, de un espesor de alrededor de 100 km, está subdividida en un buen número de grandes placas, las diez mayores están representadas en la figura II.1. En las zonas donde el espesor de aquella es menor, en general en el fondo de los océanos, fluye hacia arriba a través de discontinuidades, magma que se encuentra a presión y en estado líquido bajo la litosfera, la emersión produce empujes sobre las que se encuentren adyacentes a la falla, y estos se reflejan en los extremos opuestos de las mismas, donde se generan grandes presiones en las zonas de contacto. Según las características de las fronteras que llegan a empalmarse se presentan distintos fenómenos, como el de subducción (figura II.2), en el cual una placa es hundida por debajo del borde anterior de otra, formándose profundidades oceánicas llamadas trincheras, de la misma manera, cuando dos de ellas convergen, se suele producir una elevación, ya que ambas se doblan hacia arriba, dando lugar a la formación de grandes cadenas montañosas, o bien, si la dirección del movimiento de las dos es similar, se produce un deslizamiento de una sobre la otra, sin que haya creación o destrucción de la litósfera.

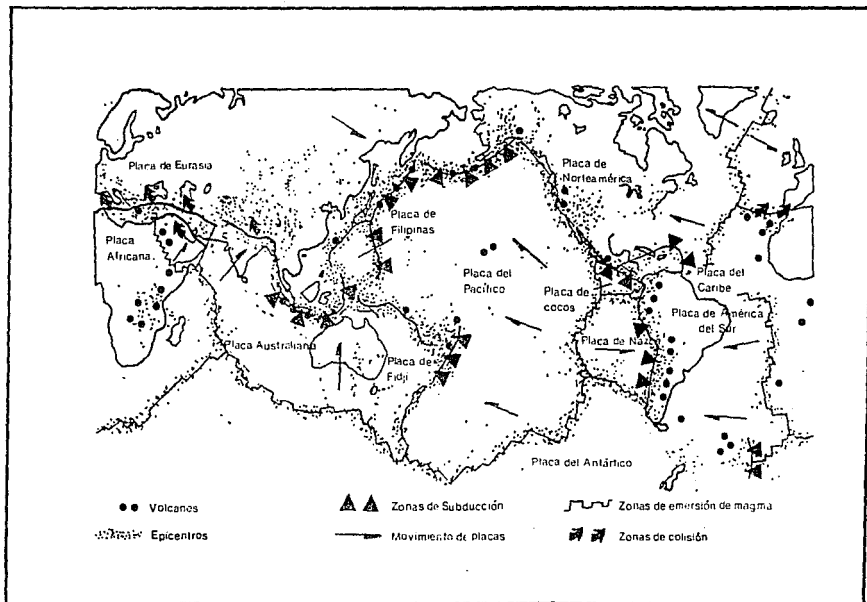


Figura II.1 Principales placas tectónicas, volcanes y epicentros de terremotos (Ref. 18).

El fenómeno mencionado produce la llamada *deriva de los continentes*, o sea, el movimiento de las placas en las direcciones mostradas con las flechas en la figura II.1, que hace que regiones enteras de la superficie terrestre se trasladen y cambien de posición entre sí. Para dar una idea aproximada de la magnitud del fenómeno, basta decir que los movimientos son del orden de una decena de centímetros al año y han provocado que a lo largo de millones de años, América del Sur pasara de estar al lado de la costa occidental del Africa a ocupar su posición actual.

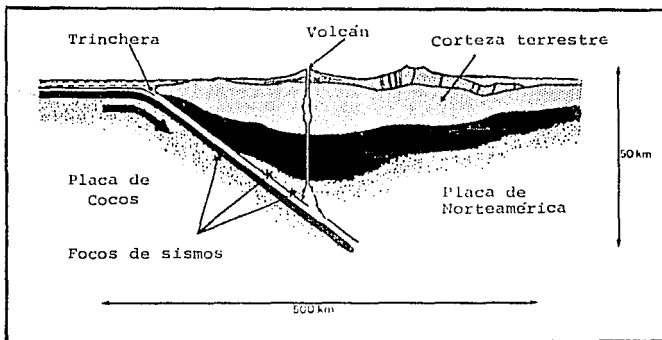


Figura II.2 Movimiento de placas y generación de sismos en la zona de subducción (Ref. 6).

El corrimiento de la zona de contacto entre dos placas no ocurre de manera continua y suave, pues la fricción hace que se puedan generar esfuerzos considerables, hasta que se vence la resistencia mecánica en dicha superficie, provocando un deslizamiento brusco y la liberación súbita de una gran cantidad de energía. El movimiento ocurre en cierta longitud a lo largo de la falla, mientras mayor es la longitud afectada mayor será la cantidad de energía liberada.

La energía liberada produce ondas en la corteza terrestre, las que se transmiten a grandes distancias y provocan la vibración de la superficie del suelo.

La distribución de los focos epicentrales, como se observa en el mapa de la sismicidad mundial, sugiere la división de la superficie terrestre en una serie de placas. Podemos observar que la franja de sismicidad más importante se encuentra en la periferia del Océano Pacífico la cual abarca desde La Patagonia y Chile en América del Sur, pasando por Centroamérica, México, Estados Unidos, Canadá y Alaska a través del arco de las Islas Aleutianas, hasta Japón, Filipinas y Nueva Zelanda en el sur; esta zona sísmica está caracterizada por su intensa actividad volcánica, por lo cual es conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico, o simplemente Cinturón Circumpacífico.

Es claro que la sismicidad a escala mundial se concentra en zonas bien definidas, por otro lado, grandes regiones de la Tierra están libres de actividad sísmica o casi nunca ocurren sismos en ellas; tal es el caso de Brasil, norte y centro de Canadá, Noruega, Suecia, oeste de África y una gran porción de Australia, éstas son consideradas áreas asísmicas. Los sismos que tienen lugar en la zona del Cinturón Circumpacífico, representan poco más del 80% de la energía total liberada en todo el mundo, sin embargo, ésta se concentra en un número relativamente pequeño de terremotos muy fuertes, es decir, un solo terremoto de magnitud 8.4 libera casi tanta energía como la que fue liberada en promedio, cada año durante la primera mitad del siglo XX (Ref. 38).

II.2 POTENCIAL SISMICO EN LA REPUBLICA MEXICANA

La *actividad sísmica* esta referida a la distribución y localización geográfica de los epicentros de eventos sísmicos en sitios de interés, se relaciona con la *sismicidad* de una región, en otras palabras, es la frecuencia con que se generan sismos de diferentes magnitudes¹ en el área considerada.

El *potencial sísmico* está referido a un lugar de la Tierra y es la probabilidad de que, en alguna área de su entorno y dentro de un intervalo de tiempo relativamente corto, ocurra un sismo que produzca un efecto determinado en ese lugar, generalmente una cierta aceleración. Así, el peligro potencial sísmico será muy grande en un lugar rodeado de fallas activas o muy cercano a ellas y muy pequeño en los lugares lejanos de regiones sísmicas independientemente de que éstas se hallen habitadas.

El *riesgo sísmico* de un sitio se relaciona con la intensidad² de los movimientos sísmicos que se esperan en el lugar y con la frecuencia con que se exceden movimientos de distintas intensidades; éste dependerá de la sismicidad de las regiones que se encuentren a distancias tales que los sismos en ellas generados puedan producir efectos apreciables en el sitio. La acción sísmica de diseño para una estructura dada dependerá, por tanto, del riesgo sísmico del lugar donde ésta se va a construir.

Aunque la mitad de las ocho sacudidas más grandes del siglo han ocurrido en Asia Central, la zona más activa del globo es sin duda el Cinturón de Fuego del Pacífico y buena parte de nuestro país se encuentra situada en él, desde las costas del Pacífico en el estado de Jalisco hasta la frontera con Guatemala.

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.

² La *intensidad* de un sismo es una medida de los efectos que éste 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.

En México se libera alrededor del 3% de la energía sísmica mundial, esta se encuentra concentrada principalmente en las regiones centro y sur de nuestro país en donde se ha dado también un creciente aumento y concentración de la población.

Las placas tectónicas que colindan con nuestro país son la del Pacífico, la de Norteamérica, Cocos, Rivera y la del Caribe; los principales sismos en México son causados por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Americana. La línea donde comienza la subducción se encuentra a pocos kilómetros frente a las costas de los Estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, por tanto, es cerca de allí donde se encuentra localizada la gran mayoría de los epicentros. Frente a las costas de Michoacán y Guerrero existe contacto entre las placas Norteamericana y de Cocos, ésta es una zona de subducción y origina una profundidad oceánica conocida como la fosa o trinchera de Acapulco, en estas, la litosfera es consumida y regresa al manto a una velocidad aproximada de 7.5 cm en un año, éste movimiento entre placas ocasiona prácticamente toda la actividad sísmica en la región sur de nuestro país.

Se tienen también problemas sísmicos causados por la falla de San Andrés en Baja California y norte de Sonora, así como a lo largo del Eje Neovolcánico, que atraviesa el país de lado a lado en su parte central.

La actividad sísmica es también un indicador de que la energía de deformación de las rocas es liberada, sin embargo, existen áreas que en períodos largos de tiempo reportan actividad sísmica nula, a éstas zonas se les denomina con el nombre de *brechas sísmicas* e indican que existe una acumulación importante de energía que necesariamente tendrá que ser liberada con un sismo fuerte.

En México existen importantes brechas sísmicas a lo largo de la trinchera del Pacífico, a saber, la de Michoacán, la de Guerrero, la de Acapulco y la de Omtepec (figura II.3), éstas áreas poseen un alto potencial sísmico y son lugares ideales para la instrumentación sísmica ya que por ejemplo, en la brecha de Guerrero desde 1908, exceptuando 1957, no ha habido actividad sísmica importante, y probablemente se llegue a desencadenar ahí un sismo severo de alrededor de 8.0 en la escala de Richter (Ref. 23).

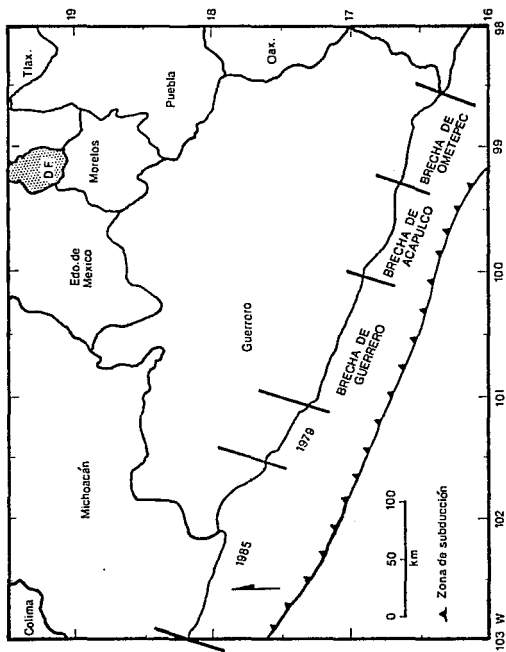


Figura II.3 Zona de subducción y brechas sísmicas en la República Mexicana.

La mayor parte de los sismos de grandes magnitudes ($M_s \geq 7$), y que son los que ocasionan daños graves, tienen epicentros en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. También han ocurrido grandes sismos en el centro y sur de Veracruz y Puebla, partes norte y centro de Oaxaca, Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos. En Sinaloa, Zacatecas, Durango y Sonora la sismicidad es más bien escasa, aunque en éste último ocurrió un sismo de magnitud 7.3 a fines del siglo pasado. En los Estados restantes no se han originado movimientos sísmicos de importancia aunque algunos llegan a ser afectados por los originados en otras regiones, como es el caso de Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala y Tabasco.

II.2.1 SISMOS MAS IMPORTANTES OCURRIDOS EN MEXICO

Durante los últimos noventa años se han registrado y localizado sismos ocurridos en la República Mexicana. De estos datos se observa que sismos con una magnitud $M_s \geq 7.0$ ocurren aproximadamente cada dos años y medio, como se muestra en la tabla II.1.

Evento	Fecha	Hora de Greenwich	Epicentro		Prof km	Magn (M_s)
			Lat N	Long W		
1	20 Ene 1900	06:33:30	20.00	105.00	< 30	7.6
2	16 Abr 1907	06:08:06	16.70	99.20	< 30	7.9
3	26 Mar 1908	23:03:30	18.00	99.00	< 30	7.8
4	30 Jul 1909	10:51:54	16.80	99.90	< 30	7.6
5	7 Jun 1911	11:02:42	17.50	102.50	< 30	7.8
6	16 Dic 1911	19:14:18	16.90	100.70	< 30	7.6
7	22 Mar 1928	04:17:02	16.23	95.45	< 30	7.7
8	17 Jun 1928	03:19:28	16.33	96.70	< 30	8.0

Tabla II.1 Sismos de magnitud ≥ 7.5 ocurridos en México de 1900 a 1993. (Ref. 38).

Evento	Fecha	Hora de Greenwich	Epicentro		Prof km	Magn (M _s)
			Lat N	Long W		
9	9 Oct 1928	03:01:07	16.34	97.29	< 30	7.8
10	15 Ene 1931	01:50:40	16.10	96.64	< 30	8.0
11	3 Jun 1932	10:36:52	19.84	103.99	< 30	8.4
12	18 Jun 1932	10:12:10	19.50	103.50	< 30	8.0
13	23 Dic 1937	13:17:58	17.10	98.07	< 30	7.7
14	15 Abr 1941	19:09:51	18.85	102.94	< 30	7.9
15	22 Feb 1943	09:20:44	17.62	101.15	< 30	7.7
16	28 Jul 1957	08:40:10	17.11	99.10	< 30	7.7
17	23 Ago 1965	19:46:02	16.30	95.80	< 30	7.8
18	30 Jun 1973	21:01:18	18.39	103.21	32	7.5
19	29 Nov 1978	10:52:47	16.00	96.69	19	7.8
20	14 Mar 1979	11:07:11	17.46	101.46	18	7.6
21	19 Sep 1985	13:17:49	18.14	102.71	16	8.1
22	21 Sep 1985	01:37:11	17.62	101.82	20	7.5

Tabla II.1 Continuación.

II.2.2 ZONIFICACION SISMICA DE MEXICO

En ingeniería civil interesa registrar los movimientos sísmicos fuertes en función de su relevancia en cuanto a sus efectos en las estructuras ya construidas o por construirse en una zona determinada.

A la República Mexicana le corresponde una sismicidad inferior solamente a la de Japón, esto se debe que vastas extensiones de aquella son sacudidas por temblores severos, que causan daños considerables y que pueden afectar profundamente las obras de infraestructura del país (Ref. 28), es importante señalar que si una zona de alta sismicidad está destinada a la construcción de instalaciones importantes, como son industrias, presas, puertos marítimos, asentamientos humanos, etc, y no cuenta con un reglamento de diseño sísmico, es conveniente entonces, colocar en toda su extensión una red de aparatos que registren temblores para reunir los datos con que puedan elaborarse estudios de sismicidad y riesgo sísmico del lugar. Partiendo de este punto y una vez que se tiene un historia de los sismos del lugar, se pueden dictar normas que permitan reducir la incertidumbre al diseñar estructuras.

En la figura II.4 se indican las cuatro zonas sísmicas en las que se divide la República Mexicana (Ref. 9),

- A. Zona de poca o nula sismicidad
- B. Zona de moderada sismicidad
- C. Zona de fuerte sismicidad
- D. Zona de máxima sismicidad

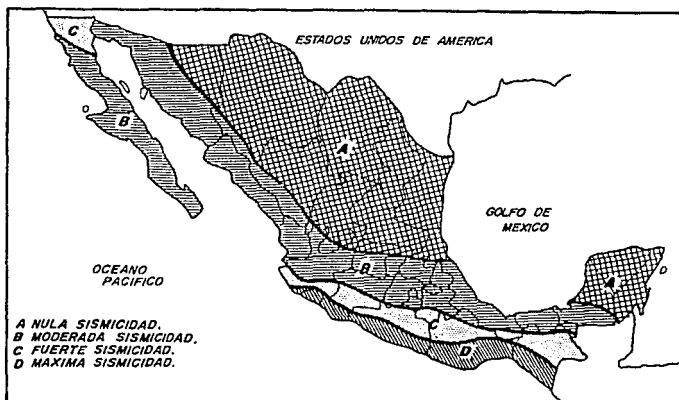


Figura II.4 Zonificación sísmica de la República Mexicana (Ref. 9).

Aunque la mayor parte de los sismos que ocurren en México y en el mundo se relacionan directamente con el movimiento de las placas tectónicas, hay temblores menos frecuentes que ocurren en los continentes, en el interior de las placas; este es el caso de los sismos que ocurren a lo largo del Eje Neovolcánico Mexicano y localmente en el Valle de México. Existe una estrecha relación entre las características de la sismicidad en la cuenca del Valle de México con las desfavorables condiciones de la geología regional. Para definir el potencial sísmico y de esta manera determinar una instrumentación adecuada para el Valle, se deben tener en cuenta factores diversos, entre los cuales destacan la variedad de suelos de la ciudad. Este dato es de gran importancia ya que influye considerablemente al presentarse un temblor.

A continuación se presenta una muy breve descripción de la zonificación sísmica de éste.

II.3 ZONIFICACION GEOTECNICA DEL VALLE DE MEXICO

En el extremo sur del altiplano mexicano (mesa de Anáhuac o Central) se localiza el Valle de México. Se trata de una cuenca cerrada que está limitada al norte por las sierras de Tepotzotlán y Pachuca, al sur por las sierras del Ajusco y Chichinautzin, al este por los llanos de Apán y la sierra Nevada, y al oeste por las sierras de las Cruces. Hacia el centro de la cuenca y corriendo de oeste a este se encuentra la sierra de Guadalupe. La cuenca tiene un área de 7160 km², una longitud de 110 km en dirección norte-sur, y ancho de 80 km en la este-oeste. Su parte más baja tiene una altitud de 2236 msnm.

La cuenca de México asemeja una enorme presa azolvada: la cortina, situada en el sur está representada por los basaltos de la sierra del Chichinautzin, mientras que los rellenos del vaso están constituidos en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por materiales erosionados derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes.

Los sismos que principalmente afectan al valle de México tienen su origen en diferentes partes de la República Mexicana, en la Costa del Pacífico (Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca) y en fallas locales, generadas en el interior de la cuenca e inmediaciones. Las distancias al Valle de los epicentros de los temblores que se originan en la Costa del Pacífico son en general menores de 400 km. Los sismos generados en esta zona, tienen efectos en el valle de México. Varios sismos con magnitudes M_s mayores de 6 originados fuera de la cuenca (con distancias epicentrales de hasta 400 km) se han manifestado en ella con muy altas intensidades. En cambio en otras partes del mundo a distancias epicentrales mayores de 100 km se verifica una gran atenuación del movimiento sísmico, esto se debe a la fuerte amplificación sísmica que existe en el Valle.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal clasifica los suelos de la ciudad dividiéndolos en tres zonas, en atención a las características principales de los estratos que se localizan en cada una y a datos provenientes de exploraciones y muestreos de cada área; estudios recientes de Reséndiz et al (1970), del Castillo (1978), Jaime Paredes (1987), e Iglesias (1989), proponen agregar una cuarta zona sísmica basada en investigaciones que indican una fuerte amplificación en la respuesta sísmica del suelo que produce severos daños en las estructuras. A continuación, de manera breve, se dan las características principales de las cuatro regiones geotécnicas en el Valle, en el mapa de la figura II.5 se representan estas.

a. Zona de lomas o de suelo firme (Zona I)

La zona de lomas del oeste de la ciudad está caracterizada por suelos compactos, areno-limosos, con alto contenido de gravas o por tobas bien cementadas. Al sur se tiene el derrame basáltico del Pedregal con espesor máximo de unos 20 m y en general errático y muy variable. Al oriente en las faldas de Santa Catarina y alrededor del Chichinautzin, también se encuentra basalto. Son zonas formadas por suelos firmes areno-limosos (tepetate) y tobas compactas de alta capacidad de carga y baja deformabilidad.

b. Zona de transición (Zona II)

La zona de transición se identifica por presentar variaciones estratigráficas muy marcadas de punto a punto, se encuentra entre la zona de lomas y del lago. Esta representa seguramente los avances y retrocesos de las riberas de los lagos de Texcoco y Xochimilco-Chalco y en otros casos deltas de ríos; por ello se pueden encontrar alternancias de materiales limosos y arenosos compactos con estratos de arcilla muy blanda. Los depósitos de transición forman una franja que divide los suelos lacustres de las sierras que rodean el valle y de los restos volcánicos que sobresalen en la zona del lago, de manera que constituye el cambio, por lo general progresivo, entre los materiales que forman la zona de lomas y los existentes en la zona del lago.

c. Zona del lago o de alta compresibilidad (Zona III)

La zona del lago de Texcoco consiste en un manto superficial duro, una secuencia de arcillas intercaladas con estratos delgados de arena, vidrio volcánico y fósiles, llamada formación arcillosa superior, una capa dura de limo arenoso cementado de espesor variable hasta un máximo de 5 m, una formación arcillosa inferior, con espesor variable entre 4 y 14 m, y finalmente los llamados depósitos profundos. Localizada al centro y al oriente de la Ciudad de México, fue cubierta originalmente por el lago de Tenochtitlán.

En ésta zona se asienta gran parte de la Ciudad de México, está formada por la sedimentación de arenas y arcillas de origen volcánico, las cuales fueron transportadas por el viento y las corrientes hacia las aguas tranquilas de los lagos que se originaron en la cuenca. Los suelos arcillosos blandos son las consecuencias del proceso de depósito y de alteración fisicoquímica de los materiales cólicos, aluviales y de las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre, donde existían abundantes colonias de microorganismos y vegetación acuática.

d. Zona de alto riesgo sísmico (Zona IV)

Iglesias, J. et al (1987) propusieron un método simplificado para la evaluación de la capacidad sísmica de edificios de concreto de altura media de la ciudad de México. Ellos prepararon un mapa de intensidades sísmicas en la ciudad de México correspondientes al sismo del 19 de Septiembre de 1985, basados en el coeficiente sísmico K , correspondiente a la condición de falla para cada edificio (Ref. 15).

Uno de los aspectos sobresalientes del estudio de Iglesias et al, 1987 es que determinan que la zona de transición entre los lagos de Texcoco y de Xochimilco-Chalco es de alto riesgo sísmico. Opinan, sin demostrar estrictamente, que muchos de los daños en diferentes partes de la ciudad se debieron a la interacción lateral entre zonas de terreno firme y blando lo suficientemente cercanas para producir el rebote y superposición de las ondas superficiales, para lo cual se basan en la topografía regional, la existencia de islotes en diferentes partes del lago de Texcoco y la concentración de las zonas de daños.

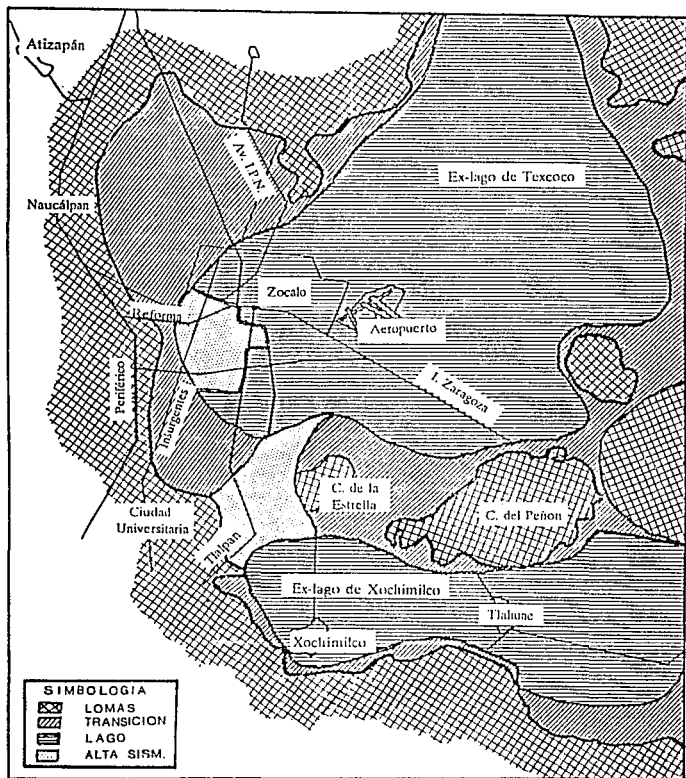


Figura II.5 Zonificación geotécnica del Valle de México (Ref. 15).

Las características del subsuelo del Valle de México, como lo son los depósitos aluviales existentes en la Cuenca, amplifican el movimiento y por tanto los efectos durante la ocurrencia de temblores fuertes, lejanos a este. Estos fenómenos originados muchas veces a distancias epicentrales mayores de 300 km, han revelado sus efectos en forma notable causando destrucción considerable sobre todo en las partes de la Ciudad edificadas dentro de la zona del lago, es decir, en sitios caracterizados por grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad, con contenidos de agua que llegan a superar el 400 %, dando por resultado importantes amplificaciones de las ondas sísmicas y comprobándose de ésta manera, la susceptibilidad local del terreno ante el efecto sísmico. Una explicación de éste fenómeno es que las ondas sísmicas son filtradas al atravesar de los depósitos profundos a los estratos arcillosos, lo que ocasiona que se incremente la amplitud del movimiento y se modifique su contenido de frecuencias, es claro que tales factores dependen de los espesores de la arcilla y de sus propiedades dinámicas.

La Cuenca del Valle de México se formó y continua haciendolo en base a una gran actividad volcánica, tectónica, de procesos hidrológicos, climáticos, etc, lo que en conjunto ha generado montañas, volcanes, erupciones y barreras que al cerrar los drenes naturales del Valle, indujeron inundaciones y acumulación de arcillas lacustres, entre otros materiales de variada composición, ocasionando una estratigrafía compleja en la zona con gran diversidad de problemas y retos para la Ingeniería civil como son: hundimientos, levantamientos, baja resistencia, tensiones, etc.

La Ciudad de México y en especial las Zonas III y IV representan lugares estratégicos para la instrumentación de temblores fuertes dado su alto riesgo sísmico, estos estudios pueden ser punto de partida para mejoras al Reglamento de Construcción del Distrito Federal. Sin embargo, existen áreas en crecimiento hacia el sureste de la ciudad poco exploradas desde el punto de vista geotécnico que convendría investigar, en dichas partes se presentaron aceleraciones importantes durante los sismos de Septiembre de 1985 y probablemente el bajo índice de daños se debió a la escasa densidad de construcciones.

III. REDES ACELEROGRAFICAS

"...éstos lagos son los creadores y destructores de los pueblos que produjeron. Ahora se encuentran secos y toman venganza de la ciudad que los ha destruido..."

(Ignacio Bernal, Tenochtitlán en una isla)

Los datos provenientes de la instrumentación sísmica de temblores fuertes son la base para la investigación en lo relativo a diseño sismorresistente, procesamiento sísmico y estudios de la estructura interna de la tierra. Consecuentemente, los registros de movimientos fuertes obtenidos por medio de Redes Acelerográficas son vitales para la reducción de daños producidos por sismos.

El terreno se deforma durante un sismo, por tanto, una descripción relativamente completa del movimiento durante un temblor requiere el registro simultaneo en varios puntos y en tres direcciones ortogonales en el sitio. Los registros deben obtenerse para los sismos de intensidad suficientemente elevada para que tengan efectos significativos en las estructuras.

Para definir una instrumentación adecuada deben tenerse en cuenta factores diversos, entre los que destaca el tipo de suelo en donde se pretende colocar los instrumentos. Este dato es de gran importancia ya que influirá considerablemente en la ubicación, número y tipo de aparatos requeridos y ayudará a conocer la probable respuesta de una estructura determinada cuando se presente un temblor.

Hoy en día se cuenta con más de 100 estaciones de registro en la Ciudad de México, prácticamente todas de tipo digital, a nivel de todo el país el número es de alrededor de 300 estaciones (figura III.1), también se tiene una historia de unos 1500 registros de temblores desde 1960 a la fecha. Sin embargo, si comparamos la instrumentación con el riesgo sísmico, entonces nos damos cuenta de que es necesario monitorear aún mejor la actividad sísmica, con el fin de incrementar los niveles de seguridad en las estructuras.

En éste capítulo se presenta una breve descripción de las Redes Acelerográficas con que se cuenta para el registro de sismos en la República Mexicana. Como información adicional se agrega una relación de los aparatos que existen en ciudades de otros países localizadas también en zonas de alta sismicidad.

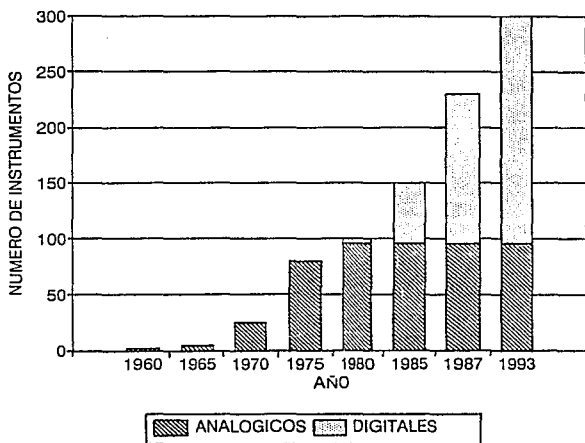


Figura III.1 Instrumentación sísmica para registro de temblores fuertes en México desde 1960 (Ref. 31).

III.1 INSTRUMENTOS USADOS EN MEDICIONES SISMICAS DE TEMBLORES FUERTES

Para el estudio de 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 utilizados principalmente por 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, temblores cercanos que sean débiles, imperceptibles al ser humano, sin embargo, la alta sensibilidad de éstos, impide obtener registros completos de temblores intensos, ya que no es posible registrar el movimiento a lo largo de toda la línea del registro, ello ha dado lugar al desarrollo de los acelerógrafos. Estos aparatos fueron desarrollados durante los años 30 cuando fue evidente que se requería un instrumento de sensibilidad mucho menor para captar el movimiento del terreno, durante el tiempo que durara el sismo por muy violento que éste fuera.

Los instrumentos que se emplean para el registro de temblores fuertes, detectan la aceleración del terreno en dos direcciones horizontales y una vertical. Esta clase de aparatos es la que proporciona datos de interés en ingeniería civil pues a diferencia de los sismógrafos, tienen la característica de registrar la aceleración del suelo durante un sismo no importando que tan grande sea este.

Para que un aparato registre con suficiente precisión los pulsos de aceleración a los que se le sujeta, es necesario que tenga un período natural unas tres veces menor que la duración del pulso de aceleración más corto que se pretende registrar y que su amortiguamiento esté entre el 40% y 70% del crítico¹ (Ref. 26).

La sensibilidad debe ser tal que el aparato registre con suficiente amplificación los movimientos intensos más probables y que éstos no excedan la escala de registro. Es difícil fijar éste último límite dada la erraticidad de algunas de las variables, entre las que se cuentan la distancia focal, la energía liberada por el temblor y las características geológicas, tanto del lugar como de las zonas que las ondas sísmicas atraviesen. Para fijar éste límite debe considerarse que la aceleración máxima que se ha registrado hasta ahora (Acapulco, 19 de Marzo de 1978) es de 0.74 g, en ese caso el acelerógrafo, colocado en terreno aluvial, estaba a 30 km del epicentro. Por tanto parece conveniente fijar de manera tentativa 1.0 g como límite superior de las aceleraciones que interesa registrar. Conviene contar con aparatos de sensibilidad ajustable, característica útil por ejemplo en la instrumentación de edificios, ya que las aceleraciones se incrementan en los pisos superiores con respecto a la planta baja, de manera que los acelerógrafos son capaces de registrar aceleraciones mayores que la gravedad terrestre, por lo que los acelerogramas obtenidos nunca se encuentran saturados, como consecuencia de ésto, para la medición de movimientos intensos del terreno se ha preferido el uso de acelerógrafos, además, principalmente por ser la aceleración en la base de la estructura la que permite el cálculo directo de la acción de diseño sísmico.

Actualmente existen dos tipos de acelerógrafos: analógicos y digitales. La diferencia principal entre ambos consiste en la forma en que registran el movimiento del terreno, mientras que los analógicos lo hacen sobre una película fotográfica, los digitales lo hacen en cintas magnética ó memoria de estado sólido. El registro se efectúa automáticamente al presentarse un sismo de mediana o alta intensidad, y se inicia cuando el movimiento del terreno llega a cierto umbral, el mecanismo de registro se detiene de 0.5 a 3.0 minutos después de arrancar, y está listo para empezar a registrar de nuevo, el disparador debe ajustarse de manera que el instrumento no almacene perturbaciones que no interesan como son, las vibraciones producidas por el tránsito local.

¹ En vibración libre, se define como *amortiguamiento crítico* a aquel para el cual el sistema, después de desplazado, volvería a su posición de reposo sin oscilar.

Los acelerogramas son de gran utilidad en ingeniería sísmica, ya que conociendo las aceleraciones del terreno es posible estimar las fuerzas de inercia que se generan en la base de las estructuras. No obstante, en los aparatos analógicos, "la pérdida de las porciones iniciales de los registros, debida a la limitada sensibilidad del mecanismo de arranque, es una particularidad inconveniente de éstos instrumentos comercialmente disponibles para movimientos intensos. La cuestión es crítica para movimientos moderados, ya que para estos movimientos puede implicar la pérdida de una parte considerable del registro" (Ref. 36).

Los acelerógrafos digitales, a diferencia de los analógicos, permiten grabar la señal completa, desde poco antes que inicie el movimiento, hasta que éste termine. De manera muy general se describe a continuación los elementos que lo incorporan (figura III.2):

- a. Un algoritmo de detección que dispara al sistema al ser rebasado cierto umbral de movimiento prefijado.
- b. Tres sensores de movimiento (acelerómetros).
- c. Un sistema de control de tiempo.
- d. Una unidad de almacenamiento de datos.
- e. Suministro de energía.

Durante el proceso de adquisición de datos se ejecuta un algoritmo de detección que analiza las señales individuales de los sensores y después de filtrarlas las compara con el umbral preestablecido, sólo al ocurrir un sismo intenso que satisfaga el criterio de comparación en cualquiera de los sensores, se dispara el aparato y comienza a almacenar los datos retardados de la memoria de preevento en la unidad de almacenamiento. Con la memoria de preevento se garantiza que la parte inicial del temblor, previa al punto de disparo, queda registrada.

Al conjunto de instrumentos de registros sísmicos, distribuidos en una zona determinada con el objeto de analizar, ya sea la sismicidad local o regional, se le llama *Red de Observación Sísmica*.

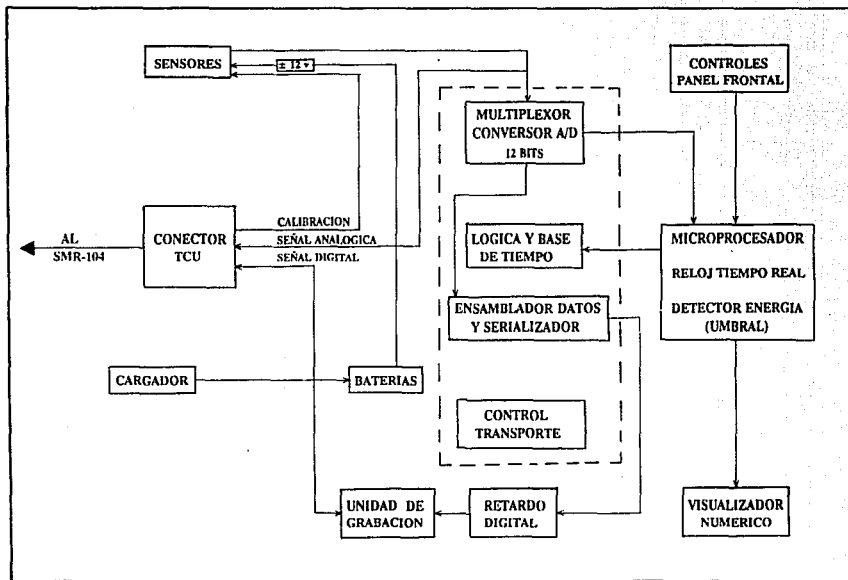


Figura III.2 Diagrama simplificado de un acelerógrafo digital.

III.2 REDES ACELEROGRAFICAS EN MEXICO

El estudio del fenómeno sísmico representa un doble reto: estudiar y comprender su naturaleza desde el punto de vista geofísico, y desde el punto de vista de la ingeniería civil, entender sus efectos sobre los suelos 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 una estructura (Ref. 32). 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 riesgos y daños provenientes de fenómenos sísmicos, así como integrar un acervo de información y documentación que incremente los niveles de seguridad en zonas sísmicas.

La Red Nacional Acelerográfica está constituida con el apoyo de diversas instituciones entre las que se encuentran, 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 Acelerográficas abarcan también la instrumentación de algunos edificios, para un mejor monitoreo del comportamiento dinámico de las estructuras.

A continuación se describirá la distribución, cantidad, tipo de equipo y aportaciones de datos que se han registrado gracias a éstas redes acelerográficas en el país.

III.2.1 RED DE INSTRUMENTACION SISMICA DEL CICESE

En una zona de alto riesgo sísmico, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Ensenada, Baja California, se encarga de operar y mantener una Red de Acelerógrafos en el Noroeste de nuestro país desde 1978 hasta la fecha.

Una de las regiones de mayor actividad sísmica en nuestro país se encuentra en el norte de Baja California, en la frontera principal entre dos grandes placas tectónicas: la del Pacífico y la de Norteamérica, debido a la interacción de éstas placas la sismicidad es continua en la región. El conocimiento actual acerca de ésta sismicidad y algunas de sus características, los parámetros de fuente de los sismos y la atenuación de las ondas sísmicas en la región, se ha logrado gracias a la contribución de estudios basados en información proporcionada por la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOR). Esta red es una fuente importante de datos y su desarrollo ha estado estrechamente ligado al desarrollo de los estudios sísmicos de la región.

Actualmente RESNOR se integra con diez estaciones distribuidas en las regiones norte de Baja California y noroeste de Sonora, México. La distribución geográfica actual y las características de cada una de las estaciones están indicadas en la tabla III.1. Las estaciones de RESNOR utilizan un sistema de telemetría digital para enviar las señales sísmicas al centro de procesamiento ubicado en la ciudad de Ensenada, Baja California.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		CODIGO
			Lat N	Long W	
1	Ensenada	Riolita	31.56	116.40	ENX
2	Cerro Bola	Riolita	32.18	116.39	CBX
3	San Pedro Mártir	Granodiorita	31.02	115.28	SPX
4	Cerro Prieto	Basalto	32.25	115.18	CPBX
5	El Mayor	Granito	31.59	115.14	EMX
6	Punta Banda	R. Volcánica	31.44	116.43	PBX
7	El Chinero	Basalto	31.28	115.03	ECBX
8	La Mesa	Arena no Consolidada	32.06	114.57	LMX
9	Rancho Dawling	Granodiorita	31.56	115.57	RDX
10	San Felipe	Granito	30.53	114.58	SFX

Tabla III.1 Red de Observación Sísmica del CICESE

En el mapa de la figura III.3, se muestran las principales fallas de las regiones sur de Baja California, en Estados Unidos y norte de Baja California, en México, así como la ubicación de las estaciones sísmicas por medio de triángulos.

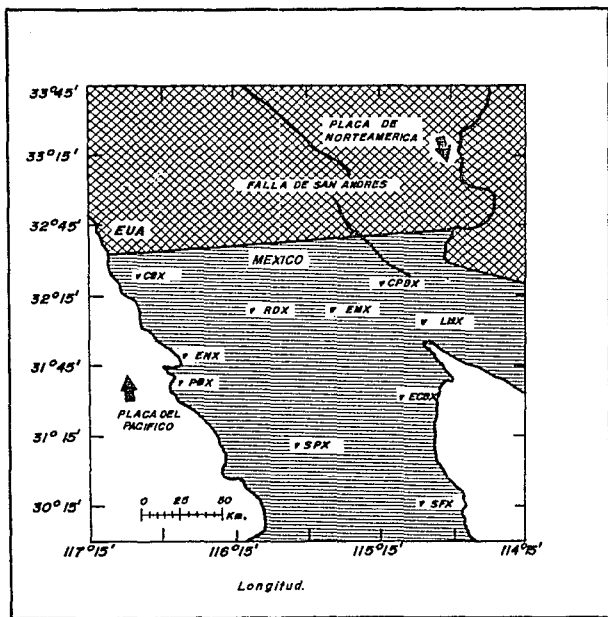


Figura III.3 Red de Observación sísmica del Noroeste de México.

III.2.2 RED DE OBSERVACION SISMICA DEL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

En Abril de 1990 entra en operación una extensa red sísmica digital para la observación y registro de temblores fuertes en México. El sistema forma parte de las instalaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastre, CENAPRED. El Centro está ubicado en terrenos de la UNAM en la parte sur de Ciudad Universitaria. Su red de observación sísmica está constituida por un total de 15 estaciones autónomas de registro y un puesto central de recepción y procesamiento de la información ubicados en las instalaciones del propio CENAPRED, la red se encuentra dividida a su vez en dos subredes, la primera se encuentra localizada entre Acapulco y la Cd. de México y cuenta con cinco estaciones acelerográficas instaladas sobre roca firme en los siguientes sitios: Acapulco, Chilpancingo, Mezcala, Iguala y Cuernavaca, se le conoce con el nombre de *red de atenuación*. (tabla III.2)

El propósito fundamental de éste sistema es el registro de temblores a lo largo de la zona epicentral y el estudio de las características de propagación de las ondas sísmicas en su trayectoria a la ciudad de México. (figura III.4)

NUM	NOMBRE	SENSORES	COORDENADAS	
			Lat N	Long W
1	Acapulco, Gro, Las Brisas	En superficie	16.84	99.89
2	Chilpancingo Guerrero	En superficie	17.47	99.45
3	Mezcala, Guerrero	En superficie	17.93	99.59
4	Iguala, Guerrero, Platanillo	En superficie	18.40	99.51
5	Cuernavaca, Morelos, UAEM	En superficie	18.98	99.24

Tabla III.2 Estaciones en la línea Acapulco-México. CENAPRED

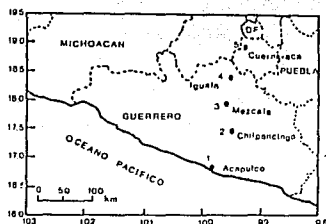


Figura III.4 Localización de las estaciones de la red de atenuación CENAPRED.

La segunda parte del sistema de observación sísmico está formado por una subred de 10 estaciones instaladas en distintos puntos de la Ciudad de México, es la *red de la Ciudad de México*, (tabla III.3), la distribución de estaciones de esta subred, se hizo con base en la zonificación de la Ciudad de acuerdo al tipo de suelo (figura III.5). Los objetivos principales de éste sistema son el estudio de las características de las ondas sísmica que inciden en el Valle y que provienen de la costa, así como el comportamiento de los diferentes tipos de suelo bajo acción sísmica, razón por la cual se instalaron en la mayoría de las estaciones no sólo acelerómetros triaxiales en la superficie, sino también sensores triaxiales en pozos profundos a diferente elevación. La profundidad de los sensores se eligió con base en estudios de los suelos y de los perfiles estratigráficos de cada sitio.

NUM	NOMBRE	SENSORES	COORDENADAS	
			Lat N	Long W
6	Coyoacán, Delegación Coyoacán	En superficie y en pozo a 12 m y 70 m	19.35	99.17
7	Tlacotal Delegación Iztacalco	En superficie y en pozo a 30 m y 86 m	19.40	99.10

Tabla III.3 Estaciones en la Ciudad de México. CENAPRED.

NUM	NOMBRE	SENSORES	COORDENADAS	
			Lat N	Long W
8	Zaragoza Delegación V. Carranza	En pozo a 30 m y a 86 m	19.42	99.09
9	Unidad Kennedy Delegación V. Carranza	Superficie, en pozo a 30 y 83 m, en base y azotea de edificio	19.42	99.11
10	A. Colonia Roma Cuahutémoc	En superficie	19.42	99.15
11	B. Colonia Roma Cuahutémoc	En superficie	19.42	99.15
12	C. Colonia Roma Cuahutémoc	En superficie En pozo a 30 y 102 m	19.42	99.15
13	La Eztanzuela Gustavo A. Madero	En superficie	19.49	99.11
14	Chapultepec Del. Miguel Hidalgo	En superficie en pozo a 22 y a 52 m	19.42	99.20
15	IMP Delegación Azcapotzalco	Superficie, base y azotea de edificio	19.49	99.15

Tabla III.3 Continuación.

Todos los instrumentos, al igual que los de la red de atenuación, son acelerógrafos digitales triaxiales con registro local. Todas las estaciones de las redes están comunicadas mediante un enlace de telemetría al puesto central en el CENAPRED.

Cada estación cuenta con acelerógrafos digitales marca akashi, modelo SMAC-MD, y almacena hasta tres señales distintas en cada uno de sus sensores triaxiales, es decir, el instrumento tiene capacidad de hasta nueve canales.

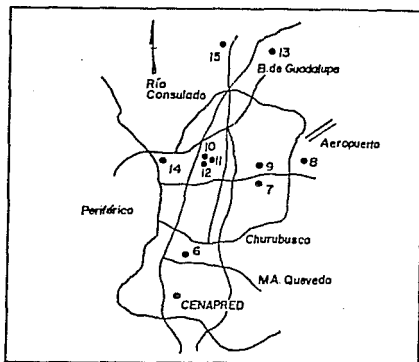


Figura III.5 Localización de las estaciones en la red de la Ciudad de México. CENAPRED.

Los sensores se colocan ortogonalmente unos con respecto a otros, en dirección longitudinal, vertical y transversal. Al satisfacerse el criterio de disparo del algoritmo de detección, la información es almacenada en memoria de estado sólido. Cada vez que el acelerógrafo dispara al presentarse un evento sísmico fuerte, se transmite al CENAPRED la hora de inicio del evento, los valores máximos de la aceleración y un código de la operación del instrumento.

III.2.3 RED ACELEROGRAFICA DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) por medio de la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control (GIEC), cuenta con una Red de Observación Sísmica de 15 estaciones y 55 acelerógrafos distribuidos en diversas zonas del país, instalados en campo libre, principalmente en presas hidroeléctricas. El Departamento de instrumentación de la GIEC es el encargado del proceso de la información de sus 55 acelerógrafos, de los cuales 8 son analógicos, con registro en película de 70 mm, y 47 del tipo digital, con registro en cassette y memoria de estado sólido.

La instalación y operación de acelerógrafos en grandes presas, forma parte del programa integral de CFE para realizar mediciones que permitan obtener información que contribuya principalmente en dos objetivos:

- a. Evaluar la seguridad de grandes presas.
- b. Obtener datos de su comportamiento que permitan ampliar el estado del conocimiento de este tipo de estructuras.

Las orientaciones de los equipos, componentes longitudinal y transversal, son respecto al cuerpo de las presas y no al norte geográfico, como se hace normalmente con los equipos instalados en campo libre.

En la tabla III.4 se resumen los datos principales de la Red de Observación Sísmica CFE-GIEC. En la figura III.6 se muestra la distribución de la misma.

NUM	LUGAR	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE APARATO*
		Lat N	Long W		
1	Aguamilpa	21.833	104.790	Ignimbrita	1 D3R
2	Angostura	16.383	92.780	grava-arena	3 D3R y 3 SMA
3	Caracol	17.950	99.967	Enroc. compactado	4 DC3 y 2 D31
4	Chicoasén	16.933	93.100	Enroc. a volteo	5 DC3 y 1 SMA
5	Infiernillo	18.283	101.900	Enroc. a volteo	6 DCA y 1 DCA
6	Lag. Verde	19.200	96.133	Estructura	2 DCA y 1 DCA
7	Malpaso	17.167	93.600	Enrocamiento	3 SMA
8	Novillo	28.967	109.633	Riolitas	2 DC3
9	Peñitas	17.433	93.450	Enrocamiento	5 DC3
10	Petacalco	17.983	102.117	Lutitas	1 DC3
11	Santa Rosa	20.912	103.708	Riolita	2 DC3
12	Soledad	19.958	97.450	Tobas	3 DC3
13	Temascal	18.228	96.415	Lutitas-areniscas	1 SMA
14	Villita	18.982	102.190	Brecha andesítica	7 DC3 y 1 D30
15	Zimapán	20.666	99.500	Roca Sedimentaria	1 DC3
		* D3R=DCA-333R SMA=SMA-1	D30=DCA-300 D31=DCA-310	DC3=DCA-333	

Tabla III.4 Red de Observación Sísmica de la CFE-GIEC.

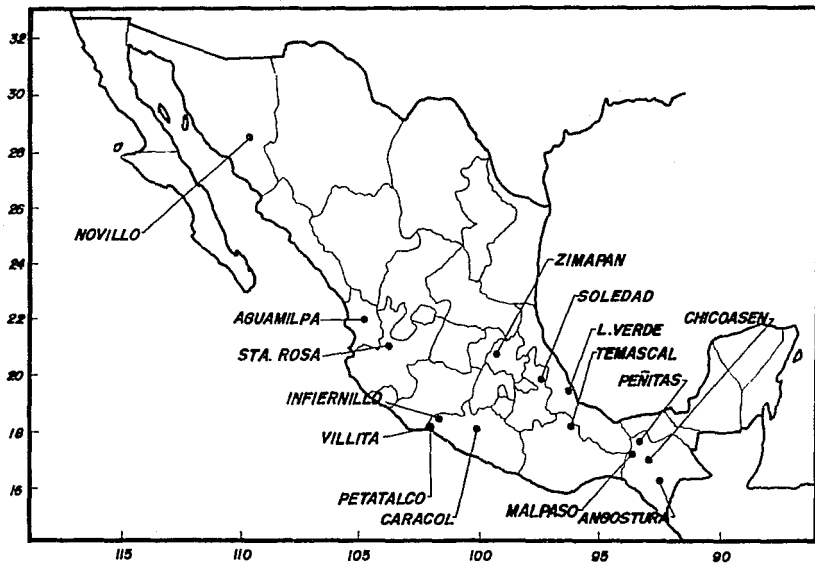


Figura III.6 Red de observación sísmica CFE-GIEC.

III.2.4 RED DE OBSERVACION SISMICA DE LA FUNDACION ICA

La Fundación ICA fue constituida el 27 de Octubre de 1986, con el principal objetivo de llevar a cabo investigaciones relacionadas con la ingeniería sísmica. Esta formuló un programa de trabajo orientado a conocer las características de la respuesta sísmica del terreno de la ciudad de México y a identificar los efectos de la vibración del suelo en las edificaciones. Con base en este planteamiento se instalaron 30 acelerógrafos de superficie y 2 de pozo.

El objetivo básico del proyecto sobre ingeniería sísmica que inició FICA en 1987, es conocer con la mayor aproximación posible la respuesta del terreno de la ciudad de México ante la acción de sismos originados en diversos focos y establecer el efecto de esos movimientos sobre las estructuras.

La tabla III.5 muestra la Red de Observación Sísmica de la Fundación ICA, se listan sus coordenadas, tipo de suelo y localización de las mismas.

#	ESTACION	CLAVE	TIPO DE SUELO	UBICACION	COORDENADAS	
					Lat N	Long W
1	Alameda	ALMS	Terreno blando Material compresible (arcilla)	Jardín Alameda entre Av. Hidalgo y Av. Juárez, Centro	19.4356	99.1453
2	C.U. Juárez	CJUS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Orizaba esquina con Antonio Anza Roma Norte	19.4097	99.1567

Tabla III.5 Estaciones acelerográficas de la Fundación ICA.

#	ESTACION	CLAVE	TIPO DE SUELO	UBICACION	COORDENADAS	
					Lat N	Long W
3	Cibeles	CIBS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria "Alberto Correa", Colima 291, Roma Norte	19.4186	99.1653
4	Tecamachalco	TECS	Terreno firme materiales compactos (limos, arenas, gravas)	Lab. SARH Sierra Gorda #23 Lomas Barrilaco	19.4269	99.2217
5	Valle Gómez	VGOS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Sec. No 104, Cananea, entre Platino y Cobre, Nicolas Bravo	19.4359	99.1225
6	Autódromo	AUTS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Autodromo Hnos. Rodriguez, Churubusco, Cd. Deportiva	19.3919	99.0869
7	Tlalpan	TLPS	Terreno firme materiales compactos (limos, arenas, gravas)	Esc. Primaria "1 de Mayo", las Fuentes # 16, San Fernando	19.2922	99.1708
8	Miramontes	MIRS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Glorieta en Periférico Sur y Canal de Miramontes	19.2834	99.1253
9	Lindavista	LINS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Campo deportivo Miguel Alemán Col. Lindavista	19.4931	99.1275
10	Meychualco	MEYS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Av. 6 entre calles 71 y 73 Santa Cruz Meychualco	19.3461	99.0433

Tabla III.5 Continuación.

#	ESTACION	CLAVE	TIPO DE SUELO	UBICACION	COORDENADAS	
					Lat N	Long W
11	Colina del Sur	COSS	Terreno firme materiales compactos (limos, arenas, gravas)	Esc. Secundaria 145, Av. de Los Corceles y Estudiantina, Col. del Sur	19.3653	99.2261
12	CETIS	CETS	Terreno blando material compresible (arcilla)	CETIS 54 Aragón Eje 5 y 3 Norte, San Juan de Aragón	19.4619	99.0642
13	PCC Superficie	PCCS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Delicias # 67 Centro	19.4283	99.1444
14	PCC Pozo 20 m	PCC1	Terreno blando material compresible (arcilla)	Delicias # 67 Centro	19.4283	99.1444
15	PCC Pozo 40 m	PCC2	Terreno blando material compresible (arcilla)	Delicias # 67 Centro	19.4283	99.1444
16	Granjas Superf.	GRAS	Terreno estratificado Arcillas, limos arenas	Esc. Secundaria # 55, Norte 87 y Aspiros, Col. Electricistas	19.4747	99.1797
17	Villa del Mar	VIMS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Jardín de niños Valentín Zamora Orozco, Playa Flamings, Campo Marte	19.3811	99.1253
18	Netzahualcoyotl	NEZS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Normal ENEM 52, entre Jacaranda y Azahar.	19.4167	99.0247

Tabla III.5 Continuación.

#	ESTACION	CLAVE	TIPO DE SUELO	UBICACION	COORDENADAS	
					Lat N	Long W
19	Liconsa	LICS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Planta LICONSA, Josefa Ortiz de Domínguez, Santa C. Yecahuitzotl	19.3064	98.9631
20	Tlahuac	TLHS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria Antonio Caso, Poniente 4 y Norte I, Tlahuac	19.2786	99.0000
21	Xotepingo	XOTS	Terreno blando material compresible (arcilla)	DGCOH Xotepingo, entre Div. del Norte y Bugambillas.	19.3322	99.1439
22	Bondojito	BONS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria M. Lanz Duret, Henry Ford, entre Norte 72A y 74A	19.4653	99.1047
23	Hangares	HANS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Hangar Aerofoto Aeropuerto Internacional Benito Juárez	19.4183	99.0786
24	Jamaica	JAMS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Deportivo Pino Suárez Calzada de la Viga Jamaica	19.4053	99.1250
25	Balderas	BALS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria C. Revolución Arcos de Belem y Niños Héroes	19.4253	99.1481
26	Coyoacán	CYOS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria C. Escolar Alemán, Coyoacán-Félix Cuevas.	19.3714	99.1703

Tabla III.5 Continuación.

#	ESTACION	CLAVE	TIPO DE SUELO	UBICACION	COORDENADAS	
					Lat N	Long W
27	Buenos Aires	BAIS	Terreno estratificado Arcillas, limos arenas	Esc. Sec. # 102 Doctor Márquez y Eje Central, Buenos Aires	19.4097	99.1450
28	Sector Popular	SEPS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria Alberto Maz Ferrer, Oriente 160 y Sur 103-A	19.3656	99.1189
29	San Simón	SIMS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Esc. Primaria Pedro Ascencio, Eje Central entre calle 9 y Méndez	19.3753	99.1483
30	Tlatelolco	TLTS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Deportivo 5 de Mayo, calle Lerdo y Eje 1 Poniente Tlatelolco	19.4356	99.1425
31	Escandón	ESCS	Terreno estratificado Arcillas, limos arenas	Esc. Primaria Miguel F. Fernández, Martí y Comercio	19.4017	99.1775
32	Candelaria	CANS	Terreno blando material compresible (arcilla)	Dep. Venustiano Carranza, entre Robelo-Sidar, El Parque	19.4258	99.1183

Tabla III.5 Continuación.

Los instrumentos usados para la Red Acelerográfica del Valle de México por la Fundación ICA, son todos tipo SSA-1, fabricados por Kinometrics y son de registro de memoria de estado sólido. La ubicación de las estaciones de la Fundación ICA se muestra en el mapa de la figura III.7.

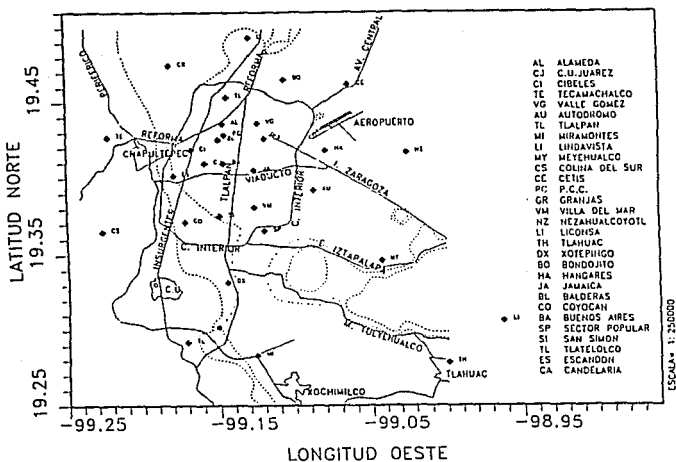


Figura III.7 Red de Observación sísmica de la Fundación ICA.

III.2.5 RED DE OBSERVACION SISMICA DE LA FUNDACION JAVIER BARROS SIERRA

La Fundación Javier Barros Sierra fue constituida en 1975, es una Asociación Civil de carácter científico y tecnológico. A través del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) opera 43 estaciones acelerográficas en la Ciudad de México, la red cuenta con 40 estaciones de superficie y 3 de pozo profundo, de éstas últimas, la ubicada en Televisa San Angel (IMP-SEP) tiene colocados sus sensores a 10 m y 40 m de profundidad y la localizada en Central de Abastos (CDAO) los tiene a 12, 30, y 60 m.

En la tabla III.6 se muestran las características más importantes de cada una de sus estaciones, y en la figura III.8 su ubicación.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
1	Aeropuerto	Arcilloso Zona del Lago	19.429	99.0584	DCA-333
2	CUPJ	Alto Riesgo Sísmico	19.4098	99.1566	DCA-333
3	Xochipilli	Alto Riesgo Sísmico	19.4198	99.1353	DCA-333
4	Tlatelolco	Arcilloso Zona del Lago	19.45	99.1336	DCA-333
5	P. Elías Chávez	Arcilloso Zona del Lago	19.3899	99.1318	DCA-333

Tabla III.6 Estaciones acelerográfica de la Fundación Javier Barros Sierra.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
6	Deportivo Moctezuma	Arcilloso Zona del Lago	19.4312	99.0963	DCA-333
7	Aragón	Arcilloso Zona del Lago	19.4808	99.0760	DCA-333
8	Deportivo Reynosa	Transición	19.5005	99.1829	DCA-333
9	Cerro de la Estrella	Arenoso Limoso, compacto	19.3398	99.0847	DCA-333
10	Netzahualcoyotl	Arcilloso Zona del Lago	19.4027	99.0000	DCA-333
11	IBERO	Alto Riesgo Sísmico	19.3450	99.1297	DCA-333
12	Alberca Olímpica	Transición	19.3580	99.1539	DCA-333
13	Cerro del Peñón	Arenoso Limoso, compacto	19.4385	99.0839	DCA-333
14	Esparza Oteo	Transición	19.3885	99.1772	DCA-333
15	CETIS 57	Arcilloso Zona del Lago	19.3858	99.0537	DCA-333
16	San Pedro Actopan	Arcilloso Zona del Lago	19.2016	99.0491	DCA-333

Tabla III.6 Continuación.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
17	Xochimilco	Alto Riesgo Sísmico	19.2711	99.1024	DCA-333
18	García Campillo	Alto Riesgo Sísmico	19.3161	99.1059	DCA-333
19	SEP-IMP	Arenoso Limoso, compacto	19.3428	99.2032	DCA-333
20	Palacio de los Deportes	Arcilloso Zona del Lago	19.4055	99.0997	DCA-333
21	Unidad Colonia IMSS	Alto Riesgo Sísmico	19.4337	99.1654	DCA-333
22	Angel Urraza	Transición	19.3832	99.1681	DCA-333
23	Rodolfo Menendez	Arenoso Limoso, compacto	19.4359	99.1280	DCA-333
24	Mariscal Tito	Arenoso Limoso, compacto	19.4253	99.1900	DCA-333
25	Mariano Escobedo	Transición	19.4383	99.1820	DCA-333
26	Jardines de Coyoacán	Arcilloso Zona del Lago	19.3130	99.1272	DCA-333
27	Córdoba	Alto Riesgo Sísmico	19.4215	99.1569	DCA-333

Tabla III.6 Continuación.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
28	Liverpool	Alto Riesgo Sismico	19.4263	99.1569	DCA-333
29	Garibaldi	Arcilloso Zona del Lago	19.4385	99.1401	DCA-333
30	Cerro del Tepeyac	Arenoso Limoso, compacto	19.4876	99.1137	DCA-333
31	CDAO Pozo 12	Arcilloso Zona del Lago	19.3728	99.0983	DCA-300
32	CDAO Pozo 30	Arcilloso Zona del Lago	19.3728	99.0983	DCA-300
33	CDAO Pozo 60	Arcilloso Zona del Lago	19.3728	99.0983	DCA-300
34	Apatlaco	Arcilloso Zona del Lago	19.3809	99.1068	DCA-333
35	SEP-IMP Pozo 10	Arenoso Limoso, compacto	19.3428	99.2032	DCA-300
36	SEP-IMP Pozo 40	Arenoso Limoso, compacto	19.3428	99.2032	DCA-300
37	Hospital Juárez	Alto Riesgo Sismico	19.4251	99.1301	DCA-333

Tabla III.6 Continuación.

NUM	ESTACION	TIPO DE SUELO	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
38	FJBS	Arenoso Limoso, compacto	19.2990	99.2100	DCA-333
39	Colinas del Sur	Arenoso Limoso, compacto	19.3656	99.2262	DCA-333
40	Cuemanco	Arcilloso Zona del Lago	19.2938	99.1037	DCA-333
41	Culhuacán	Alto Riesgo Sísmico	19.3300	99.1254	DCA-333

Tabla III.6 Continuación.

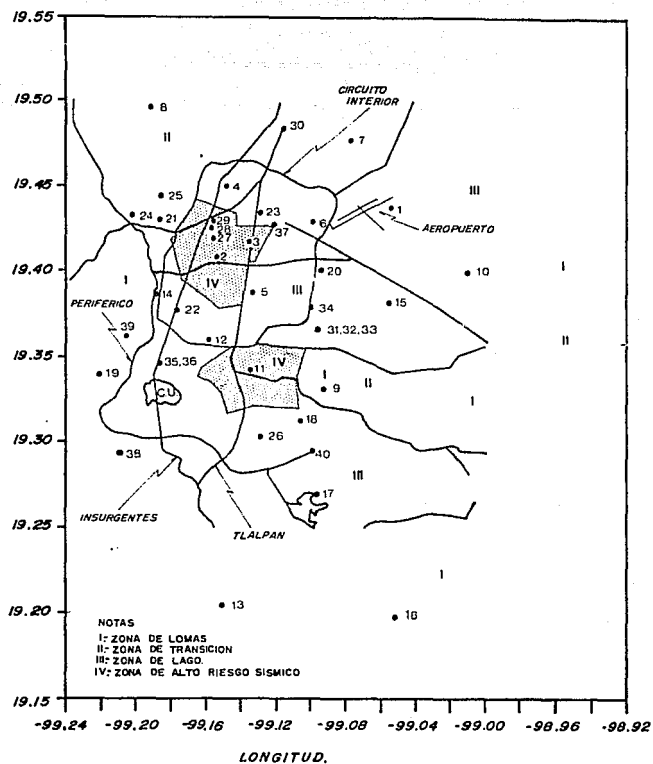


Figura III.8 Red de Observación sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra.

III.2.6 RED DE OBSERVATORIOS SISMOLOGICOS DEL INSTITUTO DE GEOFISICA DE LA UNAM -

A partir de 1992, con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y la Universidad Nacional Autónoma de México, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional, se instalarán entre 30 y 40 Observatorios Sismológicos en el país que complementarán el esfuerzo de las instituciones gubernamentales de protección Civil y del Centro Nacional de Prevención de Desastres, con éste nuevo sistema será posible tener información en pocos minutos de los sitios de máximas intensidades y aceleraciones con el objeto de tomar medidas útiles de protección civil. Cada observatorio contará con un sismógrafo y un acelerógrafo de tres componentes de banda ancha controlados por una computadora y con transmisión vía satélite, la estación satélite para la recepción de datos estará ubicada en el Instituto de Geofísica de la UNAM y será operado por el Servicio Sismológico Nacional dependiente de éste Instituto.

Las metas de la Red de Observatorios Sismológicos son, entre otras, la *transmisión vía satélite en tiempo real* por medio de un sistema de telecomunicaciones que aprovecha la ventaja de las microondas, permitiendo que varias estaciones remotas se comuniquen con un centro de cómputo. *Detección y transmisión inmediata y automática de eventos sísmicos*, lo que permitirá el envío de datos sísmicos solamente en el caso de un sismo, desechándose aquellos registros sin importancia desde el punto de vista de la sismología. *Calibración y diagnóstico de los observatorios a control remoto*, con lo que será posible monitorear el funcionamiento y operación de las estaciones remotas desde la Estación Central del Servicio Sismológico Nacional, lo que reduce costos y problemas de mantenimiento. *Visitas técnicas a las estaciones serán necesarias solamente en el caso de fallas importantes, e Intercambio de datos sismológicos en tiempo real con otras redes mundiales del mismo tipo.* A mediados de 1993 se planea empezar a transmitir los datos de los acelerógrafos. El Programa de Modernización será desarrollado durante un período de 3 años; en la figura III.9 se muestran las 36 estaciones que se tendrán en 1995.

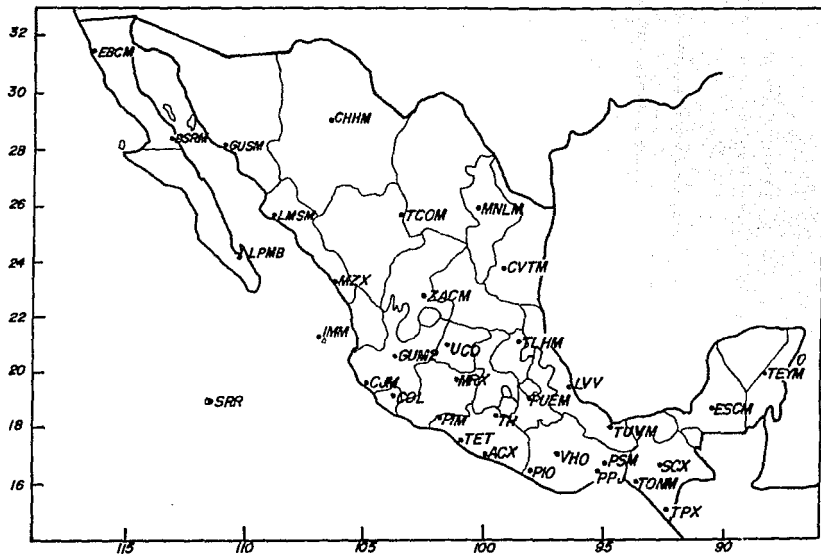


Figura III.9 Red de acelerógrafos del Instituto de Geofísica. Programa Global 1992-1995.

III.2.7 RED DE OBSERVACION SIMICA DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

La República Mexicana se encuentra en la zona de mayor actividad sísmica del hemisferio occidental, por lo que es de gran importancia conocer en detalle las características del movimiento del terreno durante los sismos intensos que ocurren, así como los efectos que estos sismos producen en diversos tipos de estructuras. Por tal motivo, en 1961 el Instituto de Ingeniería inició la instalación de aparatos de registro de temblores fuertes.

Actualmente opera cerca de 100 acelerógrafos distribuidos en distintas zonas sísmicas del país, personal especializado del propio Instituto los visita varias veces al año para mantenerlos continuamente preparados para el registro de temblores. Al ocurrir un sismo, el personal del mismo se traslada al lugar con objeto de recoger el registro y revisar el instrumento. La Red se ha subdividido a su vez en cinco subredes indicadas en seguida:

1. Red Acelerográfica de Acapulco.
2. Red Acelerográfica de la Ciudad de México.
3. Red Acelerográfica de edificios en la Ciudad de México.
4. Red Acelerográfica de Guerrero.
5. Red Acelerográfica complementaria en diferentes estados de la República.

A continuación se presentan las características más importantes de cada una de las cinco subredes operadas por esta institución.

1. La Red Acelerográfica de Acapulco.

La historia de la bahía de Acapulco narra frecuentes temblores intensos, y dada su importancia como centro turístico, lo hacen un lugar adecuado para instrumentar y conocer las características de las ondas provenientes de la costa.

En 1965 se iniciaron los trabajos para instalar el primer acelerógrafo en ésta Bahía, era un AR-240 con registro en papel fotográfico de 12 pulgadas. Hoy en día esta subred esta constituida por siete estaciones, todas del tipo digital con registro en casete, en la tabla III.7 se resumen sus características principales y en la figura III.10 se muestra un mapa con su localización.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
1	ACAC	16.848	99.851	Arena limoarcillosa	DCA-333
2	ACAD	16.867	99.880	Limo arenoso	DCA-333
3	ACAP	16.840	99.910	Roca sana	DCA-333
4	ACAR	16.899	99.827	Suelo aluvial	DCA-333
5	ACAS	16.858	99.894	Suelo aluvial	DCA-333
6	ACAZ	16.787	99.789	Depósito barra	DCA-333

Tabla III.7 Red acelerográfica de Acapulco. Instituto de Ingeniería

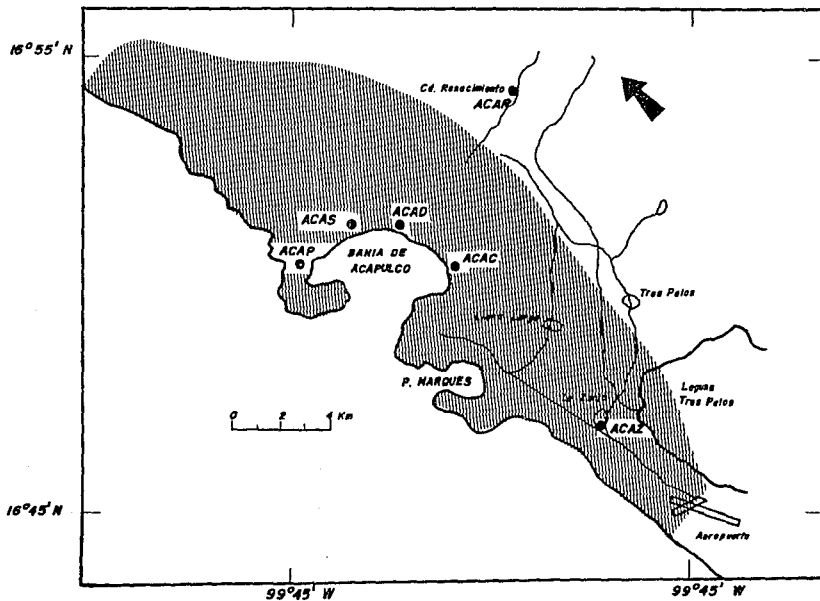


Figura III.10 Red acelerográfica de Acapulco. Instituto de Ingeniería.

2. La Red Acelerográfica del Distrito Federal.

El Distrito Federal es afectado por los temblores que se originan en una de las zonas sísmicas más activas del mundo: la franja costera del Pacífico de Colima a Oaxaca. Por tal motivo, y con objeto de mejorar y ampliar en forma permanente las disposiciones legales vigentes relacionadas con el diseño sísmico, el Instituto de Ingeniería opera 14 instrumentos digitales en el DF, destinados a registrar el movimiento durante temblores fuertes. En la tabla III.8 se resumen las principales características de esta subred y en la figura III.11 se muestra su distribución.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
7	CDAO	19.368	99.058	Arcilloso	DCA-333
8	CUP1	19.330	99.183	Roca Basáltica	ADH-2
9 a 12	CU01, CU02 CU03, CU04	19.330	99.183	Roca Basáltica	DCA-333
13	DFCM	19.287	99.134	Arcilloso	DCA-333
14	DFRO	19.405	99.166	Zona de Transición	DCA-333
15	DFVG	19.419	99.126	Zona de Transición	DCA-310
16	SCT2	19.393	99.147	Arcilloso	DCA-333
17	SXVI	19.358	99.171	Arcilloso	DCA-310
18	TACY	19.403	99.194	Suelo Duro	DCA-333
19	TLHB	19.167	99.010	Arcilloso	SMA-1
20	TLHD	19.167	99.010	Arcilloso	SMA-1

Tabla III.8 Red acelerográfica del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería.

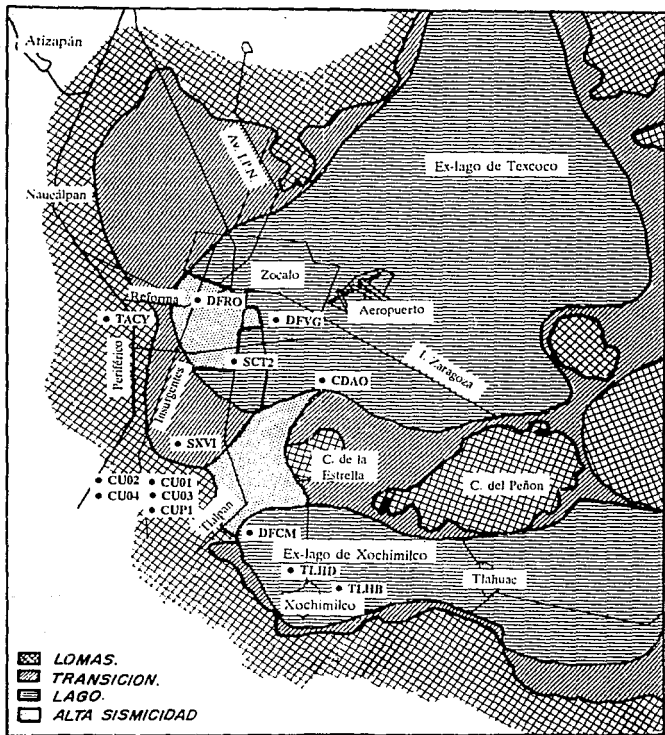


Figura III.11 Red acelerográfica del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería.

3. Red Acelerográfica de Edificios en la Ciudad de México.

Los objetivos que se persiguen al instrumentar una edificación pueden dividirse en inmediatos y en aquellos que se alcanzan a mayor plazo como consecuencia de los primeros (Ref. 29).

El objetivo a corto plazo es obtener registros del movimiento del terreno y de la construcción durante la ocurrencia de temblores. El objetivo a largo plazo es ampliar el conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, con el fin de mejorar la forma en que se modelan o representan durante el proceso de cálculo y eventualmente contribuir a la modificación de los reglamentos de construcción.

El instituto de Ingeniería, tiene actualmente tres edificios instrumentados para un total de 30 aparatos; en la tabla III.9 se resumen las características de la instrumentación y en las figuras III.12a, b y c se indica la ubicación y clave de los aparatos.

Las iniciales MJ se refieren a Metro Juárez, éste edificio se localiza en la calle de Balderas, entre Independencia y artículo 123. Las iniciales PC se refieren al edificio Plaza Córdoba, ubicado en Calle Córdoba # 42 entre Puebla y Durango, en la Colonia Roma. Las iniciales EJ se refieren a Edificio Jalapa, éste edificio se localiza en la calle de Jalapa # 12. Las tres estructuras son de concreto reforzado.

El edificio MJ cuenta con 5 acelerógrafos, 2 en la azotea, 2 en la planta baja y uno en el sótano. El edificio PC tiene 12 niveles y 12 aparatos, 3 en el sótano, 2 en el nivel 6, 1 en el nivel 7, 3 en el nivel 8, 2 en la azotea y uno fuera de la estructura como referencia. El EJ cuenta con 12 niveles y 14 acelerógrafos, 6 en el sótano, dos de ellos con sensores a 20 m y 45 m, 2 en el nivel 3, 2 en el nivel 8, 3 en la azotea, y uno fuera del edificio como aparato de referencia.

NUM	ESTACION	NOMBRE	TIPO DE INSTRUMENTO	RANGO DEL INSTRUMENTO
21	MJAE	Azotea-Este	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
22	MJAC	Azotea-Centro	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
23	MJBE	Base-Este	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
24	MJBO	Base-Oeste	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
25	MJSE	Sótano-Este	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
26	PCSC	Sótano-Centro	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
27	PCSE	Sótano-Este	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
28	PCSO	Sótano-Oeste	DCA-333	3 componentes a 0.25 g
29	PC6E	Nivel 6-Este	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
30	PC6C	Nivel 6-Centro	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
31	PCEC	Estacionamiento Centro-N8	DCA-333	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
32	PCEO	Estacionamiento Oeste-N8	DCA-333	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
33	PCE7	Estacionamiento Nivel 7	DCA-333	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
34	PCAC	Azotea-Centro	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
35	PCAE	Azotea-Este	DCA-333	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g

Tabla III.9 Red acelerográfica de edificios en el Distrito Federal. I de I.

NUM	ESTACION	NOMBRE	TIPO DE INSTRUMENTO	RANGO DEL INSTRUMENTO
36	PCE8	Estacionamiento Nivel 8	DCA-333	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
37	EJCL	Campo Libre	DCA-333R	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
38	EJSN	Sótano-Norte	DCA-333R	3 componentes a 0.25 g
39	EJSE	Sótano-Este	DCA-333R	Horiz: 0.50 g Vert : 0.25 g
40	EJSC	Sótano-Centro	DCA-333R	3 componentes a 0.25 g
41	EJSW	Sótano-Oeste	DCA-333R	3 componentes a 0.25 g
42	EJP1	Pozo a 20 m	DCA-333R	3 componentes a 0.25 g
43	EJP2	Pozo a 45 m	DCA-333R	3 componentes a 0.25 g
44	EJ3E	Nivel 3 Este	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
45	EJ3W	Nivel 3 Oeste	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
46	EJ8E	Nivel 8 Este	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
47	EJ8W	Nivel 8 Oeste	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
48	EJAE	Azotea-Este	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.25 g
49	EJAC	Azotea-Centro	DCA-333R	Horiz: 2.0 g Vert : 0.50 g
50	EJAW	Azotea-Oeste	DCA-333R	Horiz: 1.0 g Vert : 0.50 g

Tabla III.9 Continuación.

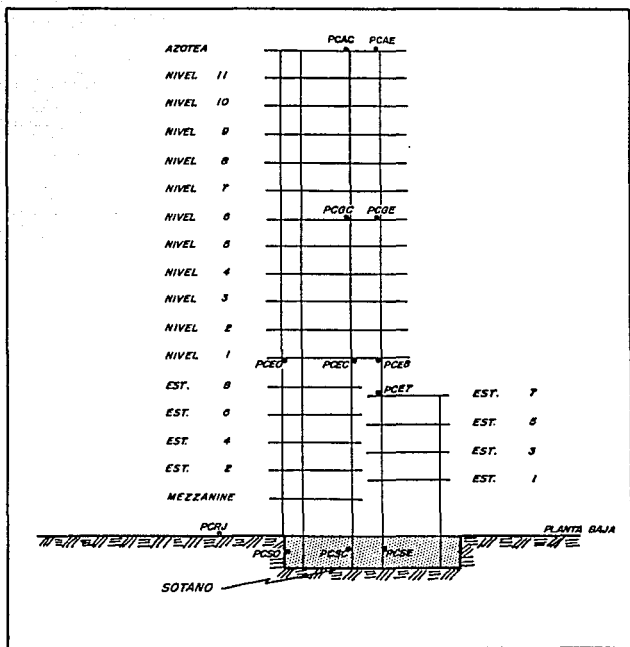


Figura III.12a Croquis del edificio Plaza Córdoba. En los puntos se indican la ubicación y clave de los acelerógrafos.

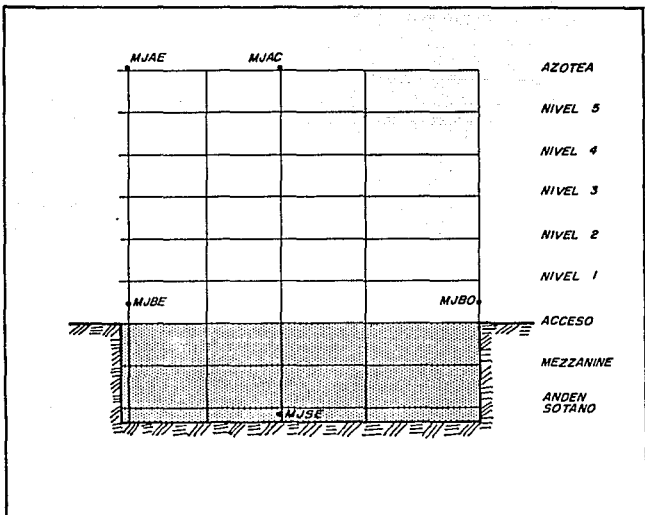


Figura III.12b Croquis del edificio Metro Juárez. En los puntos se indican la ubicación y clave de los acelerógrafos.

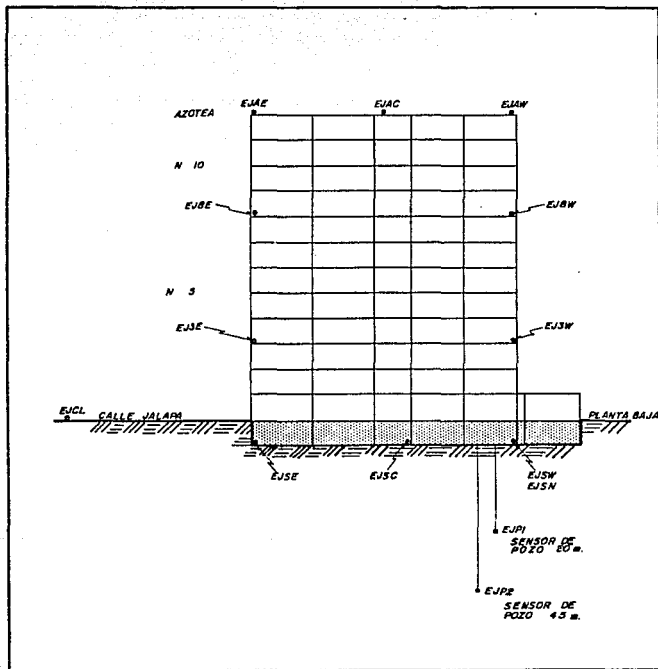


Figura III.12c Croquis del edificio Jalapa. En los puntos se indican la ubicación y clave de los acelerógrafos.

4. La Red Acelerográfica de Guerrero.

La localización geográfica del estado de Guerrero, hace que la actividad sísmica a la que está expuesto, sea de particular importancia, a lo largo de su historia, la costa de Guerrero ha sufrido eventos sísmicos de tal magnitud, que han llamado la atención de la comunidad científica nacional e internacional.

La Red de Guerrero es operada como un proyecto conjunto del Instituto de Ingeniería y del Laboratorio de Sismología de la Universidad de Nevada en Reno. Los lugares de instalación de la Red fueron seleccionados durante 1983 y 1984, y la instalación fue completada en 1985. (Ref. 2 y 3)

La Red Acelerográfica consta de 30 aparatos localizados principalmente en el estado de Guerrero y un número pequeño localizado en los estados vecinos de Michoacán y Morelos (figura III.13). La última vez que hubo un temblor fuerte fue a comienzos del siglo. Esto es un indicador de que el próximo epicentro de un temblor fuerte puede ser en el estado de Guerrero. Este estado representa uno de los mejores lugares en el mundo para el registro de temblores fuertes. Las características principales de esta subred se muestran en la tabla III.10

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
51	ACAN	16.861	99.869	Gránito Alterado	DSA-1
52	ARTG	18.349	102.294	Roca Alterada	DCA-333
53	ATYC	17.211	100.431	Granodiorita	DCA-333
54	CALE	18.071	102.754	Roca Andesítica	DSA-1

Tabla III.10 Red acelerográfica de Guerrero. Instituto de Ingeniería.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
55	CAYA	17.045	100.267	Arena Aluvión	DSA-1
56	CPDR	16.761	99.644	Gneiss	DCA-333
57	COPL	16.610	98.980	Roca Alterada	DCA-333
58	COYC	16.995	100.120	Gneiss	DCA-333
59	BALC	18.009	101.120	Roca Andesítica	DSA-1
60	FIC2	17.650	99.840	Andesita Porfírica	PDR-1
61	COMD	18.122	100.520	Roca Andesítica	DSA-1
62	LLAV	17.344	100.830	Roca Basáltica	DSA-1
63	UNIO	17.980	101.810	Roca Andesítica	DSA-1
64	VNTA	16.923	99.816	Gneiss	DSA-1
65	MSAS	17.008	99.457	Gneiss	DSA-1
66	VIGA	16.758	99.230	Quarzo	DSA-1
67	MAGY	17.387	100.594	Roca Andesítica	DSA-1
68	OCLL	17.036	99.880	Roca Metamórfica	DCA-333

Tabla III.10 Continuación.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
70	OCTT	17.036	99.880	Quarzo	DCA-333
71	PAPN	17.325	101.039	Granito Alterado	DCA-333
72	PARS	17.343	100.225	Diorita	DSA-1
73	PETA	17.539	101.272	Quarzo	DSA-1
74	SLUI	17.272	100.890	Granodiorita	DSA-1
75	SMR2	16.776	99.408	Granodiorita	DSA-1
76	SUCH	17.226	100.642	Granodiorita	DCA-333
77	TEAC	18.614	99.453	Riolita	PDR-1
78	TNLP	18.094	99.559	Roca Alterada	PDR-1
79	VILE	18.045	102.189	Roca Basáltica	PDR-1
80	XALT	17.095	99.720	Roca Basáltica	PDR-1
81	AZIH	17.608	101.462	Roca Basáltica	DCA-333

Tabla III.10 Continuación.

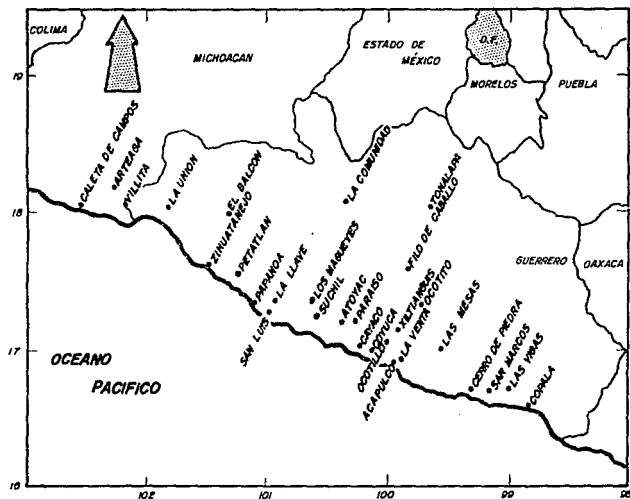


Figura III.13 Red acelerográfica de Guerrero. Instituto de Ingeniería.

5. Red Acelerográfica complementaria en diferentes estados de la República.

Esta subred tiene por objetivo el proporcionar información adicional en distintos estados del país para el registro de temblores fuertes; está compuesta por 19 estaciones distribuidas en Guerrero, Colima, Puebla, Guerrero, Estado de México, Oaxaca y Chiapas.

La tabla III.11 resume sus principales característica y en la figura III.14 se observa su localización.

NUM	CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
81	CAZO	Cañon del Zopilote, Gro	17.801	99.453	DCA-333
82	CHI1	Chilpancingo, Guerrero	17.553	99.500	SMA-1
83	COLI	U. Autónoma de Colima	19.238	103.721	SMA-1
84	CSER	C. Serdán Puebla	18.991	97.384	DCA-333
85	GUA1	Guadalajara SCT	20.669	103.398	SMA-1
86	GUA2	Guadalajara Jalisco	20.673	103.335	SMA-1
87	GUAC	Guacamayas, L. C. Michoacán	18.025	102.204	DCA-310
88	IGUP	Iguala, Platanillo Guerrero	18.387	99.502	DCA-333

Tabla III.11 Red acelerográfica complementaria en diferentes estados de la República.

NUM	CLAVE	NOMBRE DE LA ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
			Lat N	Long W	
89	IZCM	Izúcar de Matamoros, Puebla	18.605	98.470	SMA-1
90	MAD2	Madín Margen Izquierdo, estado de México	19.536	99.261	DCA-310
91	MADR	Madín Remoto Lomas Verdes, estado de México	19.536	99.261	DCA-333
92	OAXM	Fac. de Medicina Oaxaca	17.084	96.716	SMA-1
93	PNTP	Pinotepa Nacional Oaxaca	16.349	98.061	SMA-1
94	PTQL	Petaquillas, Guerrero	17.466	99.453	DCA-333
95	SXPU	Sismex Puebla	19.043	98.212	DCA-310
96	TUXT	Tuxtla Gutiérrez	16.747	93.130	SMA-1
97	UNIO	La Unión	17.982	101.805	DSA-1
98	VIGA	Las Vigas	16.757	99.236	DSA-1
99	VILE	Villita Margen Derecha	18.016	102.205	DSA-1

Tabla III.11 Continuación.

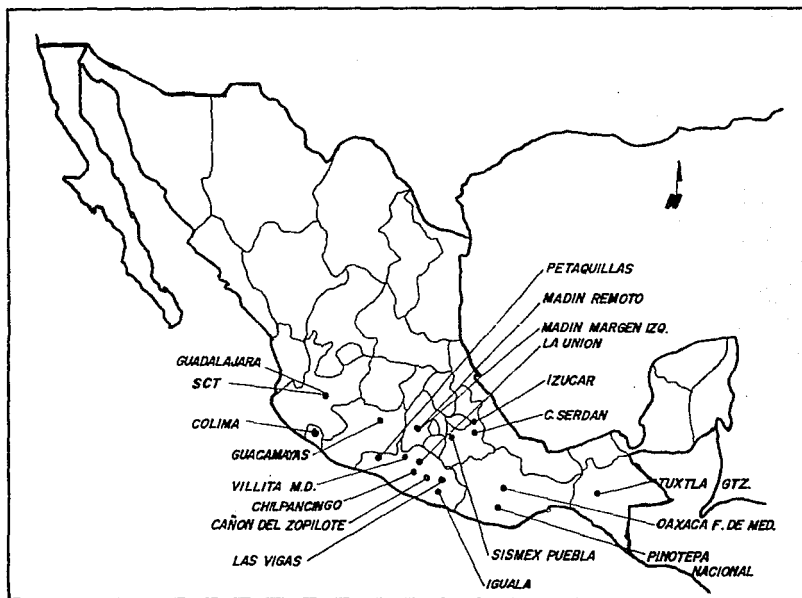


Figura III.14 Red acelcrográfica complementaria en diferentes estados de la República.

III.2.8 RED ACELEROGRAFICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, JALISCO.

La zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) se encuentra localizada en una región con un alto potencial sísmico. Este se ha manifestado en diversas ocasiones, como lo demuestran los sismos del 31 de mayo de 1848, del 19 de junio de 1858, del 11 de febrero de 1875 y los del 3 y 18 de junio de 1932, los dos últimos con una M, de 8.4 y 8 respectivamente.

Se estima que la ZMG tiene una superficie de aproximadamente 250 kilómetros cuadrados; la red está compuesta por nueve estaciones acelerográficas de manera que se tiene una estación por cada 28 kilómetros de superficie (figura III.15). La tabla III.12 contiene sus principales características.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
1	ROTO	20.673	103.340	Arenas Jalsosas	SSA-2
2	SNRA	20.673	103.311	Roca Basáltica	SSA-2
3	ARCS	20.671	103.311	Arenas Jalsosas	SSA-2
4	JARS	20.648	103.366	Arenas Jalsosas	SSA-2
5	PLAN	20.717	103.308	Arenas Jalsosas	SSA-2
6	CGRA	20.672	103.398	Arenas Jalsosas	SSA-2

Tabla III.12 Red acelerográfica de Guadalajara, Jalisco.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W		
7	OPZA	20.699	103.361	Arenas Jalsas	SSA-2
8	TONA	20.641	103.279	Roca Basáltica	SSA-2
9	MIRV	20.633	103.342	Roca Basáltica	SSA-2

Tabla III.12 Continuación.

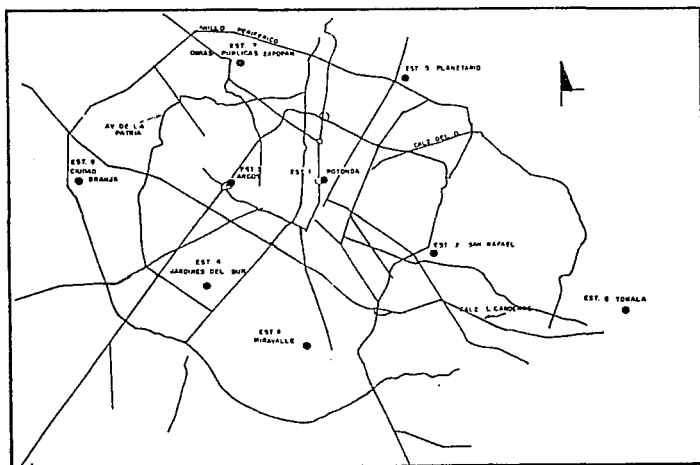


Figura III.15 Red acclergráfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco.

III.2.9 RED DE INSTRUMENTACION SISMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA.

La Universidad Autónoma Metropolitana, a través del Departamento de Materiales de la Unidad Azcapotzalco, preocupada por dar mayor cobertura a la red acelerográfica del Distrito Federal y con apoyo de la Organización de Estados Americanos, ha adquirido una unidad de registro sísmológico SSR-1 con tres sensores WR-1 para la medición de las características dinámicas de edificios.

Los objetivos principales son instalar, en una primera etapa, un acelerógrafo en cada uno de los puntos geográficos en que se ubican los inmuebles de la UAM (figura III.16), los cuales son: Azcapotzalco, Ixtapalapa y Xochimilco, la Galería Metropolitana de la colonia Roma y el Centro de Educación Continua del Licenciado Verdad, para un total de cinco instrumentos, así como operar la red a fin de obtener la información del movimiento del terreno producido por sismos importantes, que permita estudiar su efecto sobre las instalaciones de la Universidad, esto complementará la información de la red de instrumentación de la Ciudad de México y mejorará la interpretación de su sismicidad. La construcción de los receptáculos de seguridad para los cinco acelerógrafos se tiene planeado realizarla a mediados de 1993, de tal manera que la red iniciará actividades a finales de dicho año. La tabla III.13 resume las principales características de la red.

NUM	ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE INSTRUMENTO
		Lat N	Long W	
1	UAMA	19.307	99.111	SSA-2
2	UAMX	19.189	99.067	SSA-2
3	UAMI	19.213	99.044	SSA-2
4	MEDE	19.252	99.095	SSA-2
5	COZM	19.251	99.105	SSA-2

Tabla III.13 Red de Instrumentación Sísmica de la UAM

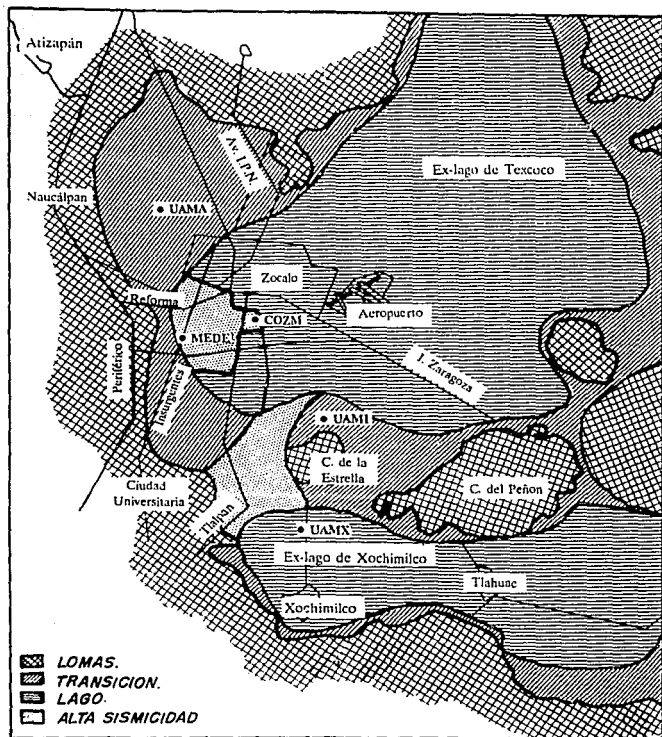


Figura III.16 Red de Instrumentación sísmica de la UAM.

III.4 ACELEROGRAFOS EXISTENTES EN OTROS PAISES

Japón es reconocido mundialmente como líder en varios aspectos de la ingeniería sísmica, por ejemplo, es el único país que cuenta con las instalaciones necesarias para realizar pruebas de carga lateral en edificios de 10 pisos construidos a escala real, y para pruebas dinámicas tiene la mesa vibradora más grande del mundo, en la que pueden probar bajo condiciones sísmicas especímenes de hasta 2000 toneladas.

Existen también en Japón algo más 2000 acelerógrafos destinados al registro del movimiento de temblores de gran severidad en el terreno y en diversas clases de estructuras, principalmente edificios, puentes, presas e instalaciones portuarias. De todos estos aparatos, el 57% está colocado en edificios (Ref. 29), lo cual establece una diferencia notable con la proporción del total de instrumentos que en otros países se dedica a obtener registros de cómo se mueve y deforma un edificio al ser sometido a la acción de un sismo fuerte.

Se estima que en Estados Unidos hay cerca de 3000 acelerógrafos y, aunque sólo hay un 15% de los mismos en estructuras, no deja de ser interesante el por qué se da tanta importancia a conocer la forma en que se comportan las construcciones cuando un temblor fuerte las hace oscilar. La respuesta se encuentra en que hoy en día aún subsisten numerosas y profundas lagunas en el comportamiento dinámico de las estructuras. "Aquí sería fácil llegar a la conclusión de que falta más esfuerzo analítico, lo cual puede considerarse como cierto. Sin embargo, debe reconocerse que los avances analíticos, que en última instancia reflejan opiniones, no podrán resolver dudas sin el auxilio de la observación de lo que acontece en la realidad, lo cual es precisamente el papel de los aparatos en estructuras o en el campo: consignar datos cuantitativos sobre su movimiento al presentarse el temblor" (Ref. 29).

En cuanto a algunas ciudades importantes que se han instrumentado en zonas sísmicas, la tabla III.14 indica el número de acelerógrafos existentes hasta 1990 (Ref. 13).

ACELEROGRAFOS EN CIUDADES AFECTADAS POR SISMOS	
País o Ciudad	Número de acelerógrafos*
E.U.A.	>3000 en 38 estados
Japón	>2000
California (EUA)	>1000
Zona de Los Angeles	650
México	300
Tokio	295
Nueva Zelanda	150
Osaka	65
Nagoya	43

* \pm 5%

Tabla III.14 Acelerógrafos en países con alto potencial sísmico

En algunos países es reconocida la importancia que para la comunidad tienen algunos tipos de edificaciones, llegando incluso a elaborarse reglamentaciones específicas en lo que respecta a los sistemas de construcción que habrán de utilizarse, como es Nueva Zelanda, donde todos los edificios públicos son diseñados para fuerzas sísmicas mayores que las de otros edificios como son hospitales, escuelas, presas, puentes, tele y radio emisoras, oficinas gubernamentales y en general cualquier estructura que se relacione con los servicios de emergencia y prevención de desastres. En el caso concreto de la ciudad de México en el año de 1985, había instalados diez instrumentos que registraron los sismos de los días 19 y 20 de Septiembre; actualmente se cuenta con más de cien, y es en base a los registros que proporcionan estos instrumentos, que fué posible adecuar sobre mejores bases el Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

IV. PROCESO DE ACELEROGRAMAS Y APLICACIONES

*...de inmediato, desde el primer momento, obedeciendo
a un extraordinario sentimiento colectivo, los
sobrevivientes se lanzaron a las tareas de rescate,
la inmensa mayoría de ellos sin más medios que sus manos,
su emoción y su heroísmo. Una de las ciudades más pobladas
y más extensas del mundo se volcó a los lugares donde los
sismos la habían herido de muerte...*

Nada, Nadie, Elena Poniatowska.

El esfuerzo mundial encaminado a mitigar en lo posible los efectos de los temblores, ha estado dirigido en buena medida a recolectar información sobre las características del movimiento del terreno durante sismos importantes, con el fin de establecer criterios racionales para el diseño sísmico de toda clase de construcciones, por lo que es absolutamente indispensable conocer con precisión las características del movimiento del suelo al presentarse un temblor (Ref. 4). El medio más usual para describir los movimientos sísmicos del suelo es el *acelerograma* o registro de la variación del terreno en función del tiempo en el sitio de medición. En cada estación de medición, se registran las aceleraciones en tres direcciones dos horizontales y una vertical (figura IV.1), no obstante, para poder comparar cuantitativamente acelerogramas de diferentes estaciones y relacionarlos con el daño potencial en estructuras es necesario procesarlos, esto es, obtener parámetros que caractericen a un registro dado.

GRAFICA DE TRES ARCHIVOS DE ACELERACION (gals)					
Archivo:	CU018509198L.T	CU018509198V.T	CU018509198T.T		
Sismo:	GR0-RICH	GR0-RICH	GR0-RICH		
Hora:	13:19:12	13:19:12	13:19:12		
Componente:	N28E	VERT	N28E		
Distancia:	400	400	400		
Max.Min:	25.46. -20.12	21.21. -14.94	33.50. -29.39		

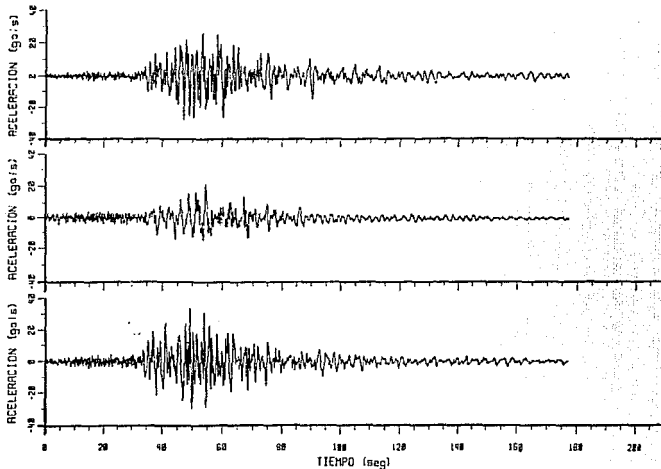


Figura IV.1 Gráficas tiempo-aceleración de la estación CU01 del 19 de Septiembre de 1985.

Los principales parámetros son:

- a. Aceleración, velocidad y desplazamientos máximos del terreno,
- b. Duración de la parte intensa del sismo,
- c. Frecuencias dominantes del movimiento y
- d. Espectros de respuesta.

La aceleración máxima del terreno es actualmente el parámetro más empleado para caracterizar un sismo. Sin embargo, a pesar de ser un parámetro muy importante, no permite por sí sólo determinar nada acerca de la duración ni del contenido de frecuencias dominantes del evento y muy poco acerca de su potencialidad destructiva; Alberto Jaime (Ref. 16), encontró que la máxima velocidad tiene una mejor correlación con la energía que transmite el sismo y por tanto con su potencial de destrucción.

El procesamiento de la información sísmica, permite por tanto, una evaluación cuantitativa, objetiva y confiable de la actividad sísmica. Conocidos los acelerogramas de temblores intensos es posible también estimar la respuesta de modelos de un grado de libertad en función del tiempo y por tanto, la respuesta máxima que puede ocurrir en un instante dado, a esta parte del proceso se le llama *Cálculo del Espectro de Respuesta*. La interpretación de los resultados incluye la representación de la señal sísmica en el dominio de la frecuencia, a ésta gráfica se le llama *Espectro de Fourier*. A continuación se presenta en la figura IV.2 un diagrama de cada una de las partes del proceso sísmico, para en seguida describir de manera breve en que consisten las mismas.

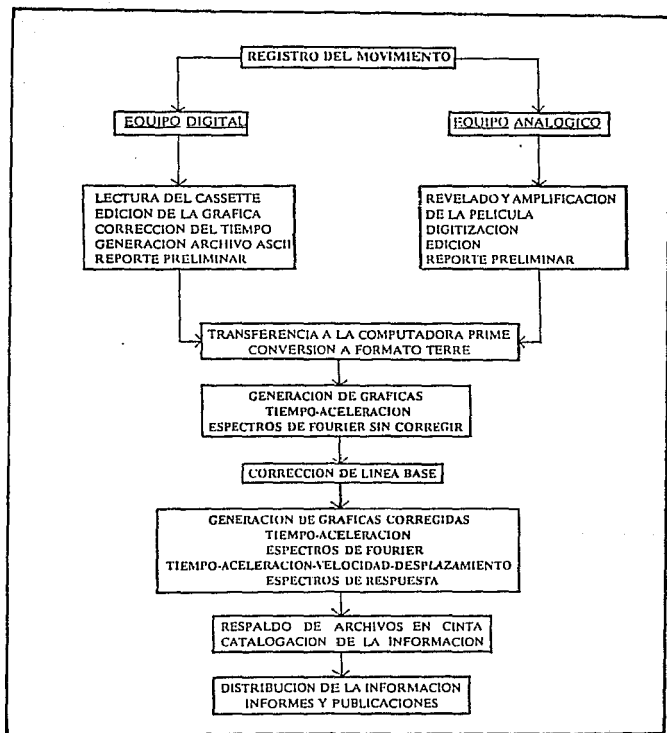


Figura IV.2 Procesamiento estándar de acelerogramas.

IV.1 CORRECCION DE LINEA BASE

La expansión de la electrónica hacia la instrumentación sísmica ha permitido la medición de eventos sísmicos a un costo razonable y sobre todo con una confiabilidad mayor que la obtenida con instrumentos mecánicos. Para que los acelerógrafos registren la señal sin afectar su forma, la respuesta amplitud-frecuencia debe de ser plana en el rango de frecuencias de la señal de entrada, no obstante, existen señales indeseables que interfieren con la información contenida en la señal sísmica recibida llamadas *ruido*, de éste, se distinguen principalmente dos clases, *ruido ambiental* y *ruido inducido por el equipo*.

El ruido ambiental es provocado por vehículos, por el paso de un tren, ganado, tractores, tormentas, etc; los cuales son registrados pero se consideran como señales no deseables, ya que no son propias del sismo. Por otro lado, se tiene también, las señales inducidas por el equipo, esto se debe a que el instrumento posee una masa, rigidez y amortiguamiento propios que inducen velocidades y desplazamientos relativos en el propio equipo, estas señales también son registradas y son consideradas como ruido, esto ha motivado la necesidad de ajustar una línea base a las aceleraciones registradas, utilizando procedimientos matemáticos que en general inducen pequeños errores que son preferibles a los de procesar un acelerograma sin corregir, por lo que la corrección de línea base es un algoritmo que permite destacar a la señal con respecto al ruido y ajustarle una línea de referencia ó de aceleraciones nulas a cada componente del registro sísmico.

De otra manera, si se llegara a integrar dos veces el acelerograma tal y como se lee del registro, se obtendrían desplazamientos muy grandes, los cuales no representarían al fenómeno original. Los errores que llevan a estos valores se han atribuido a que el desplazamiento y la velocidad iniciales no son nulos como se supone, puesto que el disparador es accionado cuando la aceleración tiene un valor diferente de cero.

Existen diversos métodos de corrección de línea base, algunos de ellos son el de Velocidad final nula, Velocidad final nula por suma de impulsos, Corrección parabólica considerando condiciones nulas, Corrección parabólica considerando velocidad inicial diferente de cero, Por medio de un filtro pasa alta, etc. Para la corrección por el ruido, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, utiliza un algoritmo creado en el Instituto Tecnológico de California (Caltech), éste método de basa en eliminar parcialmente los contenidos de baja y alta frecuencia del acelerograma mediante el filtro digital de Ormsby (Ref. 20) que se muestra en la figura IV.3, la idea general es que una vez obtenido el espectro de Fourier de los datos de aceleración sin corregir, nos podemos guiar por la frecuencia dominante que muestra éste y empezar a aplicar filtros que retengan bajas y altas frecuencias, basándonos en que la respuesta amplitud-frecuencia debe ser plana en el rango de la frecuencia de la señal sísmica; lo más importante es tener claro el rango de frecuencias que nos interesan, y éstas se relacionan con el tipo de suelo donde se encuentre localizada la estación de medición.

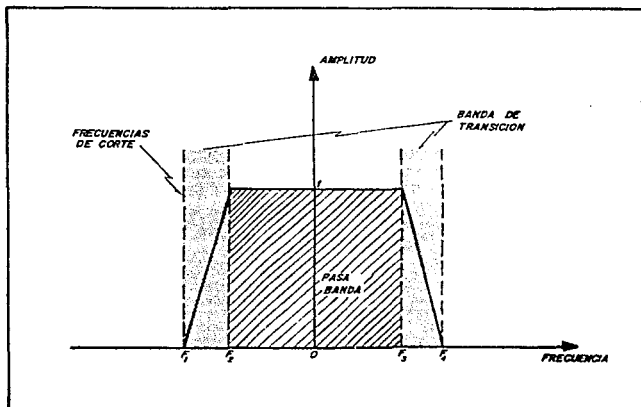


Figura IV.3 Filtro digital de Ormsby con frecuencias de corte.

La corrección por ruido inducido por el propio equipo, se basa en modelar al acelerógrafo como un sistema de un grado de libertad, para de ésta manera, conocer la respuesta del sistema (acelerógrafo) dada una señal (sismo). Con la ecuación dinámica de un grado de libertad para vibración forzada, podemos representar las características del aparato (rigidez, masa y amortiguamiento), por medio de sus períodos de oscilación y fracción del amortiguamiento crítico únicamente. La aceleración corregida se obtiene a partir de la registrada mediante:

$$\ddot{u}_0 + 2\omega\xi\dot{u} + \omega^2 u = -\ddot{u} \quad (4.1)$$

donde:

- \ddot{u}_0 es la aceleración obtenida del registro,
- \dot{u} es la velocidad obtenida del registro,
- u es el desplazamiento obtenido del registro,
- ω es la frecuencia del instrumento,
- ξ es la fracción del amortiguamiento crítico del instrumento,
- \ddot{u} es la aceleración corregida.

Una vez destacada la señal con respecto al ruido, podemos situar la línea base del acelerograma a la altura de la aceleración media nula, restándole a cada ordenada el promedio aritmético de todas las aceleraciones. Las siguientes etapas del proceso, requieren conocer de antemano la línea de aceleraciones nulas ó línea base, pues es a partir de ésta que se pueden medir las aceleraciones de cada componente de manera confiable.

IV. 2 CALCULO DE VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS

El siguiente paso del procesamiento, es la integración del acelerograma para obtener las gráficas corregidas de velocidad y desplazamiento. Los parámetros de aceleración, velocidad, y desplazamientos son indispensables para determinar las respuestas máximas inducidas por el movimiento sísmico desde el punto de vista del efecto, en sistemas de comportamiento lineal y de un grado de libertad. Por ejemplo, con la aceleración máxima medida durante los movimientos sísmicos es posible determinar la fuerza sísmica actuante en la masa de nuestra estructura, con la velocidad relativa entre la masa y su base podemos obtener una relación de que tanto disipa energía, y con los desplazamientos obtenidos podemos determinar la fuerza cortante inducida por las columnas a la base.

Para intervalos de muestreo constante, y por medio del método numérico de Simpson 1/3 modificado, se lleva a cabo la integración numérica del acelerograma. Los valores iniciales de la velocidad y el desplazamiento deben ser igual a cero. Para la integración se emplean las siguientes ecuaciones (Ref. 19),

$$v_i = \frac{\Delta t}{12} (5\ddot{u}_{i-1} + 8\ddot{u}_i - \ddot{u}_{i+1}) + v_{i-1} \quad (4.2)$$

$$v_{i+1} = \frac{\Delta t}{3} (\ddot{u}_{i-1} + 4\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) + v_{i-1} \quad (4.3)$$

$$d_i = \frac{\Delta t}{24} (7\ddot{u}_{i-1} + 6\ddot{u}_i - \ddot{u}_{i+1}) + \Delta t v_{i-1} + d_{i-1} \quad (4.4)$$

$$d_{i+1} = \frac{(\Delta t)^2}{3} (2\ddot{u}_{i-1} + 4\ddot{u}_i) + 2(\Delta t) v_{i-1} + d_{i-1} \quad (4.5)$$

donde:

\ddot{u} es la aceleración corregida
 t es el intervalo de muestro
 v es la velocidad corregida
 d es el desplazamiento corregido

De la integración de los valores registrados de aceleración para diferentes estaciones y de la selección de los valores máximos, es posible trazar curvas de igual velocidad horizontal y vertical, así como de la evolución de los desplazamientos en cada estación de registro, para seleccionar de la misma manera los máximos valores de la componente horizontal de desplazamiento y de la componente vertical. Con esta información derivada del proceso sísmico es factible proponer recomendaciones para el reglamento de construcción de la entidad donde se encuentren localizados los aparatos. A continuación se muestra una gráfica tiempo-aceleración-velocidad-desplazamiento, con los principales parámetros determinados en esta etapa del proceso. (figura IV.4)

SISMO		GRO-MICH		REGISTRO		CU01050919BT.T		CORRECCION	
DATOS	CU01	IDEI	850919	ESTA	CU01	METODO	CALTECH.		
FEDHA				INST	03-121	FILTRO	2.070 0.100 12.0 15.0		
HORA			13:17:49	CDMP	N90E	ΔT	0.030		
EPIC	18.141	102.707		HORA	13:19:12	MAX HUEL	33.50	-29.39	
H		0.1		DUR	177.30	MAX VEL	9.33	-9.00	
H		16		DIST	420	MAX DESP	7.13	-6.73	

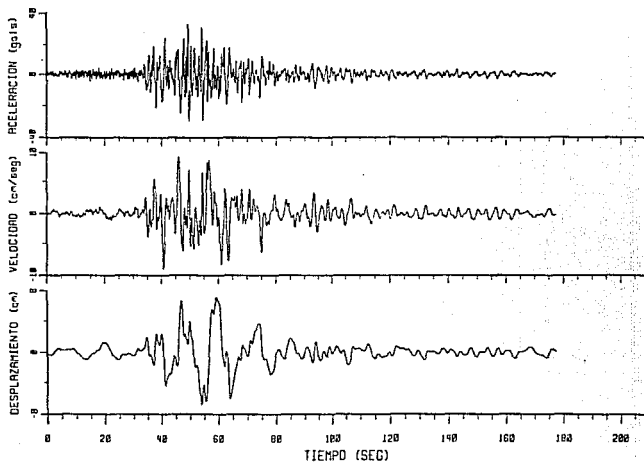


Figura IV.4 Graficas tiempo-aceleración-velocidad-desplazamiento. Estación CU01.

IV.3 ESPECTRO DE FOURIER

A mediados del siglo XIX, Joseph Fourier desarrolló una técnica matemática que constituye un poderoso instrumento en el análisis de señales en el dominio del tiempo.

En general, una función periódica puede expresarse por una serie de Fourier, cuyos términos son funciones seno y coseno, los coeficientes de estas funciones pueden calcularse integrando en un período el producto de la función periódica multiplicada por la función seno o por la función coseno. La extensión de las series de Fourier a funciones no periódicas conduce a expresiones integrales que se conocen con el nombre de *transformadas de Fourier*, la forma discreta de estas transformadas, permite su empleo en aplicaciones numéricas. Un algoritmo extremadamente eficiente, conocido como transformada rápida de Fourier (FFT), puede economizar hasta el 99% del tiempo que una computadora emplearía para el cálculo directo de los coeficientes complejos de Fourier.

Este análisis, descompone a ésta en todas y cada una de las frecuencias que la forman, asignándole a cada frecuencia una amplitud específica, la amplitud de cada frecuencia componente indica qué tanto de ella contiene la onda sísmica en cuestión. A la gráfica de frecuencias-amplitudes se le llama espectro de Fourier.

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:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4.6)$$

donde:

$F(\omega)$ es la señal en el dominio de la frecuencia,
 $f(t)$ es la señal en el dominio del tiempo y

$$\omega = 2\pi/T \quad (4.7)$$

ω es la frecuencia del sitio en Hz,
 T es el período del sitio en seg.

El espectro de amplitudes de Fourier se obtiene del valor absoluto de la raíz de la suma de los cuadrados de las partes real e imaginaria de F:

$$|F(\omega)| = (R(\omega)^2 + jX(\omega)^2)^{1/2} \quad (4.8)$$

donde:

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt \quad (4.9)$$

$$X(\omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{sen}(\omega t) dt \quad (4.10)$$

Sin embargo, en un acelerograma sólo contamos con valores uniformemente espaciados de 100 ó 200 muestras por segundo, el acelerograma entonces, no es una función explícita sino una serie de puntos, lo que implica que la serie temporal continua es desconocida, así que suponemos que ésta señal discreta representa a la señal continua, por lo que para el cálculo del espectro de amplitudes de Fourier utilizamos la Transformada Discreta de Fourier (DFT, Discrete Fourier Transform). Para un cálculo más ágil de DFT's se utiliza un algoritmo que reduce el número de operaciones llamado Transformada Rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform) (Ref. 25).

Esta técnica identifica las frecuencias en las cuales se tiende a concentrar la energía y que corresponde a las frecuencias naturales del movimiento del terreno, de la figura IV.5 observamos que ésta corresponde, en Ciudad Universitaria a una banda entre 0.4 y 0.6 Hz, ó 2.5 y 1.7 segundos.

SISMO	GRO-MICH	REGISTRO	CU018509198T.T	CORRECCION
DATOS	IDET	ESTR	CU01	METODO CALTECH.
FECHA	850919	INST	03-121	FILTRO 0.078 0.102 12.0 15.0
HORA	13:17:49	COMP	NS0E	ΔT 0.038
LFIC	18.141 162.787	HORA	13:19:12	MAX ACEL 33.58 -29.39
M	8.1	DUR	177.38	MAX VEL 9.33 -9.03
H	16	DIST	420	MAX DESP 7.13 -6.73

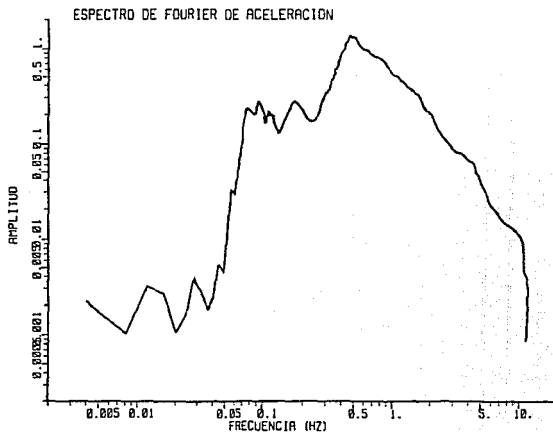


Figura IV.5 Espectro de Fourier de la componente transversal. Estación CU01.

IV.4 ESPECTRO DE RESPUESTA

En 1932 M. Biot aportó a la Ingeniería Sísmica una de las herramientas más valiosas de las que hace uso el diseño sísmico de estructuras, esta técnica se denomina *espectro de respuesta*. El espectro de respuesta de un sismo es la envolvente de las respuestas máximas absolutas inducidas por el movimiento sísmico en estructuras de comportamiento lineal y de un grado de libertad, con diferentes períodos naturales de vibración pero igual amortiguamiento, la respuesta se puede dar en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento. En otras palabras, la respuesta espectral es un diagrama de la máxima respuesta (desplazamiento, velocidad o aceleración) a una función específica de la excitación, para todos los sistemas posibles con un grado de libertad, la abscisa del espectro es la frecuencia natural¹ (o período) del sistema y la ordenada, la respuesta máxima. En general, los diagramas de respuestas espectrales se preparan calculando la respuesta a una excitación específica, de un sistema con un grado de libertad con varios valores de amortiguación.

En el Instituto de Ingeniería, una vez que se ha filtrada la señal, se calculan los espectros de respuesta empleando el método Beta de Newmark. Se obtienen para 98 períodos comprendidos entre 0.04 y 16 segundos y para amortiguamientos de 0, 2, 5, 10 y 20 por ciento del crítico, pudiendo ser calculados para períodos y amortiguamientos específicos. Cuando se han construido los diagramas espectrales y están disponibles para la excitación que interesa, el análisis necesario para diseñar estructuras sometidas a cargas dinámicas se reduce al cálculo del período de la estructura y al uso del diagrama espectral. Algunas de las aplicaciones de los espectros de respuestas son:

1. Permiten estimar el efecto que produce un sismo en diferentes estructuras de un grado de libertad.
2. Conocidos los desplazamientos máximos, podemos encontrar las fuerzas máximas a las que está sujeta la estructuras.

¹ La *frecuencia natural* es el número de ciclos por segundo de un sistema con un sólo grado de libertad que vibra libremente.

3. Se utilizan para el estudio de la amplificación local debida al suelo.
4. Con estos diagramas, se construye el espectro de diseño, el cual juega un papel fundamental en la solución de estructuras de varios grados de libertad sometidas a la acción sísmica.

A continuación se describirá de manera breve la manera en que se calculan éstas gráficas. Supongamos una estructura de comportamiento lineal de un grado de libertad, como el mostrado en la figura IV.6.

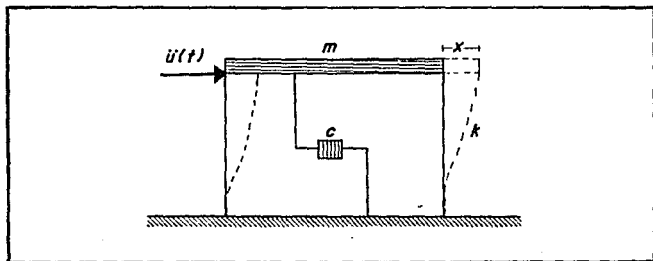


Figura IV.6 Estructura de comportamiento lineal de un grado de libertad.

Si se aplica una excitación sísmica $\ddot{u}(t)$ en su base, la ecuación de movimiento de la misma es:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{u} \quad (4.11)$$

en la cual x es el desplazamiento relativo entre la estructura y su base, $m\ddot{x}$ representa la fuerza de inercia aplicada a la masa m , la cual está soportada por una columna con una rigidez equivalente, k . La disipación de la energía se supone de naturaleza viscosa (es decir, la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad relativa entre la masa y su base) y c es la constante de amortiguamiento. La frecuencia natural y el porcentaje del amortiguamiento crítico, se expresan respectivamente como:

$$\omega = (k/m)^{\frac{1}{2}} \quad (4.12)$$

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (4.13)$$

Si dividimos la ecuación (4.11) entre m y sustituimos en (4.12) y (4.13), entonces podemos expresar la ecuación del movimiento de la siguiente manera:

$$\ddot{x} + 2\omega\xi\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{d} \quad (4.14)$$

Esta última ecuación modela las características de una estructura dada una señal conocida en su base y las combina de tal forma que la estructura queda representada únicamente por las propiedades de sus oscilaciones, por lo que es posible conocer la respuesta de estructuras de comportamiento lineal de un grado de libertad dada una señal, por medio de sus períodos de oscilación y la fracción del amortiguamiento crítico.

La solución de esta ecuación, cuando la estructura parte del reposo, se obtiene en la llamada integral de Duhamel:

$$x(t) = -\frac{1}{\omega} \int_0^t \ddot{u}_0(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \operatorname{sen} \omega(t-\tau) d\tau \quad (4.15)$$

En el diseño de las estructuras, comúnmente se supone que la estructura es linealmente elástica (fuerza proporcional al desplazamiento) y que permanece linealmente elástica cuando está sometida a una excitación dinámica. Sin embargo existen situaciones en las cuales puede ser necesario diseñar una estructura para una excitación eventual de gran magnitud, como por ejemplo la producida por un terremoto o por los efectos de una explosión nuclear. Existen muchos métodos para resolver numéricamente la ecuación diferencial para éste tipo de comportamiento. El método Beta de Newmark supone a la aceleración lineal entre dos muestras consecutivas del acelerograma y da resultados satisfactorios con operaciones relativamente simples. No obstante estas operaciones son tediosas y consumen mucho tiempo si son ejecutadas manualmente, el uso computadoras reduce el esfuerzo de solución a una simple rutina de preparación de los datos.

Para determinar la respuesta de la estructura se aplica éste método de integración numérica para intervalos de tiempo cortos. El procedimiento se continúa hasta complementar el registro total del terremoto, el valor máximo de interés es registrado como la respuesta espectral del sistema para esa excitación. Cambiando los parámetros de la estructura, varía su período natural y el proceso se repite para registrar otro valor de la respuesta espectral.

Este proceso se repite hasta que la región de todos los períodos de interés ha sido cubierta y los resultados son representados en una gráfica (figura IV.7). Debido a que cada movimiento sísmico es diferente, este método tiene que hacerse para todos los que son de interés. Hasta muy recientemente se disponía sólo de unos pocos registros de temblores fuertes ya que había pocos acelerógrafos instalados. Se han reportado valores máximos de aceleración del terreno que van de 0.33 g en El Centro en 1940 a 0.74 g en Acapulco en 1978. Se puede esperar que en el futuro se registren valores aún más altos a medida que nuevos instrumentos sean instalados más cerca de los epicentros de movimientos sísmicos.

Usando escalas logarítmicas, es posible construir un diagrama de la respuesta máxima en función de la aceleración absoluta, del desplazamiento relativo y de una tercera cantidad conocida como *seudovelocidad*. La pseudovelocidad no es exactamente la velocidad real pero tiene una relación muy cercana a la verdadera velocidad. Estas tres cantidades, aceleración máxima absoluta, desplazamiento máximo relativo y pseudovelocidad máxima relativa, son a veces conocidas, respectivamente, como la aceleración espectral, el desplazamiento espectral y la velocidad espectral.

Cuando se considera la amortiguación en la estructura de un grado de libertad, se puede razonar que el desplazamiento máximo relativo ocurrirá cuando la velocidad relativa sea cero. Por lo que el desplazamiento espectral S_d , o sea el desplazamiento máximo relativo, es proporcional a la aceleración espectral S_a , la aceleración máxima absoluta. En particular, para los valores máximos, la aceleración espectral es proporcional al desplazamiento espectral, es decir:

$$S_a = -\omega^2 \cdot S_d \quad (4.16)$$

La velocidad ficticia asociada con este aparente movimiento armónico, es la seudovelocidad y por conveniencia su valor máximo S_v , se define como la velocidad espectral, o sea:

$$S_v = \omega S_d = \frac{S_a}{\omega} \quad (4.17)$$

SISMO	GRO-MICH	REGISTRO	CU01850919BT.T	CORRECCION
DATOS	IDEI	ESTA	CU01	CALTECH.
FECHA	850919	INST	D3-121	FILTRO 0.070 0.100 12.0 15.0
HORA	13:17:49	COMP	N90E	ΔT 0.030
EPIC	18.141 102.707	HORA	13:19:12	MAX ACEL 33.50 -29.39
M	8.1	DUR	177.30	MAX VEL 9.33 -9.00
H	16	DIST	400	MAX DESP 7.13 -6.73

ESPECTRO DE RESPUESTA AMORT (ξ) 0.2, 0.5, 1.0, 2.0

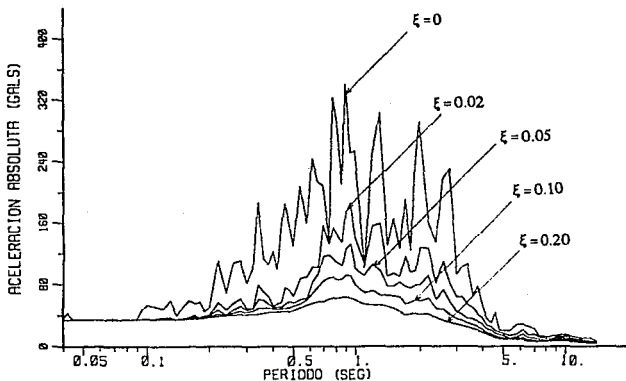


Figura IV.7 Espectro de respuesta para la componente transversal. Estación CU01.

IV.5 APLICACIONES

A continuación se explicará de manera breve algunas de las aplicaciones de la instrumentación y proceso sísmico como son: zonificación sísmica, calibración de modelos en estructuras, cuantificación de los efectos locales en la excitación sísmica y espectros de diseño.

a. Zonificación sísmica

Determinar en un país o una región las zonas de alto y bajo riesgo sísmico según las condiciones locales, se llama *zonificar* y es de gran utilidad para la elaboración y aplicación de códigos de construcción. Por medio de los mapas de zonificación sísmica podemos tener acceso a información como puede ser cercanía a fallas activas, probabilidad de que se produzca un efecto determinado en ese lugar, consecuencias de la estructura local del suelo que afectarían a una construcción tipo, es decir, datos que permiten definir el riesgo a partir de la llamada *aceleración de diseño*. Cuando la zonificación se hace con gran detalle, como el necesario para describir el riesgo sísmico de las distintas partes de la ciudad de México, se llama *microzonificación*.

Estos mapas de sismicidad son punto de partida para normar criterios de diseño sismorresistente.

b. Calibración de modelos en estructuras

Los acelerógrafos pueden registrar el movimiento de los temblores pequeños o de gran severidad en el terreno, y en diversas clases de estructuras principalmente edificios, puentes, presas e instalaciones portuarias. Por lo que podemos obtener registros confiables de cómo se mueve y deforma cierta estructura al ser sometido a la acción de un sismo fuerte.

La importancia de conocer cómo se comportan las construcciones cuando un temblor fuerte las hace oscilar. "a pesar de que éste movimiento está previsto en los métodos y procesos de cálculo y diseño que dictan los reglamentos de construcción, radica en la evidencia penosamente acumulada en época reciente, y que aún subsisten numerosas y profundas lagunas en el conocimiento del comportamiento dinámico de las estructuras" (Ref. 29). Los modelos matemáticos del comportamiento de la estructura, son susceptibles de mejorarse por medio de la instrumentación en edificios, éstos pueden ser revisados y adecuados con el fin de hacerlos más apegados a la realidad, de ésta manera es posible conjuntar dos formas de vigilar la respuesta de las estructuras, la teórica y la experimental.

Interesa principalmente ampliar el conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, ya que "si ni en el edificio ni en el terreno cercano existen aparatos que registren los efectos sísmicos, la única información que se tiene entonces es la totalidad de daños que presenta la estructura pero sin que se tenga idea de qué falló primero, en qué momento ocurrió cada una de las fallas y a qué deformaciones o desplazamientos se asociaron, o bien en qué secuencia se fueron presentando. Estas son las condiciones en que usualmente se ve obligado a trabajar quien se propone reparar una estructura dañada, muchas veces sin tener datos de los parámetros dinámicos fundamentales de la edificación, como son sus períodos naturales y los amortiguamientos asociados" (Ref. 29). Por lo que, por medio de la instrumentación podremos tener evidencia de las aceleraciones a las que fue sometida la estructura y por tanto de los desplazamientos y deformaciones reales de la construcción; de la misma manera podremos correlacionar los parámetros del movimiento del suelo con los daños asociados a la respuesta de la estructura. Estos estudios se enfocan finalmente a recomendaciones para mejorar los reglamentos sísmicos.

c. Efecto de las formaciones locales en la excitación sísmica

Cuando las ondas de un temblor llegan a un sitio a través de las formaciones rocosas profundas, los depósitos de suelo que se apoyan en la roca son excitados y vibran de manera característica ante cada temblor.

Como consecuencia, el movimiento del terreno en la superficie es diferente del de la base de los depósitos, esto significa que la excitación en la superficie difiere de la que ocurriría si tales depósitos o formaciones superficiales no existieran. A ese fenómeno se le llama *amplificación local* o *filtrado local* y puede dar lugar a la intensificación de las ondas de ciertas frecuencias y a la reducción de las de otras. De la misma manera, al tener una estructura desplantada sobre un depósito de suelo que es excitado sísmicamente, aquella sufre en su base movimientos que difieren de los de la roca basal, esto ocurre no sólo porque las ondas son filtradas por el suelo, sino también porque la presencia de la estructura modifica a su vez el estado de esfuerzos del suelo en que se apoya, comparados con los que se generarían sin la presencia de la misma.

Se ha observado que las últimas decenas de metros de la trayectoria de las ondas sísmicas son vitales para definir la clase de movimiento que se tendrá en la superficie, por lo tanto, esto hace deseable conocer las características dinámicas de las zonas circundantes a la ubicación de estaciones acelerográficas y de ésta manera tener una idea de qué tanto están afectando a la señal recibida en el acelerógrafo las características del medio en que se encuentra colocada la estación (Ref. 34).

Utilizando la técnica de microtemblores y por medio del cociente del espectro de Fourier de velocidad de las señales registradas en la base del instrumento, entre la correspondiente a la vecindad de la estación podemos saber qué tanto de la señal recibida se debe a la fuente y al medio que la transmite y que tanto se debe al medio que recibe.

Este tipo de estudios es una aplicación para conocer la interacción suelo-estructura, así como para detectar fallas locales, siendo una herramienta útil para la investigación del comportamiento de la propagación de las ondas sísmicas en la corteza terrestre respecto a su comportamiento en las estructuras.

Estos efectos tienen relación directa con la explicación y prevención de daños como los ocurridos en la Ciudad de México durante los sismos de septiembre de 1985.

d. Espectros de diseño

En muchas regiones, los sismos representan la causa del mayor número de fallas y daños en las estructuras y es necesario tomar precauciones especiales a este respecto en el proyecto de todas las estructuras, ya que un diseño adecuado para soportar las acciones comunes puede resultar totalmente inapropiado para resistir efectos sísmicos. El riesgo de sismos intensos es suficientemente grande para que sus efectos deban tomarse en cuenta en el diseño de las estructuras. Las características de los sismos se investigan por la experiencia previa de movimientos sísmicos fuertes en la zona donde deberá ser construida la estructura (Ref. 18).

Es evidente que durante la vida útil de una estructura, más de una vez estará sujeta a la acción de un sismo. Si nos interesan los espectros de respuesta, conviene considerar no sólo el de un solo sismo, sino los de todos aquellos que vayan a actuar en la estructura; ya que un sismo determinado puede provocar para unas estructuras una respuesta máxima que puede ser superado cuando las mismas estén sujetas a la acción de otros. Se recurre entonces, a la superposición de los espectros correspondientes a los sismos ocurridos en el lugar en cuestión. A la envolvente de todos ellos se le llama *espectro de diseño*.

Al construir el espectro de diseño con los sismos que ya han ocurrido, existe una probabilidad determinada por los estudios de riesgo sísmico, de que después de un cierto lapso de tiempo se presente un sismo que provoque mayores desplazamientos que los consignados en el espectro.

Los espectros de diseño proporcionan el medio más eficaz que se conoce actualmente para construir adecuadamente toda clase de estructuras en zonas de movimientos sísmicos.

Como su empleo en la práctica exige el registro de temblores, la aplicación del método está más desarrollada en los países donde se han instalado mayor número de registradores, esto implica que habrá espectros de diseño en aquellos lugares en que se tengan registros de acelerógrafos de diferentes sismos y para los cuales se hayan construido espectros de respuesta.

Una definición muy acertada de la aplicación del proceso sísmico en el diseño sismorresistente ha sido dada por Esteva (Ref. 8):

"El arte del diseño contra los sismos no consiste en producir estructuras capaces de soportar conjuntos dados de fuerzas laterales, aunque esta capacidad es parte de un diseño sano. Implica producir sistemas que se caractericen por una óptima combinación de propiedades tales como resistencia, rigidez y capacidad para resistir energía y para deformarse dúctilmente. Estas propiedades les permitirán responder a sismos frecuentes y moderados sin sufrir daños significativos y a sismos excepcionales y muy severos sin poner en peligro su propia estabilidad, su contenido y la seguridad de sus ocupantes. El logro de estos objetivos implica mucho más que la aplicación de requisitos reglamentarios: exige la comprensión de los factores básicos que determinan la respuesta sísmica de las estructuras, así como el ingenio necesario para producir sistemas que tengan las características adecuadas".

La adecuada instrumentación y proceso sísmico son apoyo para poder llegar a determinar cuáles refinamientos o adiciones son requeridos por las diversas disposiciones vigentes sobre diseño sísmico en lo referente al dato básico de todo diseño: qué temblores deben resistir las edificaciones por construirse.

V. CONCLUSIONES

1. México por su ubicación geográfica está sujeto a sismos que pueden derivar en una situación de desastre.

2. Las brechas sísmicas en la zona de subducción de la costa del océano pacífico tienen una alta probabilidad de producir en cualquier momento un sismo severo, por lo que estos sitios son estratégicos para la instrumentación sísmica.

3. La presencia de fallas geológicas y la acción de las placas continentales son factores siempre presentes en la dinámica de la naturaleza de nuestro país. En el Valle de México, a esos elementos se suman las características del subsuelo y la gran densidad poblacional, originando una situación de grave riesgo sísmico.

4. Los estragos sufridos en las construcciones como efecto de los eventos sísmicos son únicamente la culminación de un proceso que se inicia en el momento mismo de la falla sísmica. Las redes sísmicas extensas permiten observar, estudiar, localizar, caracterizar y dar informes sobre la mayor cantidad posible de sismos. El conocer la ocurrencia y distribución de sismos permite entender los procesos tectónicos, evaluar probabilidades para la ocurrencia de sismos, determinar modelos apropiados y su aplicabilidad a la respuesta del suelo y las estructuras, distinguir efectos locales y de propagación de las ondas, con el fin de tener criterios razonables de seguridad en las construcciones.

5. Los terremotos consisten esencialmente en una serie aleatoria de vibraciones del terreno. Habitualmente se registran las componentes norte-sur, este-oeste, así como también la componente vertical de la aceleración del terreno. En la actualidad no existe método alguno para predecir el movimiento que una determinada localidad pueda experimentar en el futuro.

Por lo tanto, es razonable usar espectros de diseño que incorporen la respuesta espectral de varios sismos y que representen un *promedio* de sus efectos en las construcciones.

6. En ingeniería, el objeto del diseño es la optimización, aún tratándose con variables aleatorias como las de los sismos, por lo que el apoyo que proporcionan los datos de los registros sísmicos son para el diseño sismorresistente punto de partida para la seguridad estructural.

7. Es importante mejorar las técnicas de procesamiento de datos con la finalidad de obtener información más representativa del fenómeno sísmico.

8. La importancia de la computación como herramienta de cálculo así como por su velocidad de consulta y por ende en la solución de problemas, permitiendo incluso soluciones en tiempo real es incuestionable, debemos dar al cómputo la importancia que requiere, pues esto disminuirá el tiempo de proceso y los costos de operación y mantenimiento, a la vez que aumentará el volumen de proceso.

9. Es necesario un banco de datos procesados de cada institución para una mejor evaluación del potencial y riesgo sísmico en México, esto facilitaría también el intercambio de información entre las mismas.

10. El desarrollo de una política de prevención de desastres naturales es un gran problema común y una demanda urgente en todo el mundo.

REFERENCIAS

1. ALCANTARA, L, MACIAS M, ALMORA D, *Operación de las redes sísmicas en los edificios Plaza Córdoba y Metro Juárez*, Publicaciones del Instituto de Ingeniería, Diciembre 1992.
2. ALCANTARA, L, MENA E, DOMINGUEZ, O, QUAAS, R, ANDERSON, J, DELGADO, R, MACIAS, M, *Catálogo de acelerogramas procesados del sismo del 19 de septiembre de 1985*. Parte III: Red Acelerográfica de Guerrero, series del Instituto de Ingeniería, UNAM, número 529, México, DF (1990).
3. ALCANTARA, L, MACIAS, M, QUAAS, R, ANDERSON, J, *Catálogo de acelerogramas procesados del sismo del 19 de septiembre de 1985*. Parte IV (última): Réplica del 21 de septiembre en la Red Acelerográfica de Guerrero, series del Instituto de Ingeniería, UNAM, número CD-2, México, DF (1992).
4. ALVAREZ, A, CAJIGA, J, *Manuales de operación y mantenimiento de las instalaciones de SISMEM*, Tesis profesional, UNAM, 1978.
5. BOLT, B, *Terremotos*, Editorial Reverté S.A. 1981.
6. BULLEN, K, *El interior de la Tierra*, en El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México.
7. ESPINDOLA, M, JIMENEZ, Z, *Terremotos y ondas sísmicas*, Cuadernos del Instituto de Geofísica, UNAM, México, 1987.
8. ESTEVA, L, *Design General*, Cap. 3 del libro Design of Earthquake Resistant Structures, editado por E. Rosenbluth, Pentech Press, Londres, 1980.
9. ESTEVA, L, *Regionalización Sísmica de la República Mexicana*, Sobretiro al número 1, Vol. I, de la revista de la Sociedad Mexicana De Ingeniería Sísmica, México, Junio de 1963.
10. FIGUEROA, J, *Carta sísmica de la República Mexicana*, Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, Vol. 5, 1959.
11. FIGUEROA, J, *Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana*, Publicación número 272 del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1970.
12. FUNDACION ICA, A.C. *Experiencias derivadas de los sismos de Septiembre de 1985*, Limusa, México, 1988.

13. HOUSNER, G W, Earthquake engineering-some early history, en *Proceedings of the Golden Anniversary Workshop On Strong Motion Seismometry*, Organizado por the University of Southern California and the National Science Foundation, Editado por D.E. Hudson, Marzo 30-31, 1983.
14. HWEI, P, *Análisis de Fourier*, Addison-Wesley, Iberoamericana, 1973.
15. IGLESIAS, J, *Seismic Zoning of Mexico City after the 1985 Earthquake*, en *Earthquake Spectra*, Vol. 5, número 1, Febrero 1989.
16. JAIME, A, *Características Dinámicas de la Arcilla del Valle de México*, Tesis Doctoral, posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Noviembre 1987.
17. LEET, L, JUDSON, S, *Fundamentos de Geología Física*, Limusa, 1989.
18. MELI, R, *Diseño estructural*, Limusa, 1991.
19. MENA, E, *Sistema de proceso avanzado de acelerogramas para el CENAPRED*, Publicación IS/03/90 del Catálogo General de Publicaciones Técnicas de la Coordinación de Investigación del CENAPRED, Diciembre 1990.
20. MENA, E, CARMONA, C. *TERRE: Sistema para Proceso de Acelerogramas*, Vol II, Publicación SIS-4 del Catálogo de las Series del Instituto de Ingeniería, México, Junio 1986.
21. MENA, E, CARMONA, C, DELGADO, R, ALCANTARA, L, y DOMINGUEZ, O, *Catálogo de Acelerogramas Procesados del Sismo del 19 de Septiembre de 1985. Parte I: Ciudad de México*, Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, número 497, México DF, 1987.
22. CARMONA, C, MENA, E, ALCANTARA, L, DELGADO, R, y DOMINGUEZ, O, *Catálogo de Acelerogramas Procesados del Sismo del 19 de Septiembre de 1985. Parte II: Réplica del 21 de Septiembre en la Ciudad de México*, Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, número 503, México DF, 1987.
23. MERINO Y CORONADO, J, *Notas sobre algunas observaciones sismotectónicas en la República Mexicana*, Anales del Instituto de Geofísica, Vol. 9, UNAM, México, 1963.
24. NAVA, A, *Terremotos*, La ciencia desde México, número 34, SEP, Fondo de Cultura Económica y CONACYT, México DF, 1987.
25. NEWLAND, D E, *Random Vibrations and Spectral Analysis*, Longman, London, 1975. México, 1987.

26. PRINCE, J, BUSTAMANTE, J, *Corrección de los acelerogramas de cuatro macrosismos registrados en la Ciudad de México*. Publicación número 93 del Catálogo de las Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, Octubre 1963.
27. PRINCE, J, *Espectros de temblores y su aplicación*. Publicación número 78 del Catálogo de las Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, Junio 1963.
28. PRINCE, J, *Estudio sísmico para los puertos industriales de la Laguna del Ostión, Ver. y Lázaro Cárdenas, Mich. Instrumentación Sísmica*. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, Agosto de 1981.
29. PRINCE, J, *Instrumentación sísmica de edificios de teléfonos de México*. en Reto Sísmico, publicación de teléfonos de México, varios autores, 1988.
30. QUASS, R, ANDERSON, J, *Strong Ground Motion From the Michoacan, México, Earthquake*, en Science Vol. 233, Septiembre 5, 1986.
31. QUASS, R, GUEVARA, E, GONZALEZ, R, *Red de observación sísmica del Centro Nacional de Prevención de Desastres*, en Memorias del Simposio "Instrumentación Sísmica de Temblores Fuertes", CENAPRED, Septiembre de 1991.
32. QUASS, R, RODRIGUEZ, N, *Respuesta estructural de un edificio instrumentado en la Cd de México durante sismos recientes*, en Instrumentación sísmica y uso de elementos disipadores de energía en el comportamiento estructural, Seminario de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Octubre 11 y 12 de 1990.
33. RASCON, O, CHAVEZ, M, ALONSO L, PALENCIA V, *Corrección de la línea base de registro de temblores*, en Revista de Ingeniería Sísmica, México, Septiembre-Diciembre de 1976.
34. RESENDIZ, D, *Problemas geotécnicos de la ingeniería sísmica*, en Revista Ciencia, Vol. 38, 1987.
35. ROSENBLUETH, E, *Sobre la sismicidad de la Tierra*, Sobretiro al No 1, V. 1, Boletín de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, México, Junio de 1963.
36. ROSENBLUETH, E, NEWMARK, M, *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*, Editorial Diana, México, 1976.
37. SHERIFF R E, GELDART L P, *Procesamiento e interpretación de datos*, en Exploración sísmológica, Volúmen II, Noriega Editores, México, 1991.

38. SUAREZ, G, *El potencial sísmico en la República Mexicana*, en Revista "INGENIERIA", V. LX, número 2, Abril-Junio 1990.

39. SUAREZ, G, JIMENEZ, Z, *Sismos en la Ciudad de México y el Terremoto del 19 de Septiembre de 1985*, Cuadernos del Instituto de Geofísica, número 2, UNAM, México, 1987.