

01060

7



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

zo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
AM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional

NOMBRE: Matabuena Cascajares

FECHA: 23/09/02

SERMA: \_\_\_\_\_

Facultad de Filosofía y Letras.  
Universidad Nacional Autónoma de México  
División de Estudios de Posgrado.

**TESIS**

“ Influencia y afectación de los sismos en la calle Paseo del Río, en el tramo comprendido entre las calles de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo ubicada en la colonia Paseos de Taxqueña, delegación Coyoacán al sur del Distrito Federal.”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

**Matabuena Cascajares María Luisa del Carmen.**

MÉXICO, D.F.

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*“ Influencia y afectación de los sismos en la calle Paseo del Río, en el tramo comprendido entre las calles de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo ubicada en la colonia Paseos de Taxqueña, delegación Coyoacán al sur del Distrito Federal. ”*

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
Prólogo.....	1
Introducción.....	2
Metodología.....	5
<b>CAPÍTULO 1. SISMOS.....</b>	<b>6</b>
1.1 Los sismos y sus antecedentes.....	6
1.2 Sismología.....	9
1.3 Tipos de ondas sísmicas.....	10
<b>CAPÍTULO 2. SISMICIDAD EN LA REPÚBLICA MEXICANA.....</b>	<b>18</b>
2.1 Antecedentes históricos.....	18
2.2 Placas que afectan a la República Mexicana.....	22
<b>CAPÍTULO 3. CIUDAD DE MÉXICO.....</b>	<b>29</b>
3.1 Localización geográfica de la Ciudad de México.....	29
3.2 Hundimientos.....	35

<b>CAPÍTULO 4. COYOACÁN.....</b>	<b>41</b>
4.1 Antecedentes.....	41
4.2 Subsuelo de Coyoacán.....	44
4.3 Población y servicios.....	44
<b>CAPÍTULO 5. TAXQUEÑA.....</b>	<b>47</b>
5.1 Antecedentes históricos.....	47
5.2 Localización.....	48
5.3 Estratigrafía de la calle Paseo del Río.....	51
5.4 Problemas que afectan a la zona.....	55
5.4.1 Suelos.....	55
5.4.2 Sismología en la zona.....	57
5.4.3 Hundimientos.....	58
5.4.4 Cimentaciones.....	59
5.5 Análisis de los edificios situados en la calle de Paseo del Río en el tramo comprendido entre la calle de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo.....	64
5.6 Registros de movimientos fuertes.....	77
5.6.1 Sismogramas.....	79
5.6.2 Espectros de respuesta.....	92

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LA CALLE DE PASEO DEL RÍO.....</b>	<b>110</b>
<b>6.1 Perfil de los edificios ubicados en la calle de Paseo del Rio en el tramo comprendido entre la calle de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo, ubicado en la colonia Paseos de Taxqueña.....</b>	<b>110</b>
<b>6.2 Vulnerabilidad ante un sismo.....</b>	<b>115</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>130</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>136</b>
<b>A.1 Transformación del Lago de la Cuenca de México.....</b>	<b>137</b>
<b>A.2 Acciones a seguir en caso de sismos.....</b>	<b>143</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>146</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>154</b>

## Prólogo

El propósito de esta investigación es analizar, estudiar y precisar el por qué a la zona de la calle Paseo del Río en el tramo comprendido entre las calles de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo, en la colonia Paseos de Taxqueña, delegación Coyoacán, se le considera una zona de alto riesgo sísmico.

A partir de los terremotos del año 1985, la Ciudad de México vive un cambio importante en cuanto a seguridad y protección de sus instalaciones y hogares. A raíz de este percance se crea la Organización de Protección Civil, que tiene por objetivo actuar en situación de emergencia, prevenir esas emergencias, y así conservar la integridad física de la población y todo lo que la rodea, proporcionándole bienestar.

La zona de estudio tiene un alto grado de riesgo sísmico, que pone en peligro la vida de las personas que la habitan, con características muy peculiares y diferentes a las de otras zonas dentro de la Ciudad de México, y que la hacen interesante y atractiva para su estudio. Pretendo con la elaboración de este trabajo despertar en la gente la necesidad de tener una cultura sísmica, para que pueda planear y prevenir en vez de sufrir las consecuencias de un sismo. Para ello, se deben planificar las situaciones de emergencia, y así disminuir el porcentaje del riesgo de perder la vida o de salir lesionado en una situación de pánico. La mayoría de las veces el actuar acertadamente en caso de emergencia puede marcar la diferencia entre que una persona salve la vida, la pierda o sufra lesiones irreversibles.

Uno de los objetivos principales es buscar soluciones posibles para prevenir desastres futuros en esta zona y su posible aplicación a otras zonas de alto riesgo sísmico en la Ciudad.

## Introducción

En la historia del hombre el observar, estudiar y comprender los fenómenos y secretos de la naturaleza ha sido una de sus metas.

Uno de los fines de este trabajo es dar al ser humano un conocimiento útil de los procesos naturales en la medida en que influyen directamente sobre su vida. Un dominio de la naturaleza sobre el hombre son los desastres naturales, que en algunas ocasiones terminan en pocos segundos con la obra desarrollada por él a través de su vida.

Uno de los fenómenos que afectan la vida del hombre son los sismos, que pueden causar efectos impredecibles a las construcciones, originando serios problemas y casi la instantánea y total devastación, además de un impacto psicológico único, por lo que se requiere una adecuada planeación para poder reducir en forma extrema los riesgos producidos por los sismos.

La presente tesis "Influencia y afectación de los sismos en la calle Paseo del Río, en el tramo comprendido entre las calles de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo ubicada en la colonia Paseos de Taxqueña, delegación Coyoacán al sur del Distrito Federal" tiene como principal interés informar y crear conciencia en la población de la Ciudad de México, específicamente en la de la zona de Paseo del Río, a partir del conocimiento del nivel de peligro sísmico que existe ahí, es decir, el potencial sísmico que representa un riesgo para sus pobladores y aplicar criterios que permitan reducir los niveles de riesgo originados por los sismos y así proteger a sus habitantes de una catástrofe, garantizando un grado óptimo de seguridad en la utilización de sus edificaciones.

La concientización del peligro sísmico nace de las innumerables experiencias sísmicas durante la historia de la Ciudad de México, que es el asentamiento humano más complejo de la nación y que con su descontrolado desarrollo urbano incrementa los índices de riesgo sísmico. En esta ciudad podemos encontrar gran variedad de construcciones que son testigos en el tiempo de su vulnerabilidad y de su incapacidad para resistir sismos de importancia, vulnerabilidad que incrementa el nivel de riesgo para sus habitantes, sobre todo si éstos no estiman el verdadero valor de su seguridad y siguen habitando estas construcciones sin ninguna acción que regenere la capacidad del edificio para resistir movimientos fuertes de la Tierra. El riesgo sísmico debe ser abordado por el diseño y la construcción de estructuras sísmo-resistentes, necesitándose una atención cuidadosa en el diseño. Los propósitos del diseño están básicamente encaminados a evitar pérdidas humanas y reducir el daño y pérdidas del conjunto construido. Sin embargo, el diseñar una estructura en la que se evite el colapso en un fuerte sismo implica un costo muy grande, por lo que se busca lograr una estructura con un diseño económico que proporcione el menor de los daños, sin que se llegue a un colapso total ante el intenso sismo.

Debemos anticiparnos a cualquier evento significativo realizando observaciones sismológicas, espectros de respuesta de los edificios ante un sismo, esfuerzos, deformaciones, procedimientos de construcción, etc.

El comportamiento del hombre junto a las invenciones desarrolladas por él mismo para satisfacer sus necesidades en un medio que le cause bienestar, obedecen a las reglas de la naturaleza, que hasta ahora el hombre no ha podido dominar.

El motivo de llevar a cabo esta investigación es presentar al lector, sea niño, adolescente, adulto, científico o cualquier persona que resida en México y, en particular para los que habitan la zona de Paseo del Río, una descripción clara, con lenguaje sencillo y detallada del riesgo que puede afrontar al presentarse un fuerte sismo. Para ello menciono aquí los capítulos que la contienen:

En el Capítulo I se habla, de manera general, de en dónde y por qué se generan los sismos, y de los aspectos que deben formar parte de la educación de la población de cualquier país en donde se presenten estos fenómenos; con el fin de evitar grandes catástrofes.

En el Capítulo II se analizan las regiones sísmicas en el territorio nacional, con la finalidad de valorar el peligro sísmico actual y la necesidad de continuar con nuevas observaciones sismológicas, incluyendo croquis y mapas explicativos.

En el Capítulo III se concreta la información sobre la Ciudad de México para entender qué situación sísmica presenta.

En el Capítulo IV se concentra nuestra mirada en una de las zonas que presentan mayor vulnerabilidad en la Ciudad de México ante los sismos: Coyoacán, lugar donde se localiza la zona de estudio.

A través del Capítulo V, se analiza cómo se fue formando la zona, qué características posee, qué problemas la rodean y cómo se le puede ayudar haciéndola menos vulnerable ante los sismos, con el soporte de mapas, croquis, sismogramas, espectros de respuesta y fotografías.

## **Metodología**

El presente trabajo es una investigación exploratoria sobre la calle de Paseo del Río, estudiando el comportamiento de las personas que la habitan y de las estructuras de los edificios ante un sismo.

La idea primordial de escoger esta zona en la Ciudad de México fue cuando asistí a la Conferencia del 26 de noviembre del año 2000 en el World Trade Center, donde el Ingeniero Luis Wintergust, Director de Protección Civil en el Distrito Federal destacó lo riesgoso del lugar ante un sismo.

Se generó la información de este estudio haciendo entrevistas, encuestas cortas, observando el lugar para ver su paisaje, relieve, vegetación, ríos, escuelas, construcciones, todo esto con el objeto de conocer las actividades cotidianas y el motivo por el que escogieron vivir aquí. Se hicieron una serie de fotografías de la zona en general y de los edificios que están dañados desde los sismos del año de 1985. Se obtuvo valiosa información y ayuda del profesor Emérito de la Universidad de Kyoto, Japón, Takeshi Mikumo y del Ingeniero Luis Wintergust, y sus colaboradores.

## Capítulo I. Sismos.

### 1.1 Los sismos y sus antecedentes.

Sismo (*viene del griego seiein = mover*) es un movimiento en sentido oscilatorio o vibratorio, que se origina en las profundidades de la corteza terrestre, provocando una fuerte sacudida en una gran extensión, debido a la propagación del movimiento por los materiales que la forman en todas direcciones en forma de ondas elásticas llamadas sísmicas (*Medina, 1997*).

Usualmente a un sismo pequeño, generalmente local, se le llama temblor; y si el sismo es grande se denomina terremoto (*Nava, 1995*).

En la antigüedad se consideraba que los sismos eran fenómenos que tenían una explicación mítica, como, que en el interior de la Tierra en su parte central, vivía un enorme pez-gato, que cuyas sacudidas causaban los terremotos. También eran atribuidos al paso de un dios en trineo bajo la tierra o se tenía la idea de que el movimiento de tierra era causado por un dios en señal de castigo a determinada gente por haberse portado mal.

Algunos filósofos de la Grecia antigua los atribuían a los vientos subterráneos, mientras que otros suponían que eran fuegos en las profundidades de la Tierra. Posteriormente ya con bases científicas, se demostró que eran producto de causas naturales.

El movimiento del suelo es descrito por Samuel Clements, que en el año de 1860 vivió en California, Estados Unidos, momento en que se presentaron varios terremotos: “ He sufrido una gran cantidad de terremotos aquí, y de diversas variedades, algunos que se presentan como un estremecimiento universal; otros que nos dan dos o tres empujones súbitos hacia arriba, desde abajo; otros que oscilan grande y deliberadamente de un lado a otro; y aún otros que empiezan rodando y ondulándose bajo nuestros pies como una gran ola marina”.

En 1887, el profesor Sekiya, hizo un experimento con una estructura con un alambre, que indicaba el movimiento de un punto en la tierra durante los primeros 20 segundos de un terremoto, y se vio que la cantidad real de movimiento fue de 0.74cm. En esto lo importante es ver el pequeño tamaño de un movimiento característico de tierra, y darse cuenta que la reacción del edificio u objeto a este movimiento es lo que causa los grandes desplazamientos en las estructuras , provocando grandes daños (Arnold, 1987) (Fig. 1 a y 1.b) .

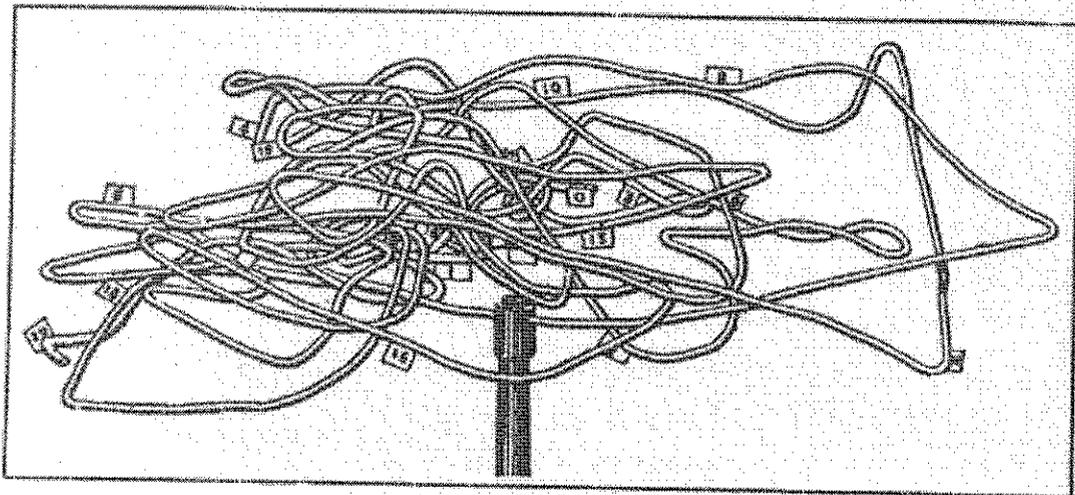


Fig. 1.a Diagrama de alambre del movimiento de un temblor.

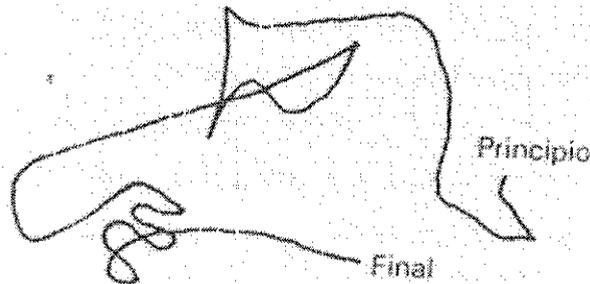


Fig. 1.b Marca en el piso dejada por una estufa de cocina en el suelo. Terremoto de Long Beach, California, en 1933.

Los sismos se producen por el deslizamiento del suelo a lo largo de una falla, que está en la profundidad de la tierra, y este movimiento ocurre súbitamente, liberando la tensión que de forma gradual se ha ido acumulando en las rocas de la superficie terrestre y porque puede producir una “falla superficial”, o sea una abertura en la superficie de la tierra. Una falla superficial puede provocar grandes movimientos de tierra, y cualquier edificación localizada en esta zona sin importar lo bien diseñada que esté, sufrirá un grave daño. Aunque el movimiento vibratorio del terreno durante un terremoto es en todas direcciones, los componentes horizontales son importantísimos, ya que estos movimientos ejercen fuerzas sobre lo que está construido, debido a que se aceleran, y esta aceleración es un cambio de velocidad en el movimiento del terreno. La aceleración y la fuerza que ejerce sobre la estructura del edificio, invierten su dirección periódicamente, a cortos intervalos de tiempo. Para este cálculo se aplica la segunda ley de Newton del movimiento,

$$F=Ma$$

En donde F es la fuerza que produce una aceleración a, cuando actúa sobre un cuerpo de masa M (Green, 1980).

## 1.2 Sismología.

La rama de la geofísica que estudia los sismos o terremotos se llama sismología, cuyos objetivos principales son la investigación del porqué de los fenómenos sísmicos, y así poder prevenir grandes catástrofes y también estudiar la propagación de las ondas sísmicas por el interior de la Tierra, conociendo su estructura interna y las características de las capas del subsuelo y su comportamiento frente a las ondas sísmicas *(Nava, 1995)*.

El concepto de onda se empezó a definir en 1480 cuando Leonardo Da Vinci escribía que el impulso es más veloz que el agua, ya que la ola suele salir de su lugar de origen mientras el agua permanece. También analizaba el oleaje que el viento desarrolla en un trigal, se ven las olas que se desplazan en el campo y las espigas se quedan en su lugar. Pudiendo describir este fenómeno, como que el movimiento se propaga y el material permanece en su lugar *(Lomnitz, 1994)*.

La sismología establece sus bases científicas en las primeras décadas del siglo XX, tratando de perfeccionar instrumentos llamados sismógrafos que detectan y miden las ondas sísmicas, que son producidas por la propagación de energía liberada de un sismo, y que causan movimientos en el suelo de diferentes amplitudes. *(Medina, 1997)*.

Si la Tierra fuera homogénea, los rayos viajarían en línea recta y los sismogramas serían muy simples; pero los rayos viajan curveándose hacia la superficie, debido a que las rocas se componen de forma diferente en la profundidad de la Tierra y la velocidad de las ondas aumenta con ésta; además las ondas sufren refracciones y reflexiones según con el material de roca que se encuentren. Estos movimientos persisten hasta que la energía se agote por absorción o dispersión *(Green, 1980)*.

Estos movimientos se propagan en el interior de la Tierra en todas direcciones siendo detectadas por los sismógrafos y registradas en los sismogramas, dando las principales características del terreno que los produjo (Fig 1.c).

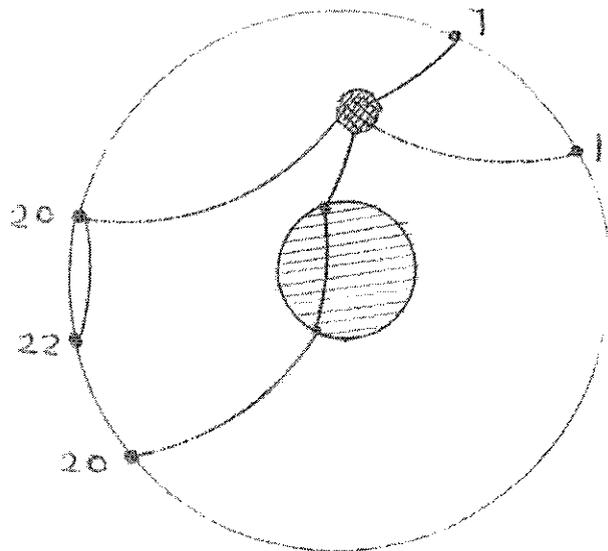


Fig. 1 c. Croquis de la trayectoria de las ondas sísmicas P en el interior de la Tierra. Los tiempos de recorrido están indicados en minutos, ejemplo: 20" (Lomnitz, 1994)

### 1.3 Tipos de ondas sísmicas.

A principios del siglo XIX se pensaba que las ondas sísmicas eran iguales a las ondas del sonido; pero en 1840, el francés Lamé descubrió que las ondas sísmicas eran más lentas que las del sonido comprobándolo con los primeros sismogramas (Lomnitz, 1994). Toda onda transmite movimiento y energía. La equivalencia de un movimiento sísmico tiene una energía de un millón de millones de millones de calorías, que son equivalentes a más de 30,000 bombas nucleares como la de Hiroshima; y esta energía se reparte entre las cuatro formas de ondas sísmicas (Lomnitz, 1994).

Las ondas sísmicas deforman el terreno a través del cual pasan, las ondas más sencillas son las ondas senoidales (aquellas cuyos valores varían en tiempo y/o en espacio como senos y cosenos trigonométricos) cada una se caracteriza, por su frecuencia, o sea el número de veces que el movimiento se repite en un cierto tiempo, que se expresa en Hertz que son ciclos sobre segundo o por su periodo que es el tiempo que tarda en repetirse expresado en segundos, por su amplitud (A) expresada en unidades de longitud (micras o centímetros) y por su fase. Si es una onda senoidal viaja con una velocidad al cabo de un periodo y habrá recorrido una distancia llamada longitud de onda (Nava, 1995).

La profundidad de estudio en los sismogramas ha permitido diferenciar dos tipos principales de ondas sísmicas estudiando en ellas la forma de movimiento que imprime a la roca: las preliminares, divididas, a su vez, en longitudinales y transversales, y las superficiales, divididas también en ondas Rayleigh o R y ondas Love o L.

Las ondas preliminares llamadas también primarias o P, o tipo compresional (Medina, 1997) son las más rápidas, tardan aproximadamente 21 minutos en atravesar el globo desde el epicentro hasta las antípodas; y, por lo tanto, las primeras que registran los sismógrafos. Su velocidad de propagación depende de la naturaleza del medio sólido por el que se transmiten, especialmente, de su densidad y de sus propiedades elásticas. Estas ondas aumentan su velocidad de propagación con la densidad y, por lo tanto, con la profundidad, pues en el interior de la Tierra, a mayor profundidad, mayor densidad de los materiales.

Dentro de las ondas preliminares, están las longitudinales que provocan en las partículas sólidas afectadas, movimientos en el mismo sentido que la dirección de la propagación, produciéndose así ondas de compresión y distensión, con una velocidad entre los 6 y 13.6 km/seg, y por ser las primeras en ser detectadas por los sismógrafos, también se denominan "primeras". Las distensiones y compresiones producen cambios de volumen dentro del material que atraviesan

las ondas sísmicas, que principalmente se recuperan después de que ha pasado el tren de ondas (Fig. 1.d) .

## Onda P

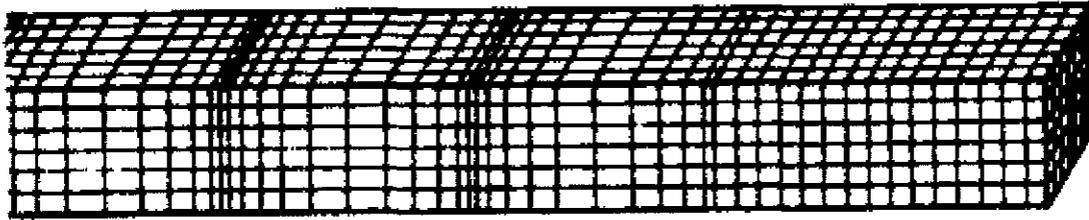


Fig. 1.d. Croquis de las ondas preliminares (Medina, 1997)

Las ondas transversales producen en las partículas afectadas movimientos perpendiculares a la dirección en que se propagan, son ondas de cizalladura o de corte y se llaman también ondas "segundas", u ondas S, éstas presentan velocidades de propagación entre 3.7 a 7.2 km/seg., y se caracterizan por no transmitirse a través de medios fluidos. Las ondas de corte no producen cambios de volumen en su viaje a través del medio por donde se propagan; solo lo distorsionan angularmente (Fig. 1.e).

## Onda S

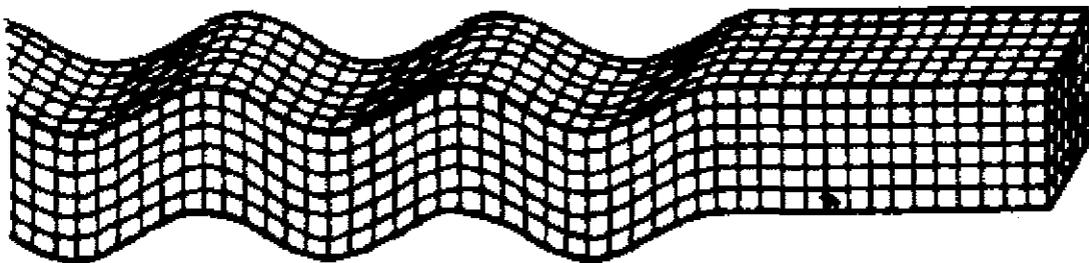
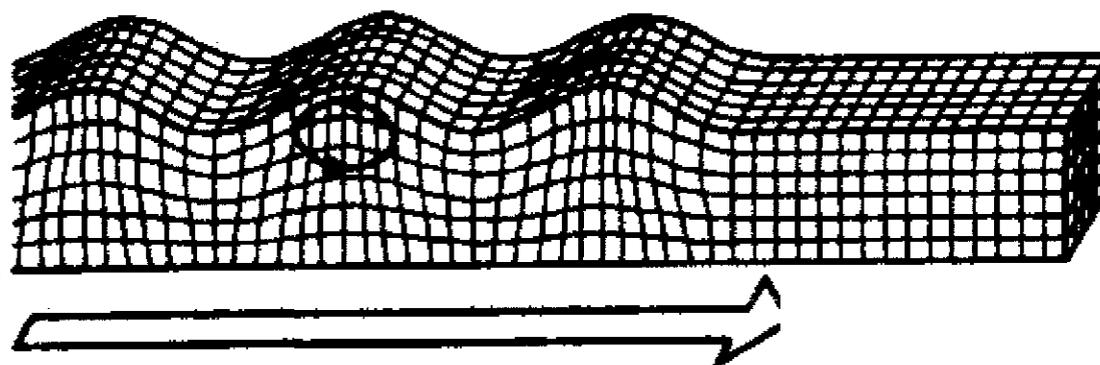


Fig. 1.e. Croquis de la Onda S (Medina, 1997)

Las ondas superficiales, solamente se propagan por la superficie de la Tierra, y se originan a partir de las ondas P y S. En los sismos poco profundos son las que transportan gran cantidad de energía y su efecto es tremendamente destructor.

Dentro de éstas están las ondas R o de Rayleigh, que son de un periodo largo y producen sobre las partículas afectadas movimientos elípticos sobre planos verticales y en sentido opuesto a la dirección de propagación; su velocidad es menor que la de las ondas S. Se tardan tres horas en dar la vuelta a la circunferencia de la Tierra y regresar a su punto de origen. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece con su profundidad. Un ejemplo de estas ondas son las ondas que se producen en la superficie de un cuerpo de agua (Rosenblueth, 1992) (Fig 1.f).

## Onda de Rayleigh



**Dirección del movimiento de la onda**

Fig. 1.f Croquis de la Onda Rayleigh (Medina, 1997).

Y las ondas L o de Love, se producen únicamente en estratos rocosos caracterizados por una baja velocidad de propagación. Se propagan con movimientos de partículas perpendiculares a la dirección de propagación y paralelas a la superficie (Fig. 1.g).

## Onda de Love

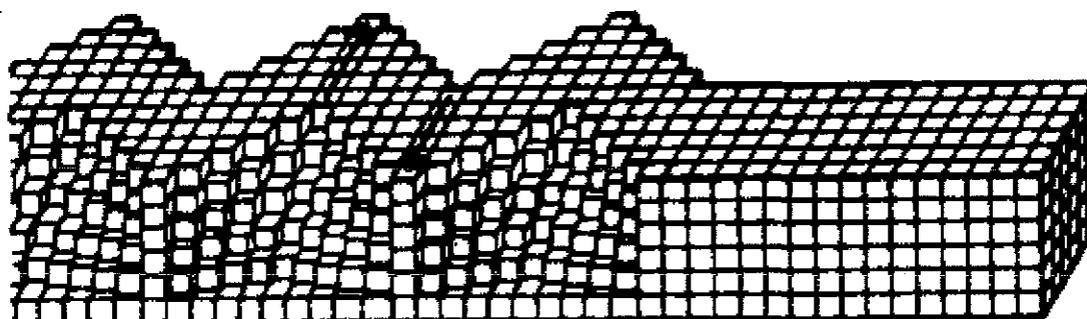


Fig. 1 g Croquis de la Onda Love (Medina, 1997)

En el momento que surgen las ondas en el interior de la Tierra, las ondas preliminares, P y S, sufren reflexiones, refracciones y amortiguaciones que dan a conocer la falta de homogeneidad de los materiales por los que se propagan.

A las zonas del interior de la Tierra, en las que se produce una brusca variación en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, se les llama discontinuidades sísmicas; su existencia indica cambios notables en la composición o en el estado físico de los materiales. (Fig. 1.h).

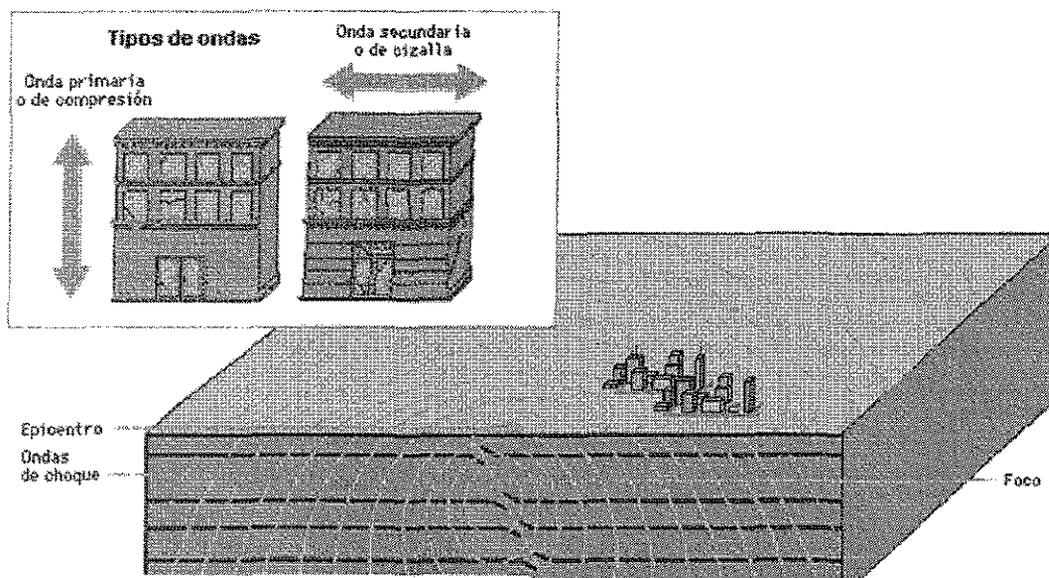


Fig. 1 h Dibujo que muestra los diferentes tipos de ondas durante un sismo.

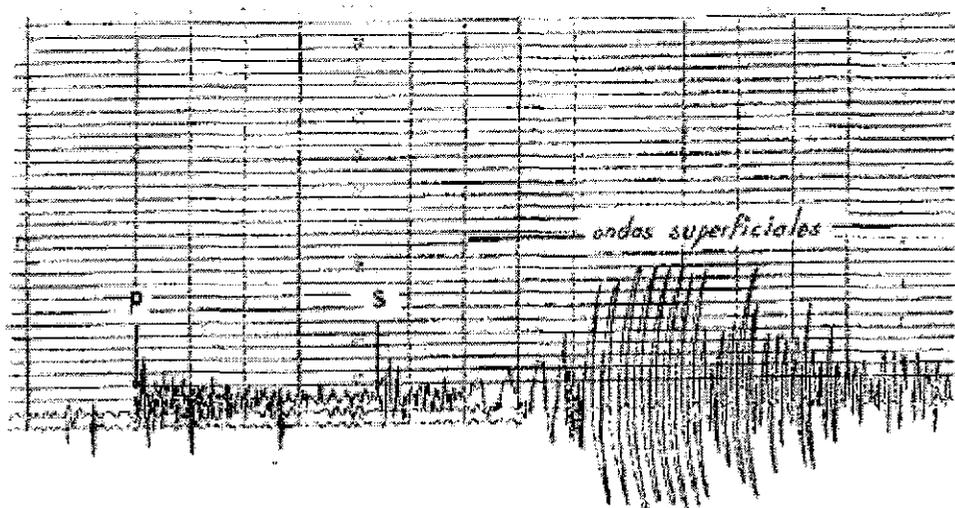
Durante un sismo el suelo se deforma y ablanda al pasar a través de él las ondas sísmicas, a medida de que este fenómeno se repita sobre el mismo suelo, éste se va haciendo más blando y las ondas sísmicas pierden velocidad, pues su velocidad depende de la rigidez del suelo. Al deformarse el suelo y perder su rigidez original, ya que nunca regresa a su estado inicial, éste se empieza a comportar como un líquido. Este proceso se denomina licuefacción, y fue descubierto y explicado en 1936 por el profesor Karl Van Ternaghi (investigador austrohúngaro de la Universidad de Harvard).

Este fenómeno de licuefacción del suelo se produce bruscamente en la superficie de terrenos arcillosos como son los de la zona de lago de la Cuenca de México, produciéndose una deformación infinita donde la longitud de onda se acorta bruscamente causando efectos catastróficos en ciertas estructuras. Las ondas que se manifiestan en estos suelos durante un sismo son las que la gente ve durante el paso del fenómeno, pues son lentas y se dan en la superficie. Estas

ondas serían el quinto tipo de ondas sísmicas, pero no se han comprobado en forma instrumental, ni se ha entendido completamente su mecanismo (Lomnitz, 1994)

El mecanismo de un sismógrafo en principio consiste en una masa suspendida por un resorte sujeto a un soporte acoplado al suelo. En la actualidad se logra por medio de bobinas o imanes que ejercen las fuerzas amortiguadoras de la oscilación libre de la masa y los acelerógrafos muestran la aceleración de ese punto en el terreno en tres componentes ortogonales.

Los sismógrafos reales poseen un sistema amplificador entre la masa y el papel para producir registros que se puedan analizar a simple vista; este instrumento detecta el componente vertical del movimiento del suelo por lo tanto es un sismógrafo vertical. Los registros que proporcionan estos aparatos son los sismogramas (Fig 1.i). Como el movimiento del terreno ocurre en tres dimensiones las partículas del suelo se pueden mover en dirección horizontal y vertical. Para localizar estos movimientos una estación sismológica completa posee seis sismógrafos que se orientan hacia el este-oeste, norte-sur y vertical. Tres de estos sismógrafos son más sensibles a las vibraciones con períodos cortos y los otros tres a los de período largo.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig 1.i Croquis de un sismograma donde se representan las ondas P y S (Nava,1998).

Los sismógrafos dan datos precisos de un sismo; como por ejemplo, el epicentro, a que profundidad se manifiesta, a que hora se origina. Estos aparatos han ayudado a estudiar la estructura interna de la Tierra y la sismicidad mundial. Ya en el siglo XX los sismógrafos contienen sensores electromecánicos y amplificación electrónica, teniendo más sensibilidad para registrar datos sísmicos y por lo tanto impulsan a las ciencias de la Tierra.

Posteriormente en la década de los años 30 se empezaron a usar los acelerógrafos que son los que proporcionan la mayor información para el diseño sísmico de obras civiles.

## Capítulo II. Sismicidad en la República Mexicana.

### 2.1 Antecedentes Históricos.

La República Mexicana es una de las regiones sísmicas más activas del mundo, concentrándose las zonas de mayor sismicidad en la costa occidental del país a lo largo de varias placas. Las primeras noticias de algún movimiento telúrico, se remontan a fechas anteriores a la Conquista expresadas en códices que describen lo acontecido; posteriormente ya durante la Colonia en diarios personales y gacetas se explicaba detalladamente cómo temblaba y qué pasaba. Se puede tener una idea aproximada de qué intensidad tenían los sismos y de los daños que causaban estudiando los relatos de pensadores y naturistas mexicanos como los frailes, Joaquín Velázquez de León, Francisco Javier Clavijero y Bernardino de Sahagún, entre otros.

Con el uso de la imprenta se reportaban datos sismológicos en los periódicos de la época, y con el gran desarrollo de la Colonia como centro de cultura, los temblores fueron descritos por el público en general.

En el momento que se instaló en la República Mexicana la red telegráfica, los telegrafistas informaban y publicaban mensualmente boletines con todo lo referente a los temblores solo que hasta fines del siglo XIX, que Don Juan Orozco y Berra recopila sistemáticamente los sismos ocurridos en México en un catálogo llamado "Efemérides Sísmicas Mexicanas" publicado en 1888-1889 por la Sociedad Científica Antonio Alzate; este documento nos informa con detalle la actividad sísmica presentada en México en ese siglo.

Ya en el año de 1910, por decreto presidencial, el 5 de septiembre se inauguró, el Servicio Sísmológico Nacional como dependencia del Instituto Geológico Nacional, cuya red se formaba por el Observatorio central de Tacubaya

y varias estaciones situadas en Oaxaca, Mérida, Zacatecas, Mazatlán, Guadalajara y Monterrey. En estas estaciones se instalaron los sismógrafos Wiechert de periodo corto, los cuales siguen funcionando en la actualidad con algunas mejoras (Muñoz *et al*, 1987)

En 1929 el Instituto Geológico Nacional pasó a ser el Instituto de Geología de la UNAM y el Servicio Sísmológico formó parte del nuevo instituto. En 1949 se formó el Instituto de Geofísica, y el Servicio Sísmológico pasó a formar parte de éste.

De 1965 a 1967 se instalaron estaciones de mayor sensibilidad en Tehuantepec (PBJ), Vista Hermosa (VHO), Comitán (COM), Toluca (OXM), León (LCG), Presa Infiernillo (PIN), Presa Mal Paso (PMM), Ciudad Universitaria (UNM), Tepoztlán (TPM) y Popocatéptl (PPM).

En 1970 se instaló una red de estaciones en el noroeste para poder observar la actividad sísmica del Golfo de California; el conjunto de todas estas estaciones es controlado actualmente por el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

Actualmente el Servicio Sísmológico tiene una red 35 estaciones, enviándole información en forma telemétrica a una oficina central en el Instituto de Geofísica de la UNAM; ésta registra, procesa y publica los datos en los boletines de información sísmológica, ya sea en sismogramas o datos digitales.

Los estudios de sismología en México han avanzado enormemente y se han formado grupos de investigación que enfrentan los problemas de la sismología. El grupo del Instituto de Geofísica dentro del departamento de Sismología tiene a su cargo el Servicio Sísmológico Nacional que es el vocero oficial de la UNAM para divulgar los temblores. El Instituto de Ingeniería enfoca su trabajo en el tema del riesgo sísmico y dirige la red de estaciones telemétricas

(SISMEX), también hay centros que estudian los sismos y sus problemas en Baja California, Oaxaca, Puebla y Colima (Muñoz et al, 1987).

Dentro de la República Mexicana se encuentran una serie de instituciones que operan instrumentos de registro para movimientos fuertes teniendo cerca de 300 estaciones acelerográficas para llevar a cabo sus mediciones. Estas instituciones son: Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, fundación Javier Barros Sierra (CIRES), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Gerencia de Ingeniería Experimental y Control, Comisión Nacional de Electricidad (CFE, GIEC), Fundación ICA A.C. (FICA), Instituto de Investigaciones para la Ingeniería A.C. y el Ayuntamiento de la Ciudad de Guadalajara (I DE I GUAD), Instituto de Ingeniería UNAM (I DE I UNAM), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Universidad Autónoma de Puebla (UAP) y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM) (Quass, 1993)

La República Mexicana ha sido dividida en cuatro zonas sísmicas para su estudio, utilizando catálogos de principios de siglo, donde se han registrado los grandes temblores de la historia del país, obteniendo también de éstas, los registros de aceleración del suelo de algunos temblores. Los estudios nos indican qué tan frecuentes son los sismos en cada región y su máxima aceleración del suelo.

Zona A : Zona donde no hay registro de sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de los temblores. Esta zona se encuentra en la parte media del noreste de la República Mexicana y la península de Yucatán (Fig 2 a)

Zona D: zona de los más fuertes sismos de la historia, la ocurrencia de temblores es constante y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. La zona abarca el norte de Baja California Norte y en la costa sur del Pacífico formada por los estados de Guerrero y Colima (Fig 2 a).

Las zonas B y C son zonas intermedias entre A y D donde se registran sismos con moderada frecuencia y altas aceleraciones, un poco menores al 70% de la aceleración de la gravedad. Las condiciones del subsuelo de la Ciudad de México la sitúan en zona B (Fig. 2 a)

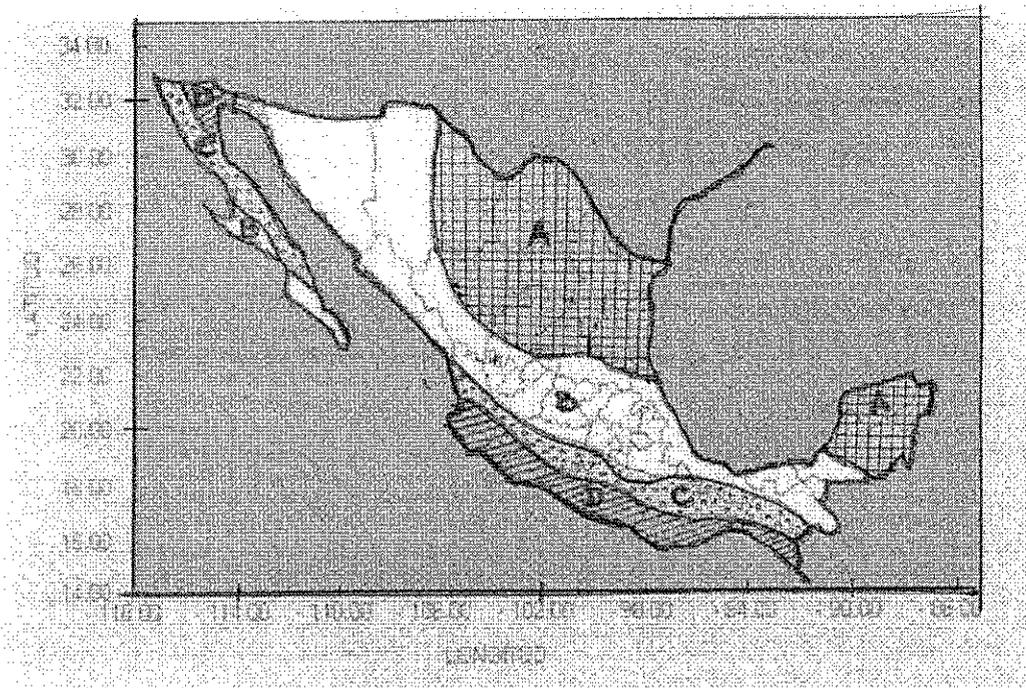


Fig. 2 a Localización de las diferentes zonas sísmicas en la República Mexicana ( 3 de julio de 1987, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal).

## 2.2 Placas que afectan a la República Mexicana.

La República Mexicana es parte de la placa de Norteamérica excepto la península de Baja California y numerosas islas que están en contacto con las placas del Pacífico, Cocos y la del Caribe. Estas placas se desplazan entre sí, unas veces se deslizan paralelamente sobre sus márgenes y otras se sumergen por debajo de otra placa, esto es el fenómeno de subducción donde cabalgan una sobre la otra. Se supone que el movimiento relativo entre ellas se debe a las lentas corrientes de convección del manto el cual las arrastra de acuerdo con la tectónica de placas al desplazarse. El contacto entre las placas en una zona de subducción forma una enorme falla o un sistema de fallas y esta situación se encuentra frente a las costas de Michoacán y Guerrero, en el contacto la placa de Norteamérica y la de Cocos, formando la Trinchera Mesoamericana que contiene varias fosas, como la de Acapulco, Oaxaca, Tehuantepec, etc. El movimiento de las placas no es continuo debido a que la fricción origina discontinuidades al desplazarse, por lo tanto el esfuerzo se acumula hasta que la fuerza de la fricción es enorme y produce el deslizamiento que genera las ondas sísmicas, que producen el temblor; este movimiento mantiene a la placa Continental por encima del océano. Los sismos que se originan de estos movimientos son los que producen los cambios geológicos, provocando la formación de los continentes, agua, atmósfera y vida sobre la Tierra.

En la costa del Pacífico donde la placa de Norteamérica cabalga sobre la de Cocos, hay varias brechas (que son segmentos de las placas que tienen alguna independencia en su movimiento), que son las de Jalisco, Guerrero, Ometepec y Tehuantepec; en esta zona del Pacífico se generan sismos entre 7.8 y 8.2 de magnitud en la escala de Richter cuya longitud de ruptura es del tamaño de las brechas, aproximadamente 200 km. Las brechas presentan actividad sísmica en periodos de recurrencia entre los 35 y 80 años; en el tiempo de inactividad sísmica de la brecha se va acumulando la energía, que a la postre tendrá que ser liberada por un sismo (Boundaries, 1979) (Fig 2 b)

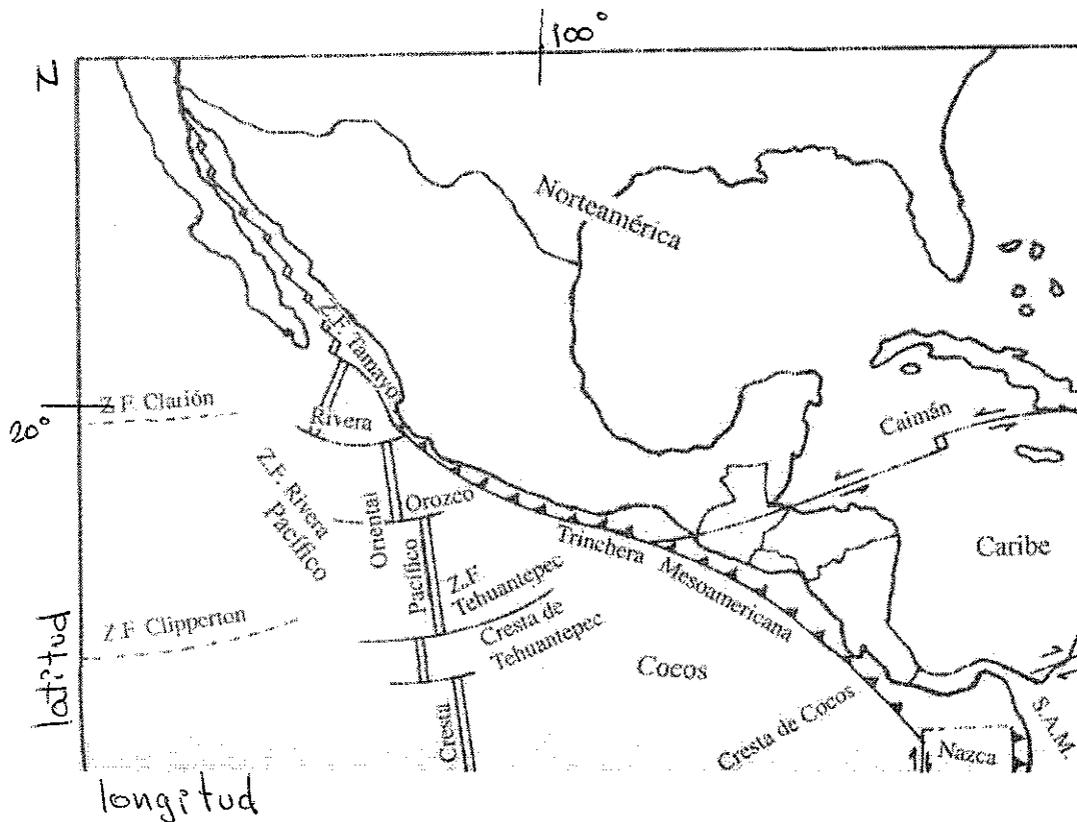


Fig. 2 b Placas que están relacionadas con la sismicidad en la República Mexicana.

La República Mexicana libera 3% de la energía sísmica mundial; en el siglo XX han ocurrido 8 sismos de magnitud igual o mayor a los 8 grados. En México hay dos zonas a lo largo de la costa de Acapulco que pueden generar fuertes terremotos llamados las brechas de Guerrero y Tehuantepec. La actividad sísmica de México se da por el desplazamiento horizontal de las placas de Norteamérica y del Pacífico y por tener una zona de convergencia de las placas Rivera con Norteamérica, Cocos con Norteamérica y Cocos con la del Caribe.

La Ciudad de México está localizada en la provincia fisiográfica llamada Eje Neovolcánico, que es una de las masas continentales de origen volcánico más grande de la corteza terrestre, con un volumen de  $150,000\text{km}^3$  teniendo bajo él un gran número de cámaras magmáticas que depositan en su interior magma que tiende a subir a la superficie. El Eje Neovolcánico es resultado de la actividad volcánica generada por la subducción de la placa de Cocos bajo la Continental Americana y por los giros horizontales de la placa de Cocos (Fig 2 c)

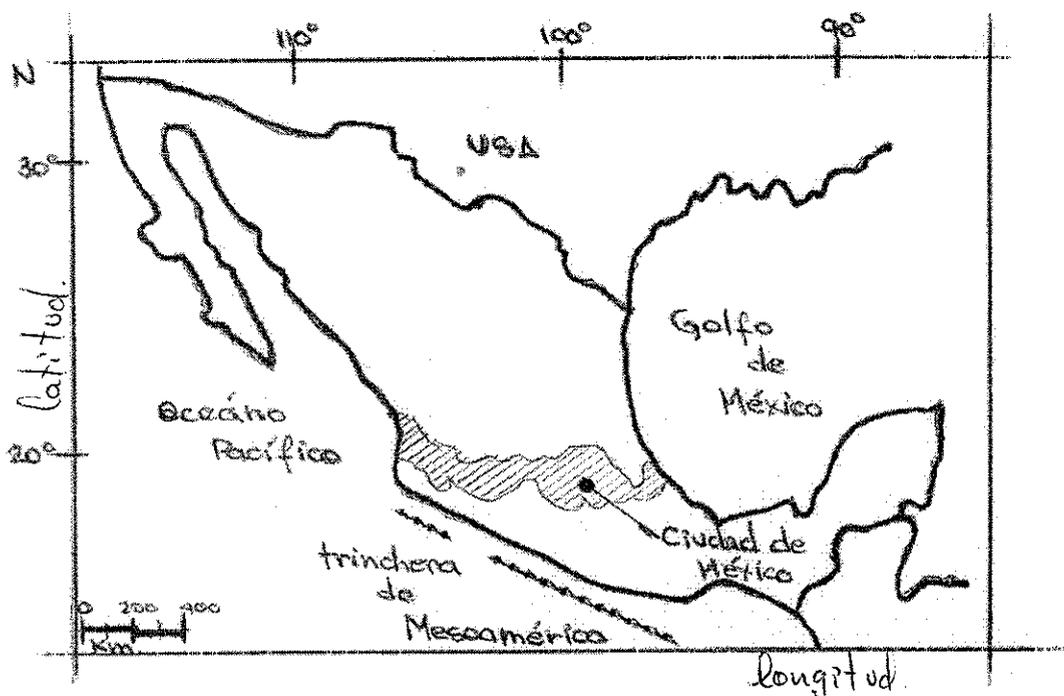


Fig 2 c Mapa simplificado de la ubicación del Cinturón Volcánico Mexicano (Memorias del Simposio Internacional. Riesgos Geológicos y Ambientales en la Ciudad de México, 2000. UNAM).

A partir de la década de los años 70 se empezó a estudiar la zona de subducción para establecer cuantitativa y cualitativamente la recurrencia sísmica y la microsismicidad, que es cuando la falla activa o volcán genera pequeños sismos y con esto se puede deducir el grado de desarrollo de un gran evento y manifestar el peligro que representa esta zona a la población. El estudio de microsismicidad informa si una falla se mueve y si la población está asentada sobre ésta (Tamayo et al, 1991) (Fig 2 d y 2 e).

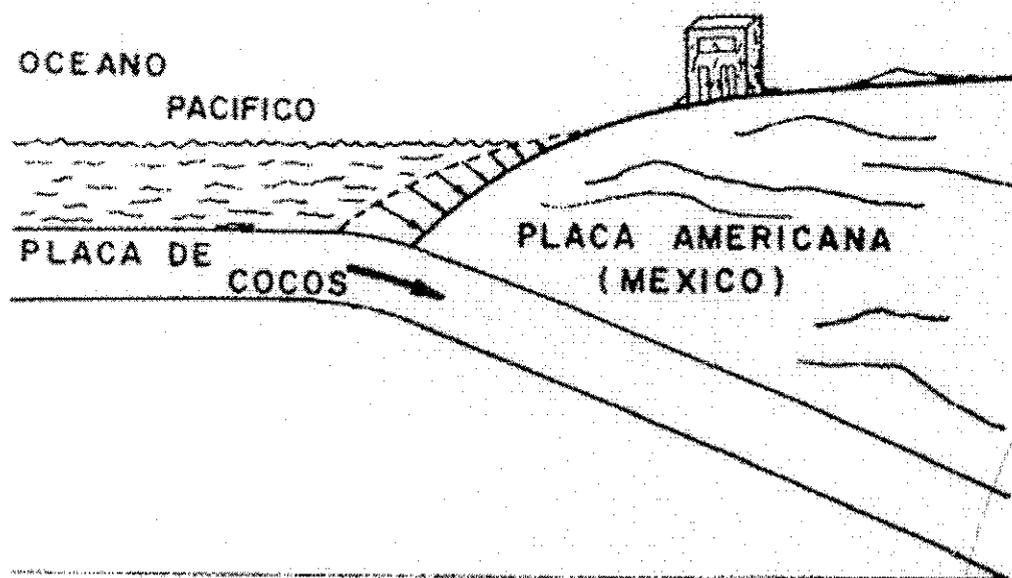


Fig. 2.d Croquis donde la Placa de Cocos se está deslizando bajo la Placa Americana (fenómeno de subducción).

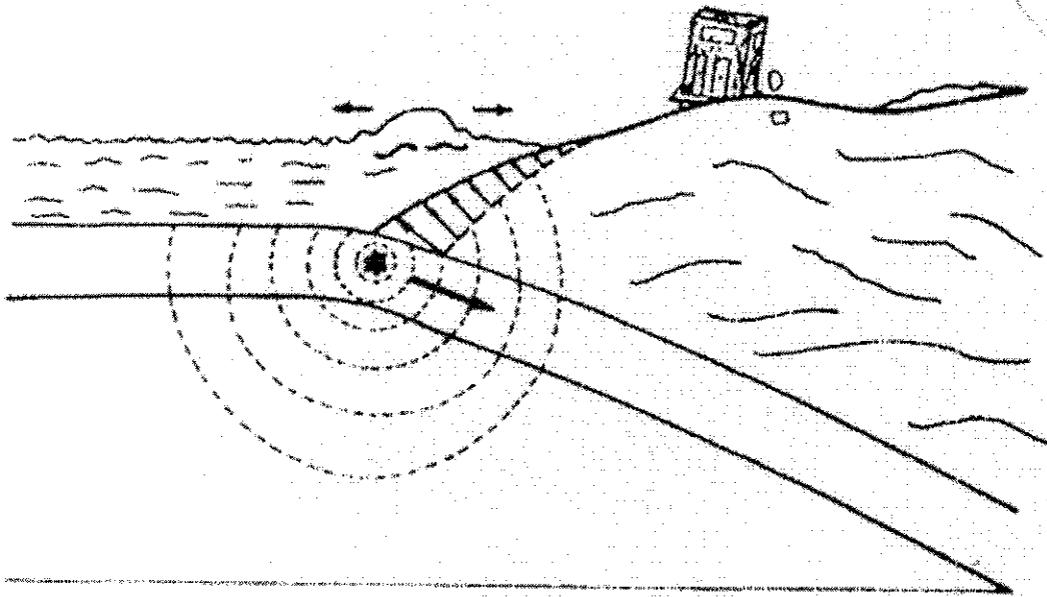


Fig 2.e Croquis donde la Placa de Cocos al deslizarse provoca un sismo que daña a los edificios.

Las ondas sísmicas producidas por los movimientos de subducción (los sismos de subducción son mayores y liberan más energía) activan el movimiento de las fallas menores dentro del continente provocando sismos al deslizarse. En la Ciudad de México existen muchos asentamientos humanos en la falla Acambay al NW de la Ciudad de México los cuales están expuestos a los temblores que podrían generarse en esa falla (Fig 2.f).

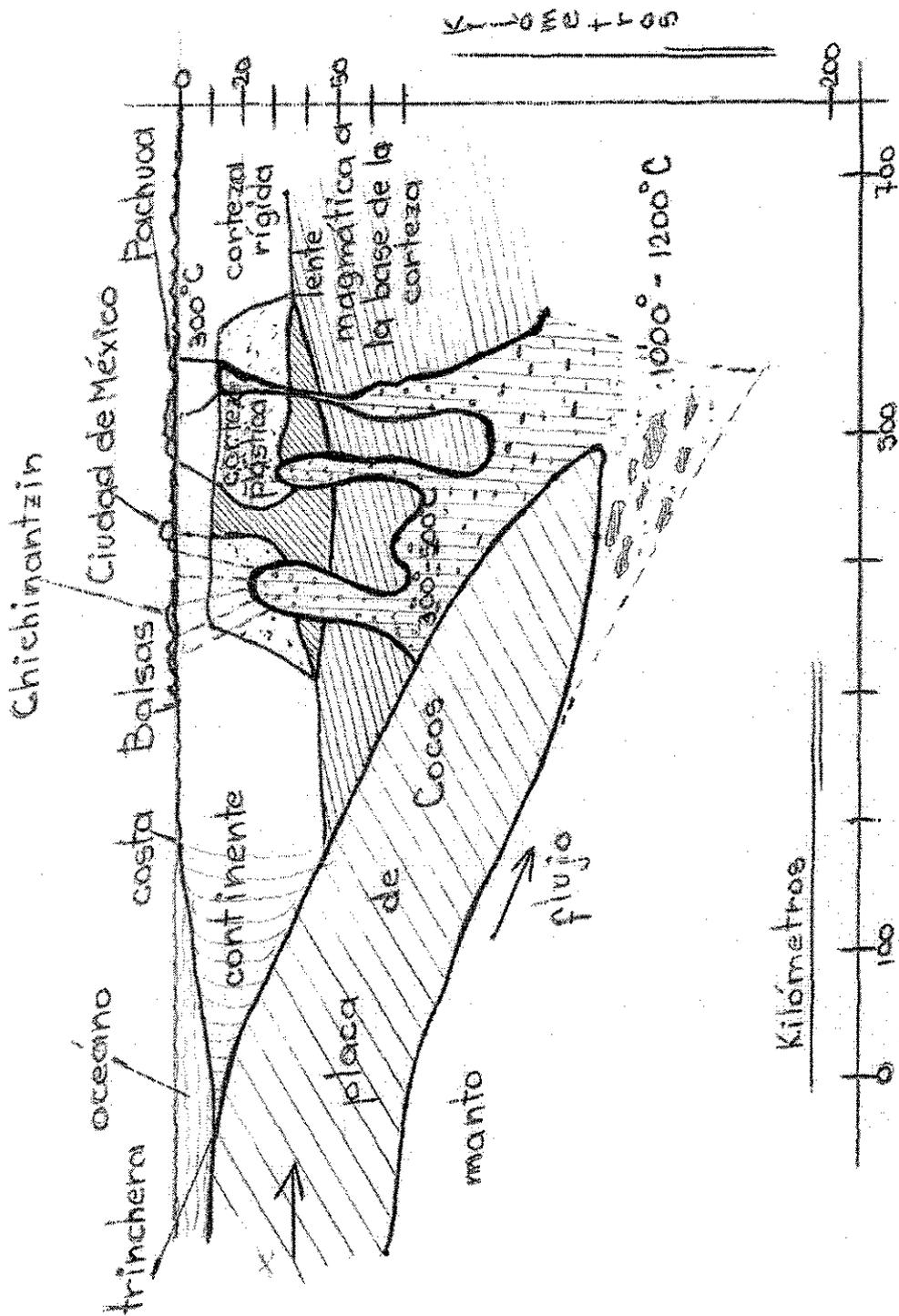


Fig. 2 f Croquis del interior de la Tierra en el momento que se lleva a cabo el fenómeno de subducción (Sección Coritcal Acapulco-Pachuca)

Las investigaciones geológicas informan que el basamento que forma la cuenca de México, está formada por sedimentos marinos (calizas) del período terciario medio a 2,000m de profundidad, o sea 400 m sobre el nivel del mar.

Debido al movimiento de las placas, el Eje Neovolcánico está formado por un arco de volcanes de gran extensión, limitado por placas en colisión, y por ser una zona de subducción, su actividad forma grandes volcanes. Todos estos movimientos han producido últimamente en el Continente Americano explosiones volcánicas, como la del Monte Santa Elena en EUA, la del Chichonal en México y la del Volcán de Ruiz en Colombia; estas explosiones emiten nubes ardientes, colapso de flancos con salida repentina de magma contenida en la cámara y sismos más o menos fuertes. Los estudios afirman que la mayor fuente de sismicidad está localizada en la zona de Benioff en el Pacífico (subducción) causando problemas en la cuenca de México (*Boundaries, 1979*)

## Capítulo III. Ciudad de México

### 3.1 Localización Geográfica de la Ciudad de México.

La Ciudad de México se empezó a construir hace 600 años sobre la planicie y ha continuado su construcción rebasando los límites y subiendo a los flancos occidentales de la cuenca cubierta por los abanicos volcánicos de la Sierra de las Cruces que es la zona llamada Lomas (*Mooser et al, 1986*).

Es la ciudad más grande del mundo. Está situada en una altiplanicie fluvial y lacustre, parte una cuenca endorreica la cual pertenece al Eje Neovolcánico Transmexicano que atraviesa al país desde el Océano Pacífico al Golfo de México a partir del paralelo 19° norte, situada a una latitud de aproximadamente 2,400 m sobre el nivel del mar, es una cuenca, o sea una depresión del terreno rodeada por montañas por las que descienden o escurren ríos y arroyos, cuyas aguas se acumulan en las partes más bajas de la cuenca; las montañas impiden que el agua salga de ésta para poder llegar al océano.

A la cuenca pertenecen el Distrito Federal y algunas entidades de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y México. Las sierras que la limitan son la de Pachuca, Ajusco-Chichinautzin, las Cruces, Monte Alto, Nevada, el Iztacihuatl y el Popocateptl, destacando estos dos últimos por su altura. La parte central está formada por relleno de depósitos aluviales y lacustres, interrumpida por algún cono volcánico, es de forma rectangular irregular con 120 por 80 km dando una superficie total de 9,600 km<sup>2</sup>; de la cual el 40% es llano y el 60% es de lomeríos y vertientes de las sierras. Las montañas que la rodean se cubren de bosques hasta los 4,000 m de altura y de nieve y glaciares de los 4,800 m en adelante, las más altas son de más de 5,000 m.

El territorio que ocupa el Distrito Federal se sitúa en el sudoeste de la cuenca, en su mayor parte es plano aunque también lo componen las sierras de Las Cruces, Ajusco, Guadalupe, Santa Catarina, los cerros de Chapultepec, Pelado, La Estrella, Chiquihuite, Peñón de los Baños, Tepeyac y del Judío y los volcanes del Xitle, Tláloc, Chidinautzin, Cuautzin y Guadalupe.

De las sierras descienden los ríos y arroyos, La Magdalena, La Piedad, Becerra, Mixcoac y Tacubaya.

Los ríos Churubusco, Consulado, San Joaquín y los Remedios escurren por la planicie y en épocas pasadas alimentaban al lago de Texcoco; hoy en día están entubados y van por debajo de las calles y avenidas que llevan sus nombres, las aguas de algunos de estos ríos se almacenan en las presas de Anzaldo y Canutillo.

Su temperatura promedio anual es de 15°C, caen anualmente 700 mm de agua de lluvia en la región debido a unas cuantas tormentas intensas las cuales se presentan de junio a septiembre, durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas.

En el periodo Terciario se inició el vulcanismo fracturando la corteza, dejando salir el magma a la superficie y formándose el Eje Neovolcánico Transmexicano; y dentro de estas montañas está la cuenca. Al final de este periodo geológico el sistema hidrológico drenaba hacia el hoy Valle de Morelos.

La cuenca de México está sobre la zona donde la placa de subducción entra en fusión, causando un sin número de sismos; en el periodo cuaternario la efusión de lavas formó la Sierra de Chichinautzin, cerrando con ésta la parte sur de la cuenca. A través del tiempo se fue rellenando la cuenca con todo lo que llevaba el agua, que eran cenizas, lavas volcánicas y restos de vegetación calcinada, formando una serie de capas con características particulares que

respondían de forma diferente a cada movimiento sísmico. Estas diferencias hacen que al llegar las ondas sísmicas a la cuenca se amplíen y tengan resonancia.

En la parte sur de la cuenca el espesor de los depósitos es de 800 m; formada su superficie por arcillas hidratadas. El fondo de la cuenca se formó por lagos poco profundos con riveras de tierra fértil de origen volcánico y debido a las condiciones topográficas las precipitaciones son muy variadas, proporcionando la variación de los ecosistemas (Contreras, 1988)

Todas estas características hacen de la cuenca un lugar idóneo para que las poblaciones sedentarias se situaran, desarrollándose civilizaciones antes de la era cristiana, como la de Cuicuilco (500 – 200 a.C.), la de Teotihuacán (100 a.C. – 700 d.C.) y la de Tenochtitlán (1325 – 1521 ); fundada por los mexicas o aztecas sobre el lago de Texcoco (Contreras, 1988).

Los aztecas, eran guerreros que venían del norte y se establecieron en los llanos fértiles que rodeaban los lagos de la cuenca. Tenochtitlán, su gran imperio, fue creciendo de tal forma que para principios del siglo XVI era una urbe con más de 200,000 habitantes, construida sobre islas artificiales, abastecidas de agua dulce proveniente de los manantiales y que era conducida desde las montañas por los acueductos. El mercado se encontraba en la ciudad de Tlatelolco, con gran variedad de productos en venta para las 60,000 personas que lo visitaban diariamente.

Ya en 1522, después de la derrota del Imperio Azteca, Hernán Cortés, ordenó a Alonso García Bravo la elaboración del trazo de la nueva capital, que sería construida sobre las ruinas de Tenochtitlán. Hernán Cortés decide edificar la capital de la Nueva España sobre tierra firme. En la nueva capital de construyeron iglesias y edificios con estilo especial y con buenas técnicas constructivas y los canales los transformaron en calles.

Todas las funciones políticas, culturales y económicas estuvieron en manos del virreinato, que gobernaba los territorios en acuerdo total con el Rey de España. En 1535 se crea la Casa de Moneda, en 1539 se establece la primera imprenta y en 1551 la universidad: Para entonces ya existía, el palacio del Arzobispado, dos colegios, un hospital, 4 templos, conventos y numerosas casas-fortaleza. A pesar de todo esto, la ciudad se mantenía con su carácter lacustre, detalle que perdió hasta fines del siglo XIX o principios del XX, concentrándose las riquezas arquitectónicas y urbanas en el hoy llamado Centro Histórico.

Antes de la llegada de los españoles, los mexicas controlaban las aguas que provenían del lago de Texcoco, ya que desembocaban aquí los ríos del este y oeste y además, en caso de crecida de lagos, como los de Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco, descargaban el agua en el lago de Texcoco y para evitar inundaciones tenían grandes obras hidráulicas para la conducción del agua.

Actualmente las inundaciones han sido controladas, pues se cuenta con un sistema de drenaje profundo construido en los años 70's que funciona perfectamente. Sin embargo el problema de abastó de agua cada día se incrementa más por el desmedido crecimiento poblacional.

Uno de los mayores peligros de la cuenca es la presencia de los sismos, ya que desde la época prehispánica se tienen descripciones de éstos, sobre todo afectando a las viviendas y a las chinampas (islas construidas por el hombre). La vulnerabilidad a los sismos fue creciendo, debido a que la población en esta área aumentaba rápidamente.

El área metropolitana ha sido amenazada por grandes sismos producidos en la zona de subducción en las fallas que se encuentran entre la costa y la cuenca o por la actividad volcánica de la zona. Durante toda la historia de los sismos, el sismo del 15 de septiembre de 1985, que se sintió a las 7:19am, ha sido

el peor, causando el mayor número de pérdidas humanas y de edificaciones, y esto causado por su alto grado de intensidad y por la gran concentración poblacional en la Ciudad de México, siendo en esa fecha 17 millones de habitantes.

Analizando un poco y tomando el nivel de peligro sísmico como una constante y el nivel de población como un índice de riesgo, la Ciudad de México en 74 años ha aumentado 22 veces más su riesgo sísmico. El temblor del 85 de magnitud 8.1 en la escala de Richter tuvo su origen a 360 km. al oeste de la Cuenca de México, en la zona de subducción tectónica en el Pacífico frente a la costa de México, lugar que está entre los de mayor sismicidad en el mundo. Estos sismos surgen debido a la subducción de la Placa de Cocos bajo la parte continental de Norte América; el ángulo de inclinación de la placa cambia, resultando un macizo volcánico no paralelo a la costa, y éste es el Eje Neovolcánico Transmexicano encargado de transmitir el efecto de un sismo de la zona de subducción a la Ciudad de México con gran intensidad (*Contreras, 1988*).

El temblor del 19 de septiembre tuvo una gran duración (60 segundos) ya que se unieron dos sismos en uno, con una interrupción de 29 segundos entre uno y otro, produciendo una ruptura a lo largo de la falla costera de poniente a oriente. Este sismo empezó con movimientos oscilatorios lentos, aumentando su intensidad de I a IX en la escala de Mercalli, registrándose la máxima intensidad en la parte central del área urbana, que fue una de las más dañadas por estar construida sobre el lago, con depósitos lacustres de arcilla cenegosa. Ante este sismo el suelo tuvo movimientos horizontales de casi 42 cm en ciclos de 2 segundos adquiriendo la aceleración más fuerte de 18% de la fuerza de gravedad. La frecuencia de la onda sísmica y su movimiento oscilatorio dañaron especialmente las estructuras de los edificios entre 4 y 12 pisos de altura (*Fundación ICA, AC., 1988*).

El número de pérdidas humanas nunca se supo en realidad, desde luego fueron miles; muchos quedaron entre los escombros que cuando los removieron salieron entre ellos. El sismo ocasionó rupturas en la red de aguas, suspensión del servicio eléctrico en varias zonas para reducir el peligro de incendios y explosiones; como se derrumbó la Central de Teléfonos, la comunicación telefónica quedó suspendida con el mundo entero.

Los desastres causados por el sismo del '85, hicieron que se tomaran nuevas medidas para poder reducir el riesgo a futuro, para lo cual hay que elaborar un proyecto de planeación y desarrollo de los asentamientos humanos para poder mitigar el riesgo de los desastres naturales. La planeación de los asentamientos humanos es un proceso donde hay que estudiar qué factores actúan sobre el desarrollo del medio físico y el bienestar de la sociedad. Para ello hay que desarrollar programas específicos, y saber distinguir los términos de peligrosidad, valor, vulnerabilidad y riesgo, que la mayoría de las personas toman como sinónimos y no lo son (*Glosario*)

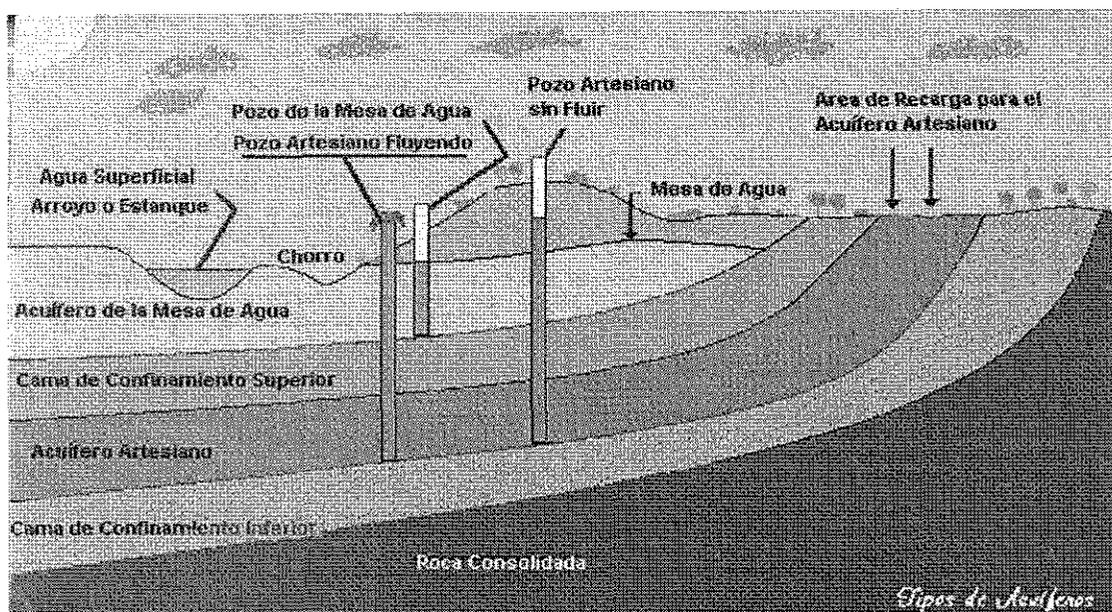
Para mitigar el riesgo del sismo lo primero es apreciar la naturaleza del evento en un área determinada, para ello hay que estudiar el lugar geológico, sus características estructurales, la recurrencia de la actividad sísmica, que niveles de intensidad se registran y las características del movimiento telúrico de la región. Para todo esto hay que recopilar información sobre sismicidad, definiendo zonas tectónicas, modelos de fuentes sísmicas, probabilidades estáticas de recurrencia sísmica y atenuación del movimiento terrestre y los efectos en la superficie. Con todos estos datos estimar la probabilidad de recurrencia para periodos de 50, 100 ó 200 años de movimiento terrestre dentro un rango de magnitud y características determinadas.

A partir de 1909 a base del uso de instrumentos especiales se pudo saber la magnitud y el origen de los temblores. El primer sismógrafo instalado en Tacubaya detectó sismos mayores a la magnitud 5, y, con el avance de la

tecnología, se constituyó una base de datos que proporciona detalles sobre colapsos y daños estructurales en los sismos más fuertes que han ocurrido en la Ciudad de México y que son los de 1957, 1979 y 1985.

### 3.2 Hundimientos.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se empieza a sentir una ligera escasez en el abastecimiento de agua, resolviéndose esto a base de pozos artesianos y produciéndose así los primeros hundimientos de la ciudad (Fig 3.a) De 1861 a 1895 se registran hundimientos de 5 centímetros por año. En 1902, viendo el problema, se iniciaron estudios para cambiar el método sobre el abastecimiento de agua y determinaron que lo mejor era explotar, mediante pozos, los manantiales de Xochimilco, haciéndose en realidad esto en 1909. El agua se condujo 26 kilómetros desde Xochimilco hasta la loma del Molino del Rey, depositándola en unos tanques. Para poder conducir el agua a este lugar se construyó un pozo de 9 metros de profundidad y se instalaron bombas para poderla introducir y llevarla hasta un acueducto de concreto donde era transportada a una estación de bombeo situada en la colonia Condesa; en los tanques elevados se distribuía a varias partes de la ciudad (Cruickshank, 1979)



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Fig. 3 a Diagrama de pozos artesianos.

En 1912 las aguas que provenían de Chapultepec, el Desierto de los Leones y el Río Hondo estaban contaminadas, así que se decidió suspender este abastecimiento y utilizar las aguas de Nativitas, Santa Cruz y la Noria . El abastecimiento de agua fue problemático durante la revolución, pues se suspendía constantemente y por lo tanto, se tuvieron que construir más pozos artesianos con bombas de mayor capacidad en los manantiales de San Luis Tlaxiatlemalco (1927). En 1936, cuando la población alcanzó el millón de habitantes, el agua no alcanzaba para todos, así que hubo que perforar 18 pozos profundos de 100 y 200 metros absorbiendo el agua del acuífero en forma indiscriminada.

En 1944, se siguieron perforando pozos hasta alcanzar 93 pozos en el centro y otros tantos en la periferia, provocando hundimientos hasta de 16 centímetros por año en la parte central de la ciudad. Pero lo alarmante no llegaba todavía. En 1951 la ciudad se hundió 46 centímetros.

El Doctor Nabor Carrillo explicó en 1947, lo que con anterioridad había descubierto Gayol, que la ciudad se hundía por la extracción del agua del acuífero, así que tuvieron que cambiar de la zona central a la zona sur para poder construir nuevos pozos, principalmente en Chalco y Xochimilco.

En 1956 se termina la construcción de pozos en Chiconautla al norte de la ciudad. La extracción de agua se seguía haciendo sin límites. Pero el agua era más escasa cada día, pues la población del Distrito Federal seguía creciendo a pasos agigantados, contando ya para 1964 con 5.8 millones de habitantes. En ese momento el abastecimiento de agua era de  $22.2 \text{ m}^3/\text{seg}$  al mes.

El problema de escasez de agua seguía latente así que se lanzó una campaña de concientización en el uso del agua para los habitantes del Distrito Federal, donde se pedía el uso racional del agua y el evitar fugas en las redes de distribución. Se instalaron medidores domiciliarios y se aumentaron las tarifas por el uso del agua.

Se siguieron perforando pozos, se incrementaron sus caudales y para 1975 ya existían 50 pozos profundos más en Xochimilco, Tláhuac, Ciudad Netzahualcoyotl, Los Reyes y Teoloyúcan logrando el aumento de caudal a 9.5 m<sup>3</sup>/seg (*Prevención, 1992*). El agua disponible para los habitantes, industria y todos los servicios era de 32 m<sup>3</sup>/seg. La situación era que el Distrito Federal y sus municipios conurbados consumían esta agua y se tenía que repartir entre 11 millones de habitantes. El problema era grave, así que el regente de la Ciudad de México, el Lic. Ernesto Urruchurtu lo quiso frenar, evitando la construcción de cualquier fraccionamiento más; pero al gobierno de México ésto no le gustó e hizo lo contrario, así que en las décadas de los años ochentas y noventas la explosión demográfica fue incontenible y hubo que traer el agua de las afueras creando el Sistema Cutzamala teniendo un consumo por habitante de 337 litros por día. Esta cifra rebasa los registros que se tienen en Nueva York, Tokio y París de consumo de agua por habitante por día, en donde la media no rebasa los 200 litros.

El problema del abastecimiento de agua es mundial, así que se tomaron medidas preventivas sobre la salud de los habitantes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) marca el mínimo en 150 litros por día por habitante. Claro que ésto no se generaliza ya que en la Ciudad de México en ciertos asentamientos ilegales es de 28 litros por día por habitante, mientras que en las zonas de clase media el promedio es de entre 275 a 410 litros por habitante por día y en los sectores de máximo ingreso es de 800 a 1000 litros por habitante por día, situación que amenaza al Distrito Federal.

La Ciudad de México sufrió uno de los más graves hundimientos entre 1950 y 1980, hundiéndose en el centro 5 m y en la zona lacustre donde se ubica el ejido San Gregorio entre el Canal de Chalco y Xochimilco el hundimiento fue de 4m. Al seguir extrayendo el agua del subsuelo a base de pozos el hundimiento de la Ciudad de México se acrecentará provocando desnivel en el drenaje general de la ciudad con respecto al Gran Canal, que es el desagüe más importante de la

ciudad. Para compensar este problema se construyó un sistema de bombeo para elevar el agua residual y pluvial hasta los 8 m de desnivel que se tienen en la zona central. Este sistema de bombeo opera con 79 plantas de bombeo en el D.F. y 22 en el Estado de México con capacidad de 500 m<sup>3</sup>/seg, evitando con esto las inundaciones que sufre la Ciudad de México en época de lluvias, aunque es imposible bombear toda esta agua si se registran precipitaciones pluviales mayores a las consideradas y por lo tanto se presentan las inundaciones.

En el año de 1950 y 1951 se registran las mayores inundaciones en el centro de la Ciudad de México alcanzando niveles de hasta de 3 m durante varios días, derrumbando casas, los coches se movían en el agua como lanchas y hubo grandes pérdidas económicas.

Se ha hundido tanto la Ciudad de México que ahora el zócalo se encuentra 7m por debajo de la parte más alta del Gran Canal y todo por la extracción sin límites del agua. Ésta también provoca la pérdida de pendiente del Gran Canal del Desagüe, así que en vez de salir por gravedad el agua de drenaje como solía hacerlo para finalmente desembocar por el túnel de Tequisquiac, al extremo norte del valle, ahora se regresa a la ciudad y para evitar una catástrofe se entubó el tramo que pasa por el D.F. y se construyó un sistema de bombeo para canalizar los afluentes al drenaje profundo.

La extracción del agua daña a las estructuras de los edificios, monumentos y al suelo de la ciudad, provocando hundimientos diferenciales que fracturan las estructuras y agrietan el suelo.

La consolidación que se presenta en la superficie del terreno, genera fracturas cuando los esfuerzos producidos por el bombeo superan la resistencia de la zona lacustre. Estas fracturas se pueden transformar en grietas hasta de cientos de metros de longitud, dependiendo de las condiciones hidrogeológicas del lugar; estas grietas afectan todo lo que está construido en su trayecto, y

evolucionan de acuerdo con la respuesta transitoria del acuitardo lacustre ante el bombeo, por lo que una vez formadas están activas por largo tiempo, aumentando paulatinamente su acción destructora (Ortega, 2000). Este problema que se hizo notorio en el sismo del 85, donde se abrió el suelo en la zona lacustre de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco. También las tuberías de drenajes domiciliarios se ven afectadas por la extracción del agua, fracturándolos y contaminando los mantos freáticos, que también se contaminan por las fugas de gasolina que se escapan de los depósitos subterráneos de las gasolineras.

El gobierno de la Ciudad de México no tiene previsto el disminuir el volumen de la extracción de agua del suelo subterráneo, por lo tanto, el hundimiento de ésta seguirá y como la población de hoy es de 20 millones de habitantes y sigue creciendo sin medida, el agua no alcanzará para todos.

En la Ciudad de México las fuentes de la recarga del agua subterránea se derivan principalmente de las precipitaciones infiltradas y de la nieve derretida en las montañas y cerros que la rodean, este flujo se desplaza en forma de corriente subterránea hacia las zonas menos elevadas originando numerosos manantiales al pie de las montañas y pozos en el valle. Históricamente el mayor acuífero abastecedor de agua estuvo sujeto a la presión artesiana, la que hace que el agua suba a la superficie sin bombearla. La cuenca de la Ciudad de México tenía una serie de lagos, unos de agua dulce en la parte superior y otros salados en el extremo inferior ( la sal se encontraba debido a la evaporación). Actualmente se extraen 48 m<sup>3</sup>/seg de agua y ésta aumenta a razón de 2m<sup>3</sup>/seg por año, lo que representa el 68% del total de agua que se consume y se hace por medio de 2,746 pozos. El resto del agua proviene de la región de Tizayuca-Pachuca para surtir con 2.4 m<sup>3</sup>/seg a los poblados circundantes.

La recarga total de los acuíferos de la Cuenca de México es de 25 m<sup>3</sup>/seg y se importan 13 m<sup>3</sup>/seg del Alto Lerma, dando por resultado una sobre explotación global en los acuíferos de la Cuenca de México de 10 m<sup>3</sup>/seg (Prevención, 2000).

Esta sobre explotación no puede seguir, pues seguirían los hundimientos, la aparición de más grietas en el municipio de Naucalpan, la intrusión salina en la periferia del Lago de Texcoco, la degradación de la calidad del agua subterránea del Valle, pérdidas de recursos económicos por tener que explotar el agua de zonas subterráneas debido al descenso de los niveles estáticos del agua, problemas sociales causados por tener que abatir los pozos tanto particulares y municipales y, así, infinidad de problemas más.

Hay que frenar el crecimiento de la población en la Ciudad de México, pues el agua se está agotando. Se piensa que para el año 2010 solamente va a salir agua de las llaves 2 veces por semana. Desde principios del siglo XX los pozos eran brotantes dentro del área cubierta por la Ciudad de México y el abatimiento total producido por el bombeo ha sido de 40m, siendo la causa principal de los hundimientos.

## Capítulo IV. Coyoacán.

### 4.1 Antecedentes.

La zona escogida para su estudio en el Distrito Federal es la perteneciente a la delegación Coyoacán, con coordenadas geográficas al norte 19° 21', al sur 19° 18' de latitud norte, al este 99° 06' y al oeste 99° 12', y su altitud de 2,250m sobre el nivel del mar. Colinda al norte con las delegaciones Alvaro Obregón, Benito Juárez e Iztapalapa, al este con las delegaciones Iztapalapa y Xochimilco, al sur con la delegación de Tlalpan y al oeste con la delegación Alvaro Obregón. Está ubicada en la parte central del Distrito Federal con una superficie de 54.4km<sup>2</sup>, que equivale al 3.6% del total de la superficie del Distrito Federal.

Coyoacán no solamente tiene arraigo histórico, sino que también genera una diversidad de actividades que tienen que ver con la vida cotidiana, turística, comercial, cultural, etc. de la ciudad (Safa, 1998).

Los historiadores la nombran como la provincia de México que atrae tanto a visitantes nacionales como extranjeros convirtiendo a Coyoacán en un lugar especial con gran ambiente para la creación de símbolos urbanos. (Safa, 1998).

Coyoacán contaba con su villa y sus barrios, entre ellos La Conchita y Santa Catarina, formando parte de un núcleo urbano antes de convertirse en una delegación política según consta en la constitución del Distrito Federal en 1928. En Coyoacán aún quedan las huellas del pasado con su arquitectura colonial, callejones y calles empedradas. Era un pueblo alejado de la ciudad y ahora es parte de la mancha urbana (Lee, 1994).

Los primeros informes que tenemos de esta zona es cuando una serie de núcleos de población se asentaron en 1332 en las márgenes del Lago de Texcoco, que forma gran parte de la superficie actual de esta delegación; parte de esta zona la constituye una franja de pedregal originada por las erupciones del volcán del Xitle; también, a lo largo de esta zona, se formaron poblados como Copilco, Quiáhuac (Los Reyes), Xotepingo, Tepetlapan (San Pablo Tepetlapa), Coapan (Santa Ursula Coapa) y Culhuacán (San Francisco Culhuacán). Todos éstos se agrupaban alrededor de Coyohuacan, que quiere decir “lugar de quienes tienen o veneran coyotes”.

En un principio Coyoacán se desarrolló a lo largo de un camino que conectaba a Churubusco con Chimalistac, teniendo intersecciones de otros caminos que venían desde Mixcoac y Tenochtitlán. Poco a poco, Coyoacán fue creciendo, como lo comenta Bernal Díaz del Castillo en su Historia Verdadera de la Nueva España, cuando dice que en el momento de la conquista existían más de 6 mil casas.

Este lugar fue en 1521 escenario del cuartel general de Hernán Cortés fundando aquí mismo el primer ayuntamiento de la cuenca de México y para 1529 Coyoacán pasa a formar parte del marquesado del Valle de Oaxaca. Con el tiempo se asientan aquí grandes conventos, haciendas y obrajes, que se ubican a lo largo de la calle real de Santa Catarina, conocida hoy como Francisco Sosa.

En 1847 se libra frente al Convento de Churubusco una batalla contra los norteamericanos y durante la Revolución.

Coyoacán fue escenario de encuentros entre carrancistas y zapatistas que se disputaban las tierras de esta zona.

A finales del siglo XIX, Coyoacán era un pueblito tranquilo y alejado de la ciudad, las casas eran de una planta, construidas sobre amplios sótanos. Las recámaras se comunicaban por un corredor interno y tenían grandes balcones enrejados hacia la calle. Los corredores conducían a enormes jardines y patios traseros con sus pozos artesianos y abundantes árboles frutales. Era común criar animales domésticos para la alimentación de los que vivían en la casa. Las familias de Coyoacán se dedicaban sobre todo a la agricultura; la fruta que producían era zapote blanco, tuna tapona, tuna blanca y roja (que daba un nopal que se llamaba chamaquero), membrillo, melocotón, manzana, perón, pera, aguacate, capulín, castaña, ciruela de España, chabacano, guindas, nuez, naranja agria y tejocote. Sembraban alfalfa verde, avena, cebada, maíz, frijol, legumbres y remolacha para forraje. Los ejidos fortalecieron su agricultura durante muchos años hasta que perdieron sus pozos y manantiales de agua debido a la apertura de la central de bombeo de agua potable en Xotepingo en 1935, para poder dotar de agua a toda la ciudad.

Las calles, casas, iglesias y plazas propician la invención de leyendas que los habitantes de Coyoacán cuentan de generación en generación.

Coyoacán se fue transformando con el tiempo, siendo para los años 20 una zona de descanso con hermosas quintas y casas de fin de semana pertenecientes a la clase más rica de la Ciudad de México (Lee, 1994).

Coyoacán inició su desarrollo urbano en 1940, convirtiéndose poco a poco las huertas, las haciendas y las quintas en hospitales, escuelas, oficinas y casas habitación. Las clases medias encontraron en Coyoacán extensas zonas agrícolas susceptibles para la urbanización; los sectores populares ocuparon, a través de la invasión, terrenos en los pedregales que, por su suelo volcánico, eran difíciles de urbanizar, pero con su trabajo los habitaban e introducen agua potable y drenaje.

La mancha urbana avanzó sobre los campos de cultivo y pequeñas propiedades con un ímpetu jamás visto. Este crecimiento fue el gran negocio para los propietarios de antiguas haciendas y ranchos (algunos de estos se convirtieron en ejidos y otros en fraccionamientos urbanos).

#### **4.2 Subsuelo de Coyoacán.**

La parte norte y este de la delegación de Coyoacán está construida sobre lo que eran los lagos de Texcoco y Xochimilco y en la parte sur y oeste sobre la zona de pedregales donde el suelo es rocoso de origen volcánico.

La mayor parte de su superficie es plana y tiene poca pendiente aunque tiene en su parte sudoeste el cerro de Zacaltepec con altura de 2,450m sobre el nivel del mar y algunas depresiones ligeras.

En la parte norte de esta delegación está el Río Churubusco, el que fue entubado en épocas recientes, y que en su trayecto se divide y toma el nombre de Canal de Chalco, mismo que se encuentra a cielo abierto, lo mismo que el Canal Nacional, localizado al oriente de esta zona.

#### **4.3 Población y servicios.**

Coyoacán era una zona que no estaba muy poblada pues contaba con 73,020 habitantes en el año de 1950. Pero entre esa fecha y el año 2000 aumentó su población once veces y media contando con 840,423 habitantes; siendo la zona que más creció en el Distrito Federal (*INEGI, 2000*).

Del total de la superficie de la delegación de Coyoacán, 746 hectáreas están sin urbanizar. El 80.4% de esta superficie son zonas de reserva que están siendo ocupadas por fraccionamientos habitacionales para personas de medianos recursos, eliminando totalmente de esta zona la zona de amortiguamiento (*Estadísticas Sociodemográficas, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 2000*).

La delegación Coyoacán está formada por una zona habitacional donde muchas son residencias con 20 y 30 años de haberse construido y edificios de departamentos de 4 y 5 niveles en su mayoría; hay gran número de escuelas y universidades tanto oficiales como particulares, museos, bibliotecas, hospitales y centros culturales y sociales. Al noroeste de la delegación está la zona histórica formada por antiguos y hermosos edificios del tiempo de la colonia y al sudoeste la zona de crecimiento que cuenta con grandes problemas en la tenencia de la tierra, ya que aquí hay numerosos asentamientos que formaron pueblitos, cuya población procede de pueblos cercanos al Distrito Federal y que se trasladaron aquí para poder vivir mejor, abandonando sus siembras y sus pertenencias.

Esta situación perjudica al Distrito Federal pues ya no alcanzan los servicios para toda la gente y en esta zona de Coyoacán hay un déficit habitacional de 100,000 unidades.

La delegación se surte de agua potable por medio de 42 pozos, abasteciendo al 94% de la población. La red de drenaje de la zona cubre el 69% del área urbanizada; el resto lo forman 11 colonias que sufren de constantes inundaciones. El colector de Miramontes está saturado y sus pendientes son muy limitadas impidiendo el desalojo de las aguas residuales y pluviales a través del Río Churubusco (*INEGI, 1998*)

La población de Coyoacán cuenta con energía eléctrica en un 94% y sólo el 91% tiene alumbrado público. Es de las delegaciones más arboladas, pero el déficit de parques urbanos es de 40 hectáreas, por lo tanto proporciona 3 m<sup>2</sup> de áreas verdes por persona, dato muy inferior a lo que propone la Organización Mundial de la Salud que es de 9 m<sup>2</sup> por persona.

La capacidad vial es insuficiente debido al alto volumen de tránsito vehicular, viéndose aumentado y entorpecido por los microbuses, que es un transporte público inadecuado para tan hermosa ciudad, además el ancho de las calles y avenidas no es el apropiado (por ejemplo la Avenida Taxqueña de dos carriles que tenía le pintaron una raya para crearle un carril más). El principal problema que tiene Coyoacán es el cambio en el uso del suelo ocasionado por la construcción de condominios horizontales destinados para la vivienda de sectores de clase media y baja. Estos problemas surgen cuando el pueblo dejó de ser una comunidad alejada de la gran ciudad y formó parte de la mancha urbana.

## Capítulo V. Taxqueña.

### 5.1 Antecedentes Históricos.

La zona de Taxqueña, perteneciente a la delegación de Coyoacán está situada en terrenos que en tiempos pasados eran parte del fondo del Lago de Texcoco, el que ha sido secado poco a poco y sus orillas están formadas por franjas muy amplias de tierras anegadas.

Las obras de drenaje que se realizaron sobre estas tierras hacia 1850 fueron importantes, haciendo posible que la tierra fuera apta para el cultivo (Paseos de Taxqueña era un ejido de siembra llamado "La Candelaria"). En esta zona se dio origen a grandes y productivas haciendas; en ellas se cultivaron productos como trigo, maíz, magueyes, existían árboles frutales que proporcionaban manzanas, peras, higos y criaban animales. Estas haciendas producían gran número de empleos y alimentos para muchos, lo que creaba un bienestar económico en la zona. Durante la Revolución las haciendas fueron expropiadas anulando todo lo que se producía en ellas. En particular, en 1923 se expropió la vieja hacienda de San Antonio Coapa a favor de los vecinos del pueblo de San Diego Churubusco, quienes explotaron la tierra pero no con la misma eficiencia que los dueños anteriores; pero ya para la década de los años cincuenta surge la demanda urbana de esta zona, pues el crecimiento de la población mexicana ya casi había saturado la delegación Benito Juárez y avanzaba rápidamente sobre la delegación de Coyoacán. Este cambio tan rotundo de pasar de lo rural a lo urbano se llevó a cabo por medio de permutas de las tierras de cultivo de la zona de Taxqueña por otras con el mismo uso en el estado de Guanajuato. Estas permutas se hicieron entre particulares que debían cumplir determinadas condiciones para poder establecer en la zona de Taxqueña fraccionamientos habitacionales.

En los años sesenta las colonias Campestre, Country Club y Prado Churubusco, se encontraban en pleno proceso de densificación y a partir de este momento el crecimiento de la población de esta zona se ha prolongado hasta la actualidad, produciéndose ya una sobrepoblación como se registra de forma grave en toda la Cuenca de México y sus alrededores más cercanos.

Una de las causas que ayudó al crecimiento de la población en esta zona fue la construcción de la terminal de la línea dos del metro en la Calzada de Tlalpan y Taxqueña a fines de la década de los sesentas, modificando el carácter de estas colonias pasando de ser una zona residencial tranquila a una de las zonas de mayor importancia en el Distrito Federal respecto a las diversas transferencias de transporte público (*Estadísticas Sociodemográficas, INEGI, 2000*).

El crecimiento desmesurado de la zona de Taxqueña hace que para la década de los años setenta se construyeran los primeros condominios verticales, desvirtuando la apariencia residencial que tenía. Otro factor de perturbación de la zona fue la construcción de la Universidad Iberoamericana en el año 1965, debido a la gran población de alumnos en esta zona de la ciudad.

En la actualidad Taxqueña ha perdido la mayor parte de sus áreas verdes, debido a la necesidad de crear vías de comunicación adecuadas para el gran número de pobladores. En la zona de estudio se ha querido conservar lo residencial impidiendo la colocación de mercados tianguis, centros deportivos y también la entrada del nefasto transporte llamado “microbuses”.

## **5.2 Localización.**

La zona de Taxqueña colinda al norte con Churubusco y Calzada Ermita Iztapalapa, al sur con San Francisco Culhuacan, al este con Avenida Tláhuac, Eje 3 (Cafetales) y Canal Nacional y al oeste con Calzada Miramontes y Tlalpan.

(Fig.5 a)

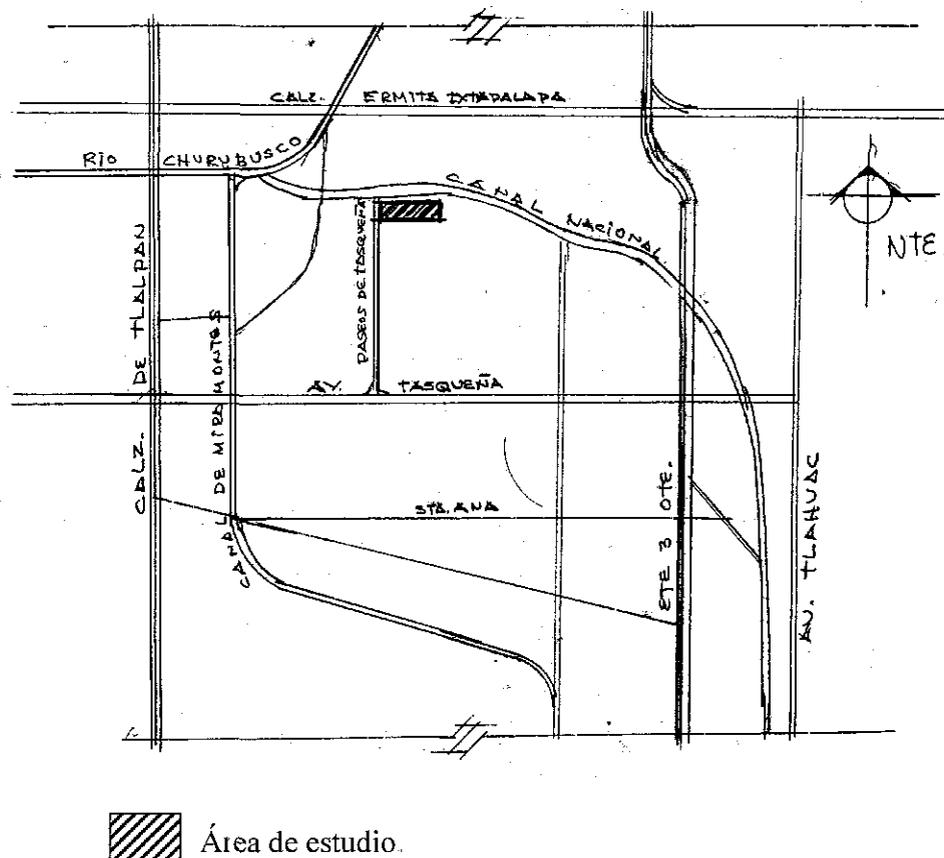


Fig 5.a Mapa de localización de la Zona de Taxqueña

Cuenta con 13, 650 habitantes y se registran en ella el mayor índice de actos delictivos de la delegación de Coyoacán.

La transformación importante de Taxqueña de pasar de una zona de tierras de cultivo a una zona urbana y además el construir preferentemente en forma vertical que horizontal debido a la concentración de población, fue provocando insuficiencia en el abastecimiento de agua potable. Para subsanar este problema que se generalizó en toda la ciudad se empezaron a explotar los acuíferos del subsuelo y a partir de esto, los edificios de altura presentan grandes problemas debido a que sufrieron hundimientos. Este fenómeno se da sobre todo en las partes de suelo blando por estar la construcción sobre suelos de lago.

En el subsuelo de Taxqueña que es lacustre, el parámetro más característico es su contenido de agua. En estos suelos blandos surgen asentamientos por la deformación plástica o la compresión de las arcillas (Fig 5. b).

Latitud

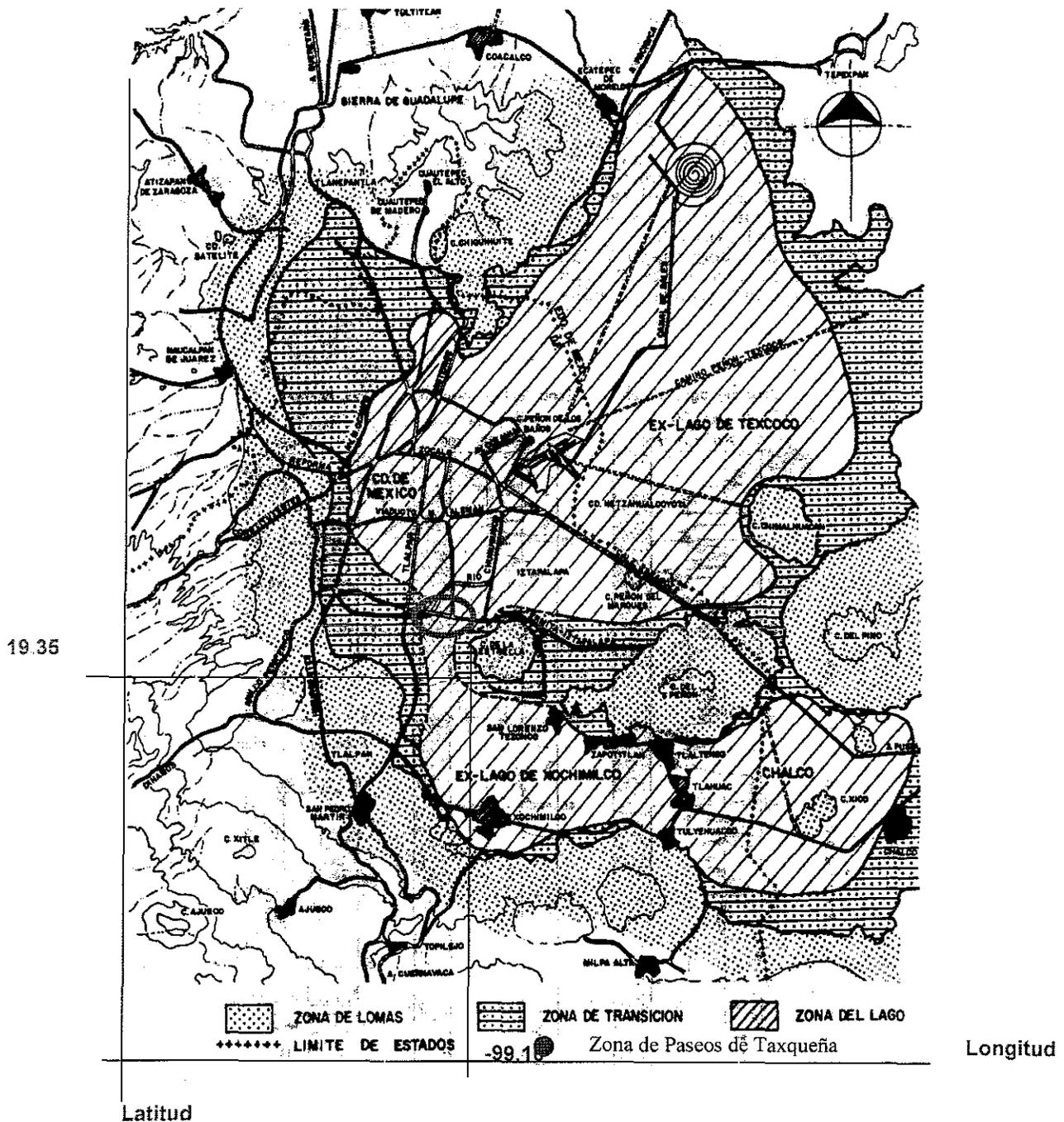
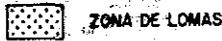
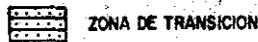


Fig. 5.b Zonificación morfológica de la Ciudad de México y parte de la Cuenca de México en 1987.



ZONA DE LOMAS: formada por terrenos compactos, arenolimosos con alto contenido de grava unas veces y otras por tobas puníticas bien cimentadas.



ZONA DE TRANSICIÓN: compuesta por arenas aluviales, limos, y capas esporádicas de arcillas



ZONA DE LAGO: formada por arcillas con espesores que varían de 10 a 100 metros según la zona y que se encuentran sobre yaciendo arenas (*Marsal y Mazari, 1959*).

En Taxqueña, como en la mayor parte de la zona lacustre de la ciudad, se presenta un ambiente desfavorable para construir, debido al subsuelo, a los hundimientos provocados por la extracción del agua de los acuíferos y por la ocurrencia de sismos con epifocos lejanos que amplifican su intensidad al pasar las ondas a través de los depósitos blandos y compresibles de la corteza.

### 5.3 Estratigrafía de la calle Paseo del Río.

Conociendo la estratigrafía en la zona se puede interpretar el comportamiento de las cimentaciones; los suelos blandos de esta zona se estudian con diferentes técnicas, una de ellas es a base de sondeos con cono eléctrico que da con exactitud el grosor y consistencia de las diferentes capas y evalúa la compresibilidad y resistencia al corte y dependiendo de su profundidad, tomando las muestras de cada capa dura y blanda.

Específicamente en un estudio estratigráfico con cono eléctrico en la zona del lago (Fig.5.c.2), se encuentran dos capas de arena fina de origen volcánico, la primera de 3m y la segunda de 11m de profundidad. Esta última se puede considerar como parte de la estratigrafía de la Cuenca de México de la zona lacustre. A los 20m de profundidad hacia la superficie se encuentra arcilla limosa y limo arcilloso con gran contenido de agua y por lo tanto alta compresibilidad y baja resistencia al esfuerzo cortante. Cuenta con 5 depósitos de alta compresibilidad, los dos primeros formados por limo poco arcillosos gris y café oscuro con poros y ostrácodos; su contenido de agua es de 100 y 150% respectivamente, de grosor diferente, separados por la lente de arena negra.

Los 3 depósitos restantes de alta compresibilidad, formados por arcillas poco limosas café olivo oscuro, café rojizo, verde oscuro y verde olivo con ostrácodos y lentes de conchas. Su contenido de agua es de 350, 300 y 250% respectivamente, de espesor variable.

Fórmula para obtener el porcentaje de contenido de agua :

$w$  = contenido de agua.                       $W$  = peso.

$w = Ww / Ws = \text{peso del agua} / \text{peso de sólido.}$

Entre el tercero y cuarto depósito muy compresible se encontró la lente de arena negra a 11 m. de profundidad, a mayor profundidad de 20 m. la estratigrafía es errática, variando el número y profundidad de depósitos compresibles, a esta profundidad se pueden lograr depósitos de arena fina y media. De 40 a 45 m. de profundidad se encontró arena de alta compresibilidad.

Al analizar y comparar las diferentes capas que constituyen la estratigrafía de la zona del lago y la estratigrafía de Paseo del Río, vemos que los diferentes materiales que los componen varían substancialmente. En la zona de Paseo del Río la capa arcillosa se encuentra más cercana a la superficie y su grosor es mucho mayor que en la zona del lago. Esta característica de la zona de Paseo del Río hace que el suelo amplifique las ondas considerablemente durante la presencia de un movimiento telúrico.

Sobre la capa arcillosa se encuentran los lentes duros que son costras de secado solar y arenas basálticas que marcan las diferentes capas estratigráficas, o sea, permiten separar los diferentes substratos arcillosos útiles para dar los parámetros de resistencia y de formación.

Sobre la costra superficial se encuentra una capa de fango con un contenido de agua que proporciona al suelo una alta compresibilidad y una baja resistencia al esfuerzo cortante. Estas tres últimas capas que conforman la superficie del suelo de la zona de Paseo del Río hacen que el lugar sea altamente vulnerable a cualquier sismo característica de las zonas de alto riesgo en la Ciudad de México que no se comparte con el resto de los suelos que pertenecen a la zona de lago (*Fig. 5.c.1*)

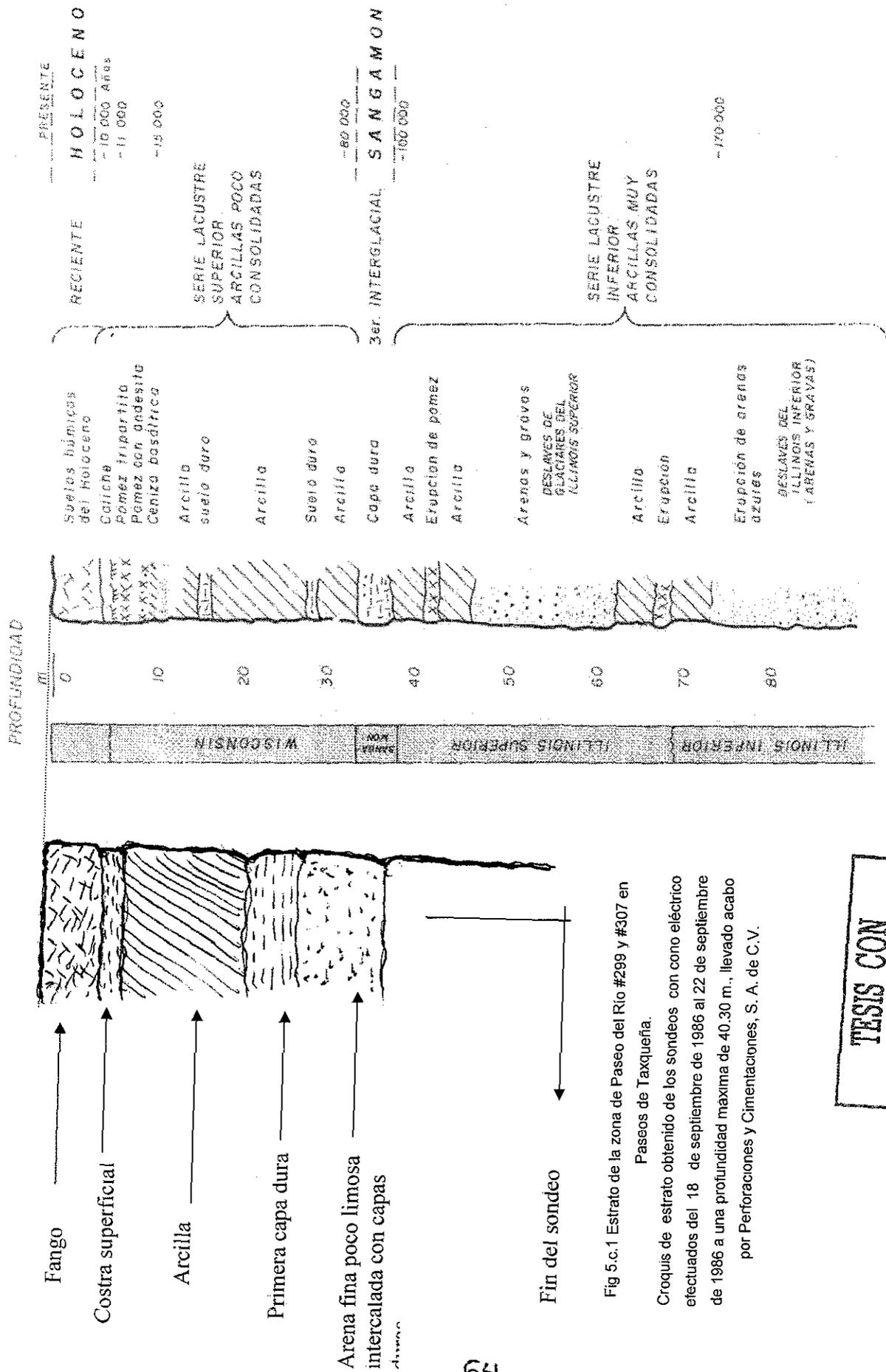


Fig 5.c.2. Croquis del estrato de la zona del lago.

Fig 5.c.1 Estrato de la zona de Paseo del Río #299 y #307 en Paseos de Taxqueña.

Croquis de estrato obtenido de los sondeos con cono eléctrico efectuados del 18 de septiembre de 1986 al 22 de septiembre de 1986 a una profundidad máxima de 40.30 m., llevado a cabo por Perforaciones y Cimentaciones, S. A. de C. V.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 5.4 Problemas que afectan a la Zona.

### 5.4.1 Suelos.

El principal problema de este lugar es pertenecer a la zona del lago, cuyos suelos son blandos o sea lodosos y en donde tanto las arcillas como los valles enterrados aumentan la intensidad sísmica. Estos suelos tienen un contenido de agua que a menudo excede el 500%, su índice de plasticidad excede el 300%, su porosidad el 90%; lo que significa que el 90% de su volumen es agua (*Zeevaert, 1943, 1982, Marsal y Mazari, 1959*)

Las arcillas al ser sometidas a esfuerzos, el suelo que las contiene se comporta elásticamente (*Díaz et al., 1992*); al disminuir la rigidez de la arcilla y al superarse el esfuerzo, las fuerzas entre partículas se rompen y el suelo se deforma y cambia de volumen al consolidarse.

En el momento que al suelo se le somete a cargas dinámicas, su respuesta esfuerzo-deformación muestra la capacidad que tiene para disipar energía y como el suelo se comporta como un sólido elástico, almacena energía potencial. Esta relación entre la energía disipada y almacenada se llama amortiguamiento y al aumentar éste disminuye la deformación.

La capa dura que cubre la Ciudad de México se va haciendo más delgada hasta que desaparece conforme avanzamos hacia el oriente de la ciudad y nos acercamos al lago de Texcoco; en la zona de estudio la capa dura es muy delgada y la arcilla se vuelve muy blanda.



#### 5.4.2 Sismología en la zona.

Rosenblueth (1952) demostró que los depósitos blandos amplifican los movimientos sísmicos registrados en suelos firmes. Posteriormente otros científicos demostraron que los depósitos de arcillas modifican la intensidad y el contenido de frecuencias de los sismos que afectan a grandes zonas del Distrito Federal, además los movimientos del terreno en la zona lacustre son controlados por las características de las arcillas. En la mayor parte de la zona lacustre de la ciudad, los movimientos del terreno pueden ser reproducidos por la propagación vertical de ondas de cortante (*Romo y Seed, 1986*).

En estudios realizados sobre mediciones microsísmicas propuestas por primera vez por el Dr. K. Kanai del Instituto de Investigaciones Sísmicas de la Universidad de Tokio hace 50 años, fueron hechos para investigar los efectos de amplificación de las capas superiores del suelo.

Se ha confirmado que los microsismos del suelo reflejan los efectos de amplificación de las capas superiores registrados durante un movimiento telúrico siendo de gran utilidad para México donde las propiedades de las capas superficiales del suelo varían rápidamente en una distancia relativamente corta. Con esto el Dr. Kobayashi concluyó que los períodos predominantes difieren en 10 veces en la Ciudad de México del suelo blando al firme y las amplitudes de desplazamiento en 100 veces.

Las ondas sísmicas causan grandes problemas a las construcciones de esta zona, pues su curso normal se ve afectado al pasar de un suelo firme a uno suave produciendo refracciones. Las ondas sísmicas no son estacionarias, se desplazan con diferentes aceleraciones y el agruparse en trenes de onda, cada uno tiene diferente magnitud y frecuencia y se comportan de manera diferente en cada estrato, y cada uno tendrá características particulares como sus

propiedades de deformación del suelo, su grado de saturación, rigidez, masa y estratigrafía.

Es necesario analizar los esfuerzos y deformaciones que producen las diferentes ondas en la superficie del suelo para poder determinar sus aceleraciones. En el momento que pasan las ondas sísmicas por cierto lugar, el suelo se somete a fatiga o sea a carga cíclica de presiones al suelo con determinada frecuencia y amplitud que dependen de la energía sísmica aplicada. Es importante conocer la magnitud, frecuencia y duración de la carga cíclica.

#### 5.4.3 Hundimientos.

La sobreexplotación de los acuíferos produce problemas de hundimiento debido a que el equilibrio hidrológico que debería existir se rompe al reducirse los niveles del lago. Este desequilibrio geohidrológico aumenta el abatimiento de los niveles piezométricos provocando mayor velocidad en los asentamientos de una forma no uniforme y mayor agrietamiento en la superficie lacustre que provocan grandes problemas en la zona al momento de presentarse un movimiento telúrico.

Un subsuelo blando puede dar origen a hundimientos diferenciales o irregulares de las cimentaciones. Antes de un sismo lo que se reduce es la capacidad estructural de un edificio, y durante un sismo lo que se presentan son hundimientos del edificio por las oscilaciones del subsuelo hasta llegar a la falla por haber excedido la capacidad de carga del terreno (Díaz, 1989).

#### 5.4.4 Cimentaciones.

La zona de Paseos de Taxqueña sufre en sus cimentaciones superficiales asentamientos diferenciales excesivos debido a la aplicación inadecuada, en algunos casos, del reglamento de construcción de 1987 (si se aplicara correctamente ayudaría a aminorar el riesgo sísmico). Otros problemas que se presentan en la zona son los indicios que sugieren algunos edificios que se inclinaron y se asentaron diferencialmente por falta de capacidad de carga de los pilotes de fricción, los cuales se utilizan como complemento de las cimentaciones reduciendo los asentamientos del lugar. Los efectos que las ondas sísmicas produzcan en una cimentación dependerán de la profundidad de desplante de ésta en el suelo y de su rigidez. La presión sísmica en el agua de poro es determinante para la estabilidad de la cimentación, principalmente en suelos con alto contenido de limo y arena fina. El diseño de las cimentaciones se ve afectado puesto que al disminuir la plasticidad de las arcillas decrece la intensidad de los movimientos sísmicos del terreno. La respuesta de la arcilla plástica depende del nivel de la deformación cíclica inducida.

Es de suma importancia estudiar el diseño de las cimentaciones ya que durante los sismos de 1985 las fallas en las cimentaciones provocaron el colapso o daño irreparable del 13% de los edificios y la falla por falta de capacidad de carga de los pilotes de fricción y los asentamientos diferenciales de las cimentaciones superficiales causaron el volteamiento de edificios esbeltos.

Los dos principios generales que se debe tener en cuenta para las cimentaciones de estructuras sismo-resistentes son:

1. Emplear un proyecto de cimentación sencilla evitando mezclar pilotes y zapatas.
2. Ligar entre sí a los elementos de la cimentación (*Whitman y Beilak, 1992*).

La estructura de un edificio modifica el movimiento sísmico del suelo. La importancia de este movimiento dependerá de la naturaleza del suelo, de las características de la construcción y del tipo de cimentación.

La cimentación de una estructura es la parte del edificio que está en contacto con el terreno y transmite la carga de la estructura al suelo.

#### Clases de cimentaciones.

1. *Cimentación con base en zapata aislada:* da soporte a columnas estructurales, es de una sola pieza rectangular o cuadrada de grosor uniforme, también puede ser escalonada o piramidal para poder distribuir la carga. Esta cimentación se utiliza para construcciones de una planta donde el suelo no recibe demasiada carga. (Fig 5.d).

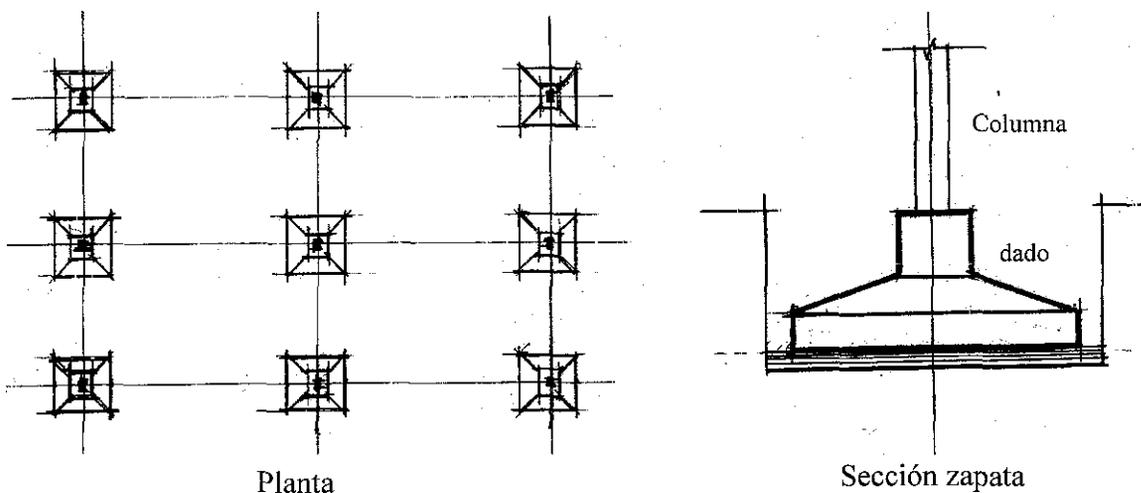


Fig 5.d Cimentación de zapata aislada.

2 Cimentación de zapata corrida: se utiliza para muros de carga y para filas de columnas espaciadas en construcciones de dos y tres pisos (Fig 5 e).

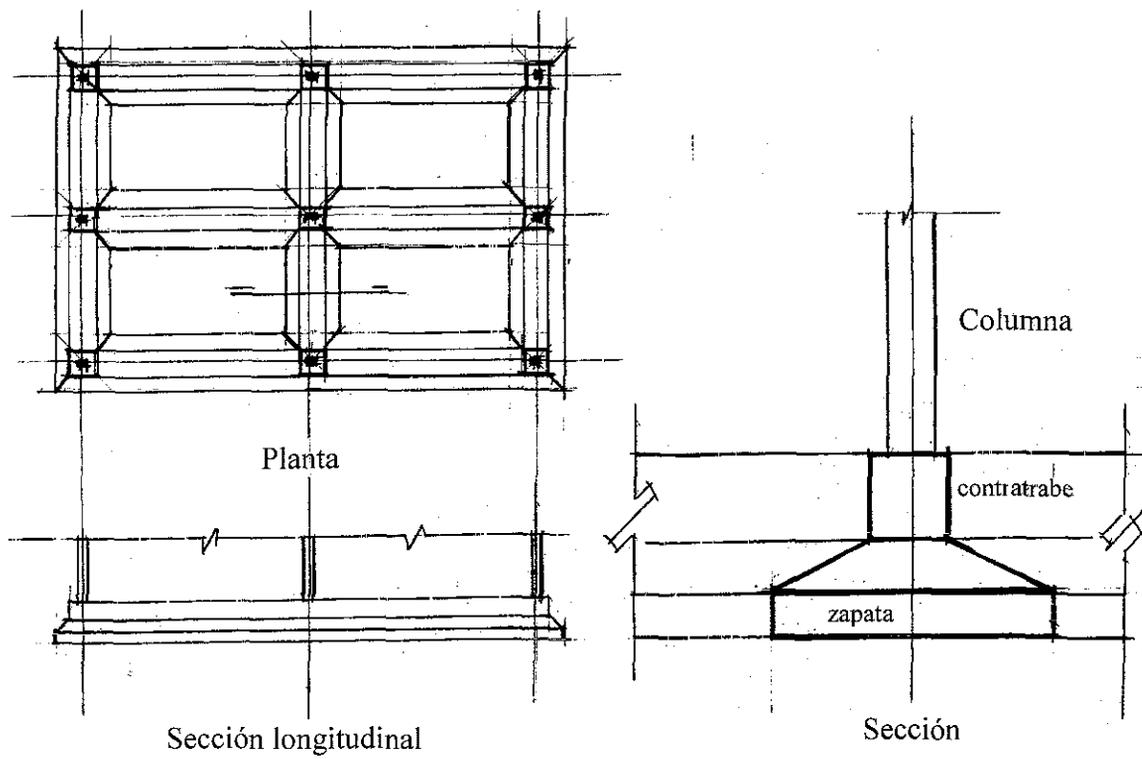


Fig 5.e Cimentación de zapata corrida.

3. *Cimentación con losa en base*: se utiliza en suelos de baja capacidad de carga o en donde las columnas estructurales están muy cercanas en ambas direcciones, aquí la cimentación con zapatas aisladas se tocarían unas con otras. Esta clase de cimentación reduce los asentamientos diferenciales en suelos variables (Fig 5.f)

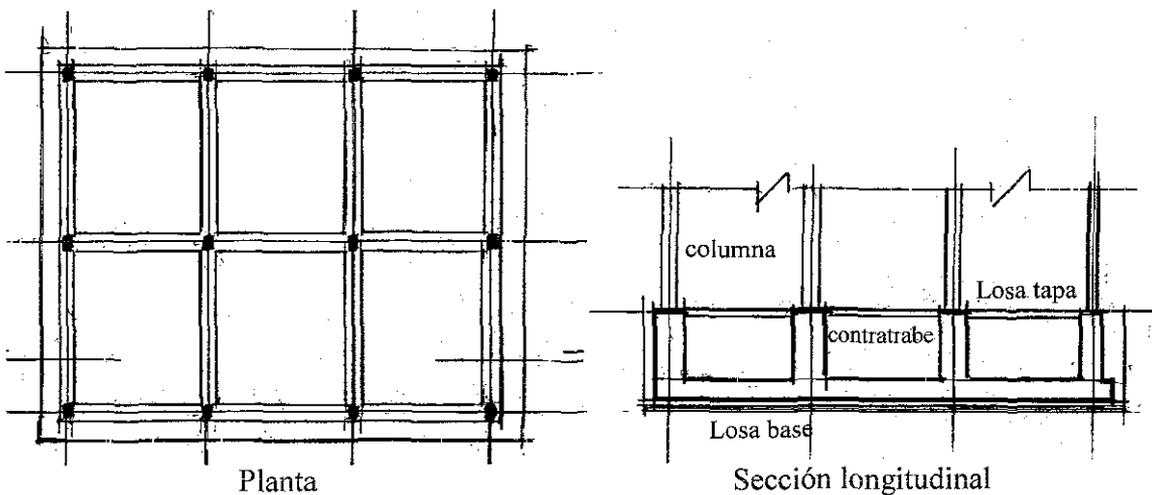


Fig. 5.f Cimentación con losa en base.

4. *Cimentación a base de pilotes*: se utiliza para soportar estructuras muy pesadas y de muchos niveles. Hay dos tipos de pilotes: de fricción, los cuales se utilizan frecuentemente como complemento de cimentaciones compensadas para reducir asentamientos, tiene vida limitada y se hunden o sobresalen de acuerdo al comportamiento del subsuelo; y los pilotes apoyados en la capa dura más próxima a la superficie, el diámetro de estos pilotes se diseña de acuerdo a la resistencia de la capa dura donde se apoyarán (Fig e.g)

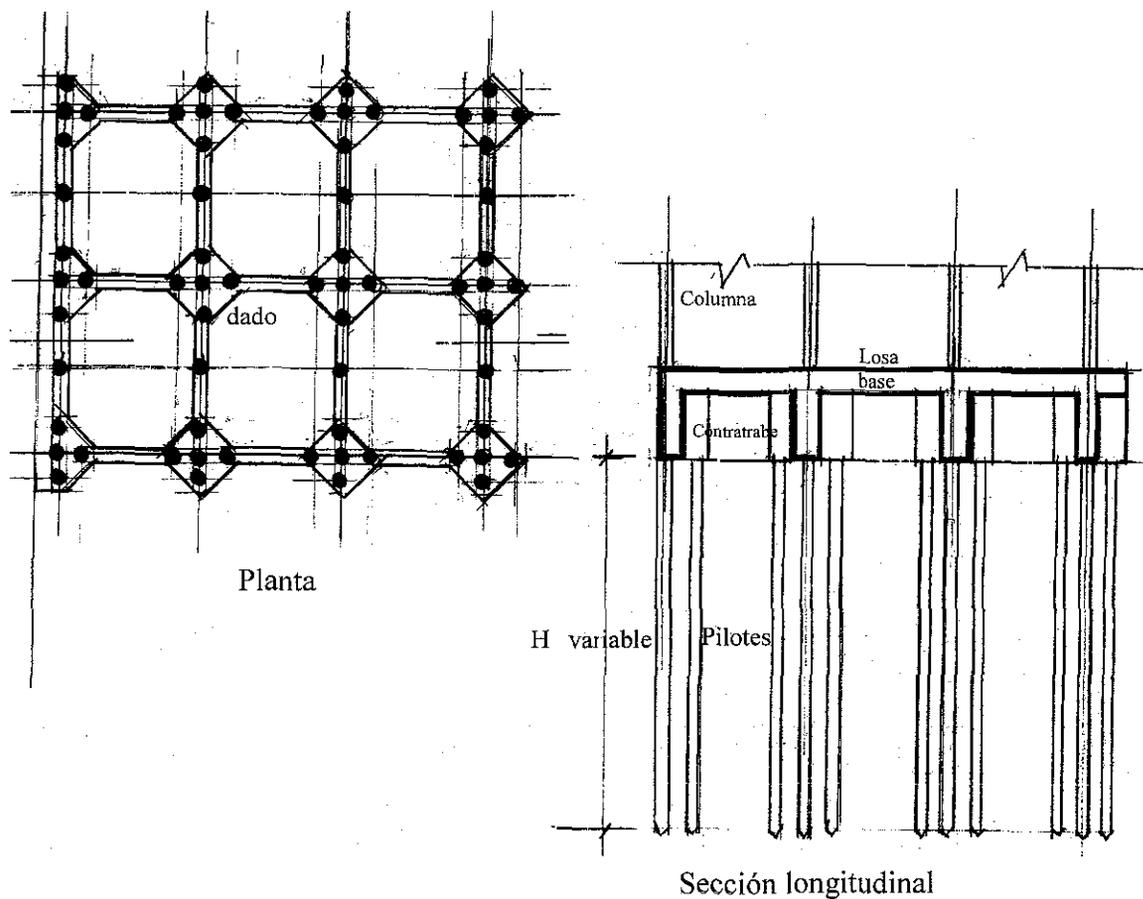


Fig 5 g Cimentación a base de pilotes.

Entre los sistemas especiales de cimentación están los pilotes de control equipados con un dispositivo que permite regular la carga tomada por cada pilote y los movimientos de la construcción respecto al área que la rodea.

Para decidir que tipo de cimentación usar es indispensable conocer la configuración geológica del lugar, las condiciones del suelo y las condiciones de agua en el terreno.

5.5 Análisis de los edificios situados en la calle de Paseo del Río en el tramo comprendido entre la calle de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo.

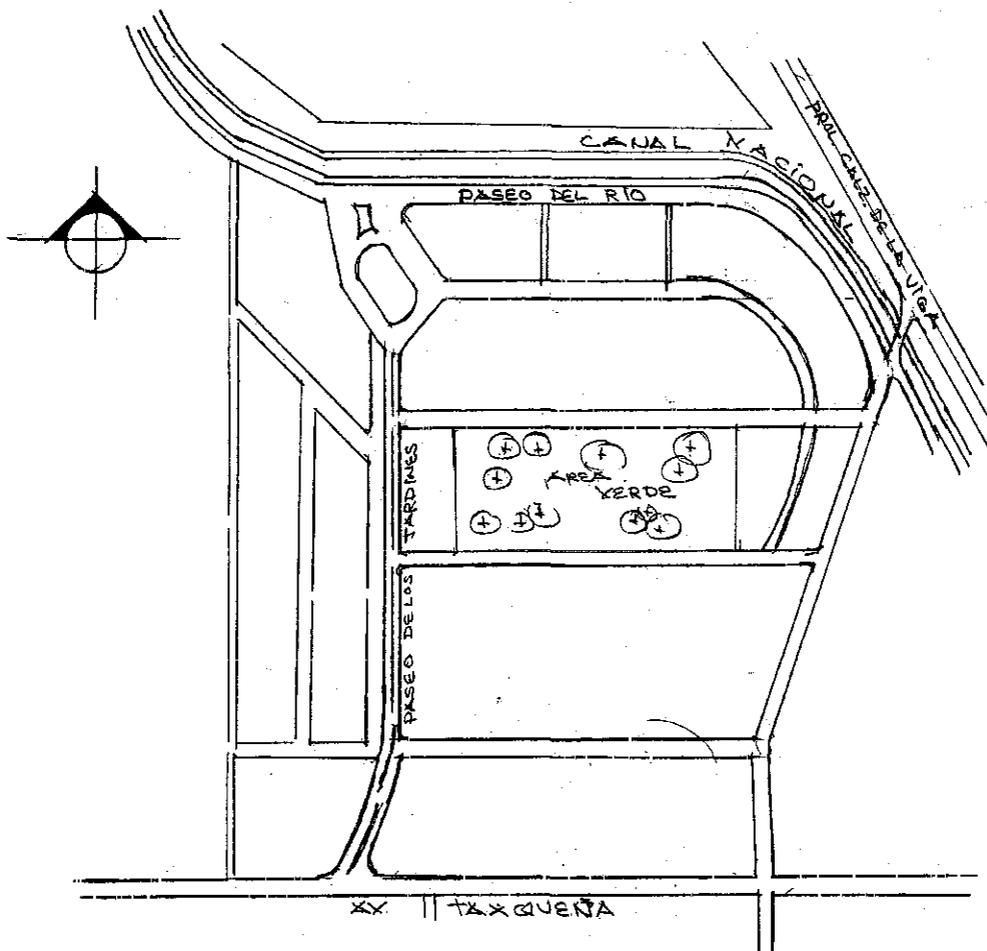


Fig 5.h. Croquis de ubicación de la zona de estudio.

En la zona de Paseo del Río la mayoría de los edificios y casas habitación han sido afectadas en diferentes escalas por los sismos, pudiéndose observar que todas presentan el clásico problema de fallo o falla por cortante, ya bien sea en las losas, trabes, muros o columnas.

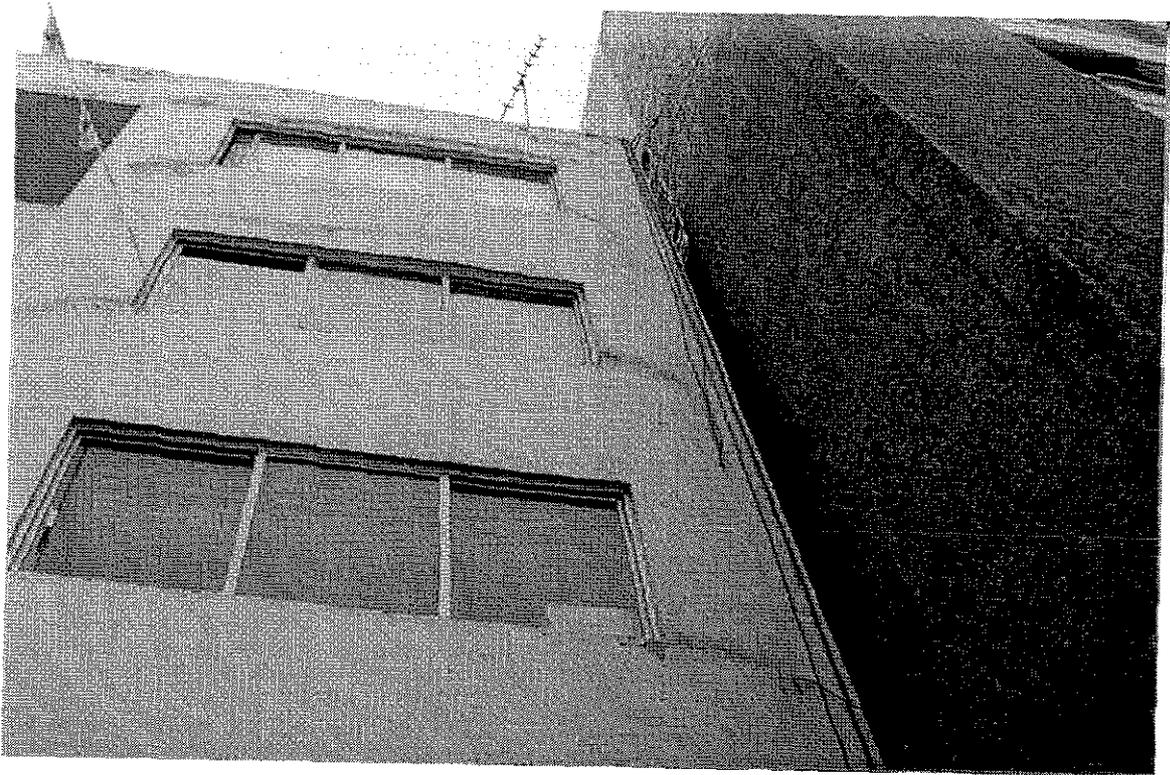
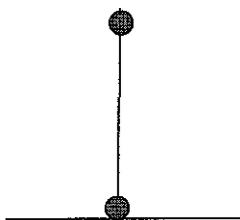


Foto 1. Edificio ubicado en Paseo del Río #332

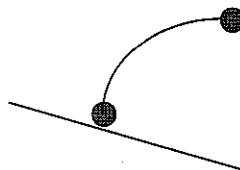
El edificio refleja un hundimiento significativo provocando fisuras a los lados de las ventanas.

Para conocer la respuesta de un edificio en esta zona sometido a movimiento es necesario evaluar los efectos de interacción suelo-estructura debido a la flexibilidad del suelo; el edificio al moverse genera un momento de volteo en la base que puede ser mayor que el momento resistente de la cimentación y de la estructura y provocar un desprendimiento parcial (Ganeu et al., 1995; Housner, 1993; Weissmann, 1972), calcularon el giro necesario para el inicio del desprendimiento de un edificio.

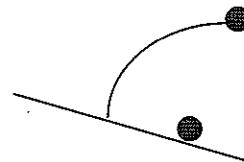
Psycharis en 1982 elabora un aparato a base de dos resortes donde considerando la flexibilidad del suelo se marcan los grados en el momento que se inicia el desprendimiento de la cimentación de un edificio, también planteó un modelo más complejo que es el modelo de Winkler que emplea una distribución uniforme de fuerzas de contacto evaluando con éste la importancia suelo-estructura y suelos flexibles y cómo cambia el centro de gravedad (Botero y Vita, 2000).



a) estructura sobre un suelo flexible



b) estructura deformada sin desprendimiento



c) estructura con desprendimiento



Foto 2. Vista general de la calle Paseo del Río entre Paseo de los Fresnos y Paseo de las Granadas.

La falla por cortante o cizallamiento ocurre cuando todos los elementos estructurales que conforman una construcción de cualquier nivel por su misma estructura tienden a fallar y se dice que por cortante pierden su forma. Para evitar esto se calcula un esfuerzo permisible en el armado de la estructura. Al ser afectado el elemento estructural por algún movimiento como el del sismo (dependiendo de su intensidad la falla por cortante se verá incrementada al grado de provocar la ruptura de losa, muro, columna o trabe).



Foto 3. Vista general de los edificios afectados por los sismos de 1985 en la calle Paseo del Río.



Foto 4. Edificio ubicado en la calle Paseo del Rfo #298 afectado por los sismos de 1985.

Existen edificios que han sido dañados su estructura por los sismos y sin embargo siguen ahí ocasionando un riesgo considerable para los edificios y casas circundantes.

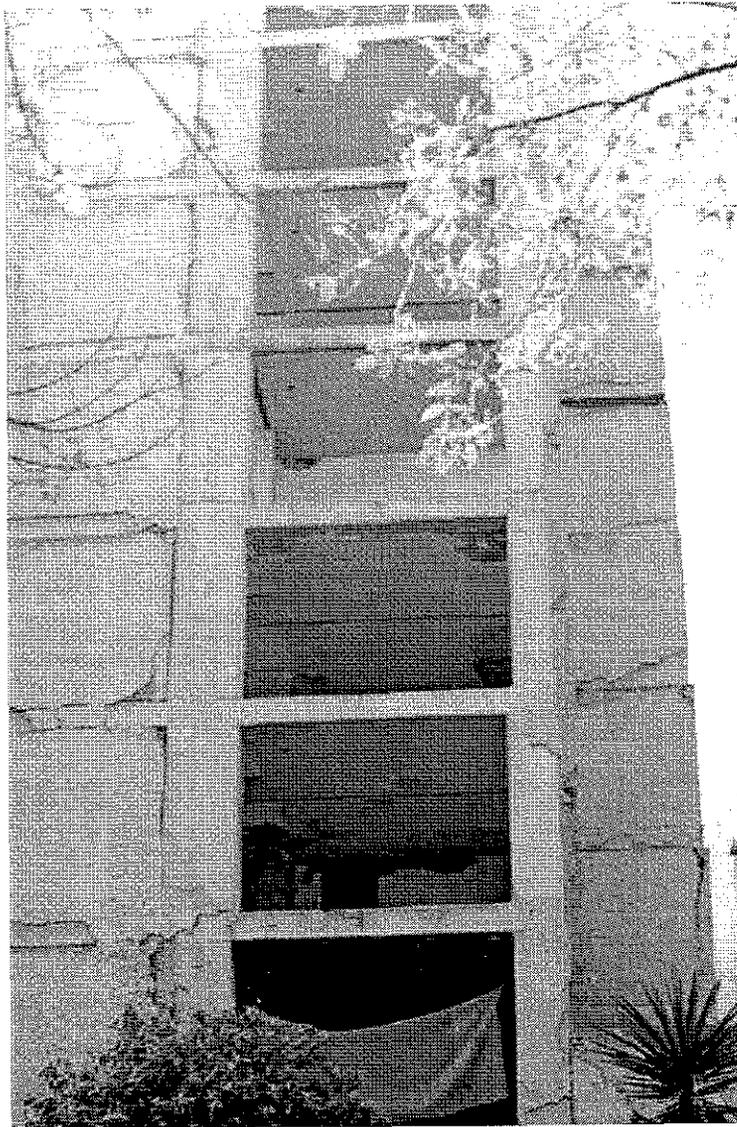


Foto 5. Edificio ubicado en la calle Paseo del Río # 307 afectado por los sismos de 1985.

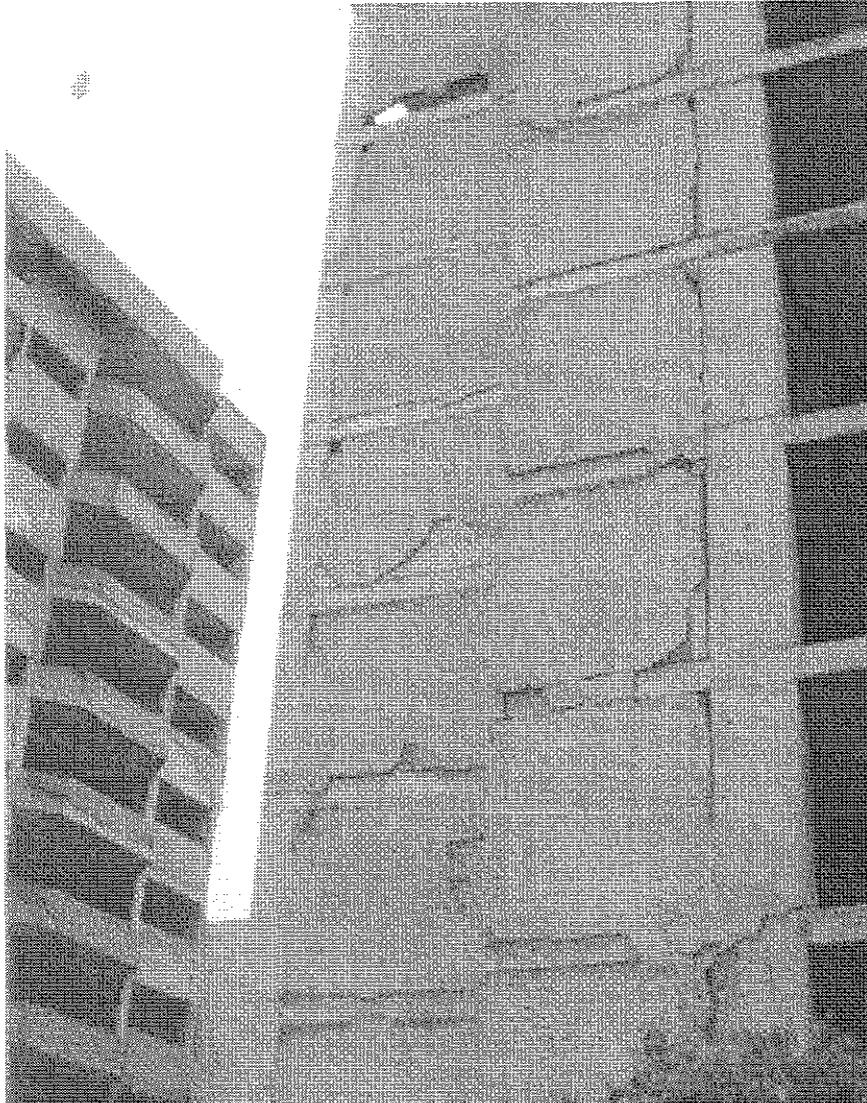


Foto 6. Vista lateral del edificio ubicado en la calle Paseo del Río # 307 afectado por los sismos de 1985.



Foto 7 Vista frontal del edificio ubicado Paseo del Río # 298 afectado por el sismo de 1985.

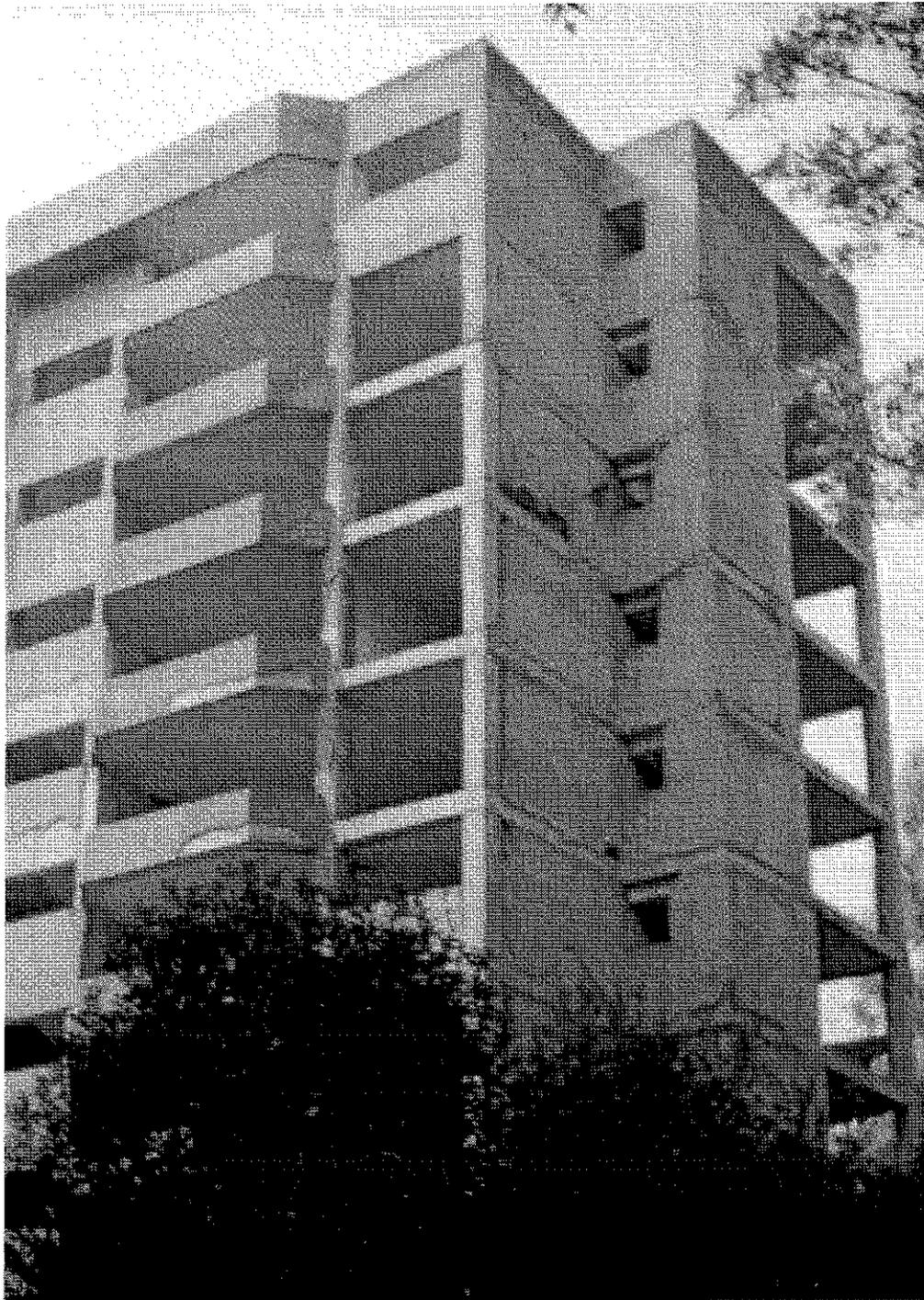


Foto 8. Vista lateral del edificio ubicado Paseo del Río # 298 afectado por el sismo de 1985



Foto 9. Vista parcial de la calle Paseo del Río



Foto 10. Edificios número 307, 298 y 280 de Paseo del Río.

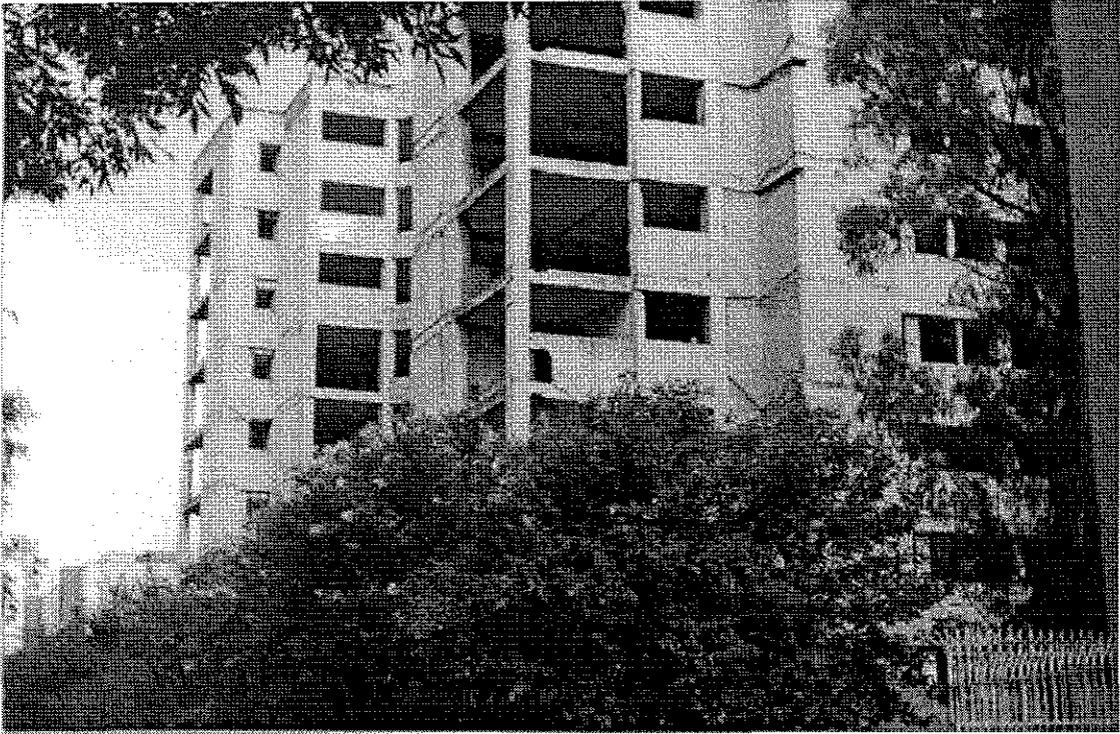


Foto 11. Vista parcial de los edificios dañados en la calle Paseo del Río.



Foto 12. Edificios de la calle Paseo del Río entre Paseo de los Encinos y Paseo de las Higueras.

Otros edificios presentan daños considerables. La mayoría están inclinados y recargados en otros, y al sufrir este movimiento presenta grietas considerables ocasionadas por los efectos sumados al esfuerzo de los elementos estructurales además del cortante, como el esfuerzo de torsión y carga axial (compresión), provocando hundimientos y fuertes inclinaciones manteniendo un riesgo latente para los habitantes; por lo que las autoridades deberían informar y reubicar a estas personas.

Algunos de los edificios de la zona fueron reestructurados de tal manera que sus habitantes se sienten más seguros, aunque a simple vista esto no se puede aceptar ni constatar pues se debe hacer un peritaje técnico para determinar su estado.

Es importante tomar en cuenta que la construcción es parte de la estructura, el suelo y las estructuras vecinas. El reglamento de construcción para el Distrito Federal (1987) en uno de sus puntos contempla la interacción del suelo-estructura; además incorpora puntos, más estrictos para el diseño de cimentaciones.

El Reglamento para el Distrito Federal es uno de los reglamentos más avanzados del mundo, desde la publicación de las normas de emergencia principalmente en la edición 1976, ha incorporado aspectos novedosos en ingeniería sísmica (*Rosenblueth, 1976; Bertero, 1986; Chopra y Cruz, 1986*) y después en sus nuevas ediciones publicadas el 6 de julio de 1987 (*DDF, 1987 a*) y la vigente publicada el 2 de agosto de 1993 (*DDF, 1993*). Aunque dicho reglamento está cuidadosamente realizado hay que seguirlo revisando y perfeccionando. Dentro de éste hay un anexo, el de las normas técnicas complementarias, donde se explican de manera generalizada los procedimientos constructivos que hay que seguir para proteger lo más posible a la ciudadanía del Distrito Federal contra los sismos.

## 5.6 Registro de movimientos fuertes.

El registro de temblores constituye la herramienta más importante del Instituto Sismológico Nacional para estudiar los sismos y sus manifestaciones, dado que en un movimiento sísmico se encuentra la fuente que lo produjo, el efecto que marcó en el sitio y su trayectoria.

Para registrar los eventos sísmicos de menor magnitud de la Cuenca de México, se instaló, a principios del año 1993. La Red Sísmica del Valle de México (RSVM), la cual cuenta con 12 estaciones digitales de período corto.

Los eventos sísmicos de gran magnitud activan los mecanismos de detección de la red convencional del Servicio Sismológico Nacional (SSN). Los registros de estas redes muestran que la mayor parte de la sismicidad se localiza al oriente de la Cuenca de México, siguiendo una franja de NW-SE.

Los registros de los eventos sísmicos se asientan en los acelerogramas de las distintas estaciones localizadas en la Cuenca de México (*Fig.5.i Localización de las estaciones de la red acelerométrica de la ciudad de México*).

Los estudios de la respuesta sísmica de las estaciones de la Red Acelerométrica de la Ciudad de México (RACM) analizan los acelerogramas en el dominio del tiempo mostrando que existen amplificaciones relativas hasta 4 veces entre estaciones de la zona Suroeste de la ciudad debido a la presencia de material mucho más suave debajo de los flujos de lava.

La amplificación del movimiento durante temblores en planicies aluviales puede causar pérdidas considerables. Los daños causados por los sismos del año 1985 en la Ciudad de México han sido estudiados por numerosos autores investigando el comportamiento de la respuesta sísmica de la cuenca y en la zona del lago y los efectos observados han sido de enormes amplificaciones

espectrales, gran duración de los registros y variabilidad espacial del movimiento. Esta zona está formada por arcillas con espesores que varían de 10 a 100m (Marsal y Mazari, 1959).

Cuando ocurren sismos de subducción en estos depósitos blandos surgen las más altas aceleraciones de las ondas causando asentamientos excesivos y hasta volcamientos de las estructuras (Chávez, 1984, 1992).

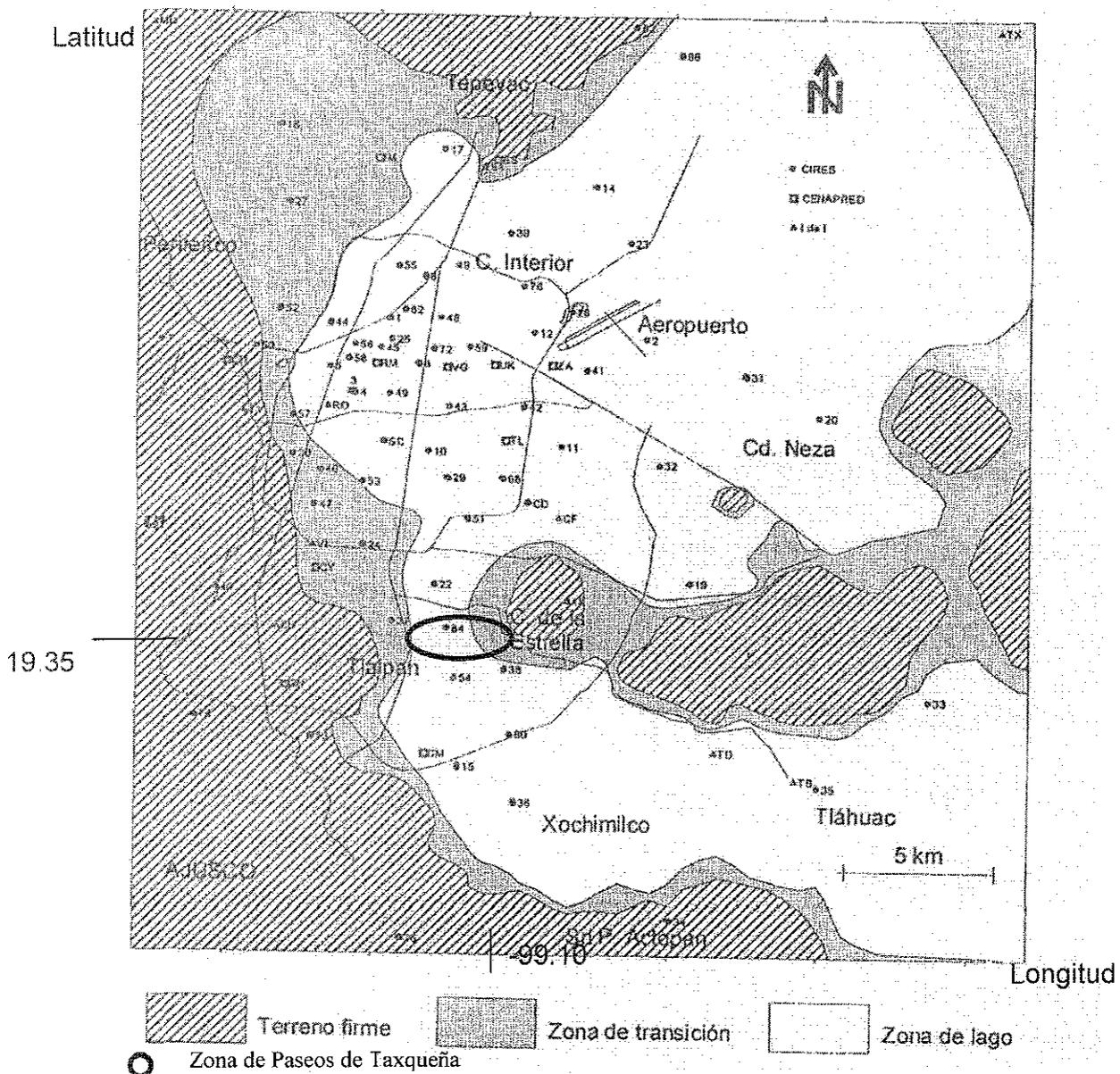


Fig. 5.i Localización de las estaciones de la red acelerométrica de la ciudad de México

Los estudios de Pérez-Rocha (1998), mencionan que los sismos provenientes de la brecha Petatlán son muy enérgicos para frecuencias mayores de 1Hz. El colapso de la Universidad Iberoamericana en 1979 se debió a un sismo que se originó en esta brecha.

Un mismo sismo presenta diferencias en la respuesta sísmica mostrando mayor amplitud en los acelerogramas de la zona llamada de “Alto Riesgo” que es la zona de Paseo del Río que en las otras zonas; y esto se debe a los diferentes componentes que forman el terreno. Los acelerogramas de sismos registrados en la superficie de sedimentos gruesos de suelos blandos se caracterizan por su larga duración y por su naturaleza casi armónica (*Rosenblueth, 1976*), estas propiedades del suelo se reflejan en los espectros de respuesta que muestran picos muy estrechos y pronunciados en sus periodos dominantes.

A continuación se presentan los acelerogramas de los sismos del 24 de octubre de 1993 y del 10 de diciembre de 1994 registrados en diferentes estaciones del D.F., notando en ellos la gran vulnerabilidad que presenta la zona de Paseos de Taxqueña, “ Estación Ibero”, la que presenta un tipo de suelo con un alto riesgo sísmico. El riesgo sísmico en áreas alejadas de la zona epicentral, depende de las condiciones del suelo durante movimientos fuertes. Los depósitos tienden a atenuar el movimiento sísmico en algunas frecuencias y a amplificarlo en otras.

#### 5.6.1 Sismogramas.

Las gráficas de los simogramas están enmarcadas en dos ejes, uno horizontal o de las abscisas que muestra el tiempo clave en que el sismo tuvo su mayor

intensidad y el de las ordenadas o vertical que registra la amplitud del sismo la cual está medida en gal =  $1 \text{ cm/s}^2$

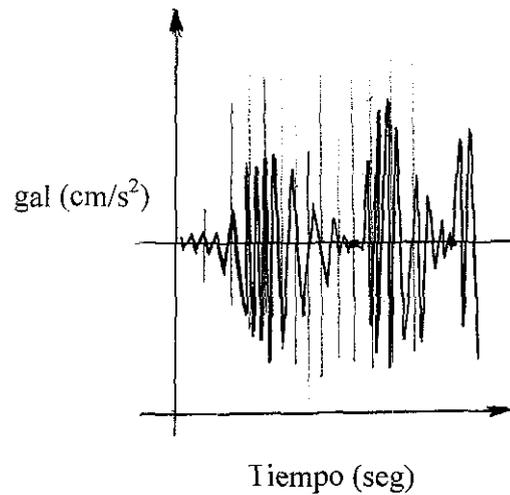


Fig. 5.j Ejemplo de sismograma.

Para interpretar los sismogramas debemos saber que la amplitud del sismo está dibujada a base de líneas quebradas que muestran la velocidad-tiempo. Cuando las líneas están separadas unas de otras la frecuencia del movimiento es menor que cuando éstas están muy juntas.

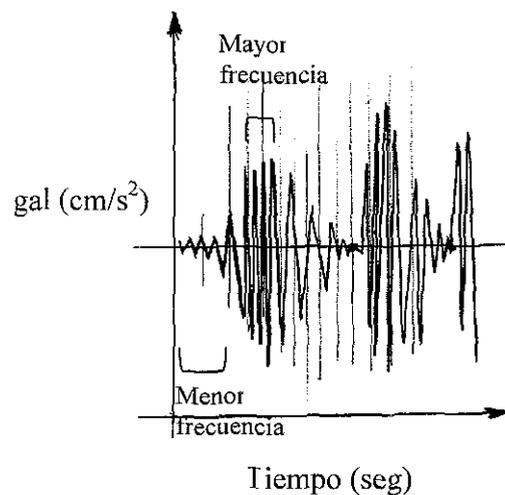


Fig. 5 k Diferentes frecuencias del sismo.

La amplitud del sismo se mide en el sismograma trazando una línea horizontal o de reposo a la mitad de las líneas quebradas y se toma la medición de esta línea hacia arriba o hacia abajo.

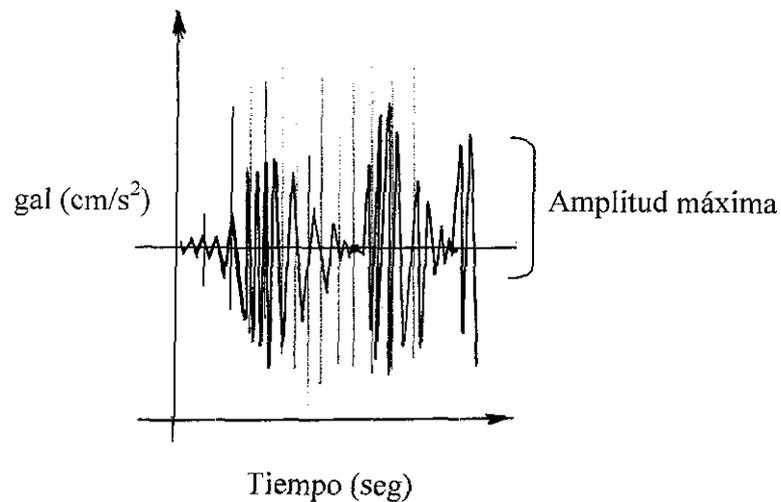


Fig. 5.1 Medición de la amplitud.

Es muy importante ver que cuando las líneas quebradas se encuentran en un valor cero sobre el eje vertical, esto significa el inicio de un movimiento más fuerte.

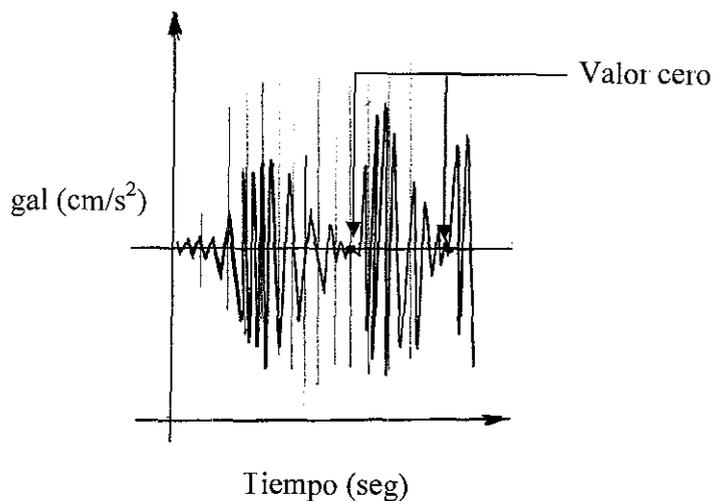


Fig. 5 m Valor cero en el sismograma.

En los simogramas podemos marcar la fase intensa del movimiento sísmico que será cuando las líneas quebradas muestran mayor frecuencia y mayor aceleración.

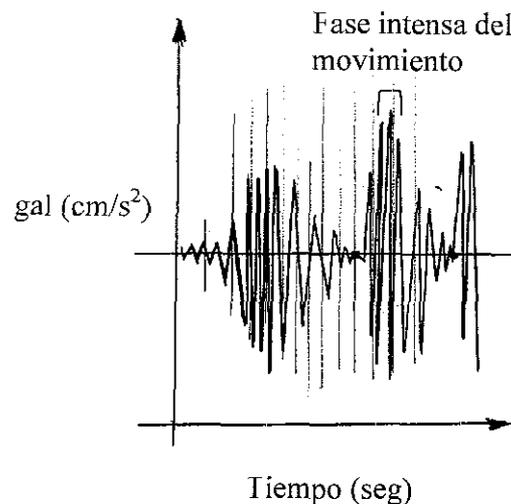


Fig. 5.n Mayor frecuencia y mayor aceleración

La magnitud ( $M_c$ ) que está en función de la duración del registro es medida en grados Richter, en cada simograma aparecen 3 gráficas que corresponden a tres diferentes posiciones de medir el sismo que son:  $C_1$  (noreste),  $C_2$  (vertical) y  $C_3$  (noroeste). La red de acelerógrafos de la Ciudad de México ha producido un gran número de acelerogramas generando una amplia investigación relacionada con la respuesta sísmica de las estructuras en los diferentes suelos de ésta, distinguiendo las diferencias que caracterizan a las estructuras en las diferentes zonas de la ciudad (Miranda, 1995).

A continuación se presentan los registros del sismo del 10 de diciembre de 1994 en las estaciones sismográficas Ibero, Instituto de Ingeniería UNAM, y Mariano Escobedo, como ejemplo de las diferentes zonas morfológicas existentes en la Cuenca de México.

El sismo del 10 de diciembre de 1994 registrado en la estación Ibero localizada en la Escuela Secundaria No. 95 en el Cerro Mezontepec y Crestán, colonia Campestre Churubusco, Coyoacán a una altitud (msnm) de 2,234 donde el tipo de suelo de la zona es considerado como de alto riesgo sísmico, observamos que en  $C_1$  el movimiento sísmico tiene una fase intensa muy prolongada que va desde que se inicia la medición hasta los 110.77 segundos y que su aceleración se mantiene casi constante durante ese tiempo. Lo prolongado del movimiento debido al tipo de suelo es lo que hace que la zona sea riesgosa.

El registro del mismo temblor en la estación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, muestra que la fase intensa del sismo está entre los 57.5 segundos hasta los 92 seg. o sea que el movimiento duró aproximadamente 35 seg. debido a que el terreno en la zona es pedregoso.

El registro del mismo sismo en la zona de transición en la estación Mariano Escobedo notamos que el movimiento fuerte se registra en los primeros 10 seg. hasta los 40 seg., aunque se prolonga con menor intensidad hasta los 75 seg.

Con el análisis de estos sismogramas notamos que el mismo sismo fuera de la zona de estudio se manifiesta en forma menos agresiva y prolongada.

Como comparación se presentan los sismogramas del sismo del 24 de octubre de 1993 registrado en las mismas estaciones del ejemplo anterior, sacando como conclusión de que el mismo sismo en terreno duro se presenta como una fuerte sacudida y en terreno blando el movimiento se prolonga. Para un buen análisis de un sismograma es importante saber en dónde estaba colocado el sismógrafo a la hora que se registró el movimiento, puesto que las mediciones cambian considerablemente si éste está en la superficie del terreno fuera del edificio o en la superficie del terreno dentro del edificio o en algún nivel del mismo.

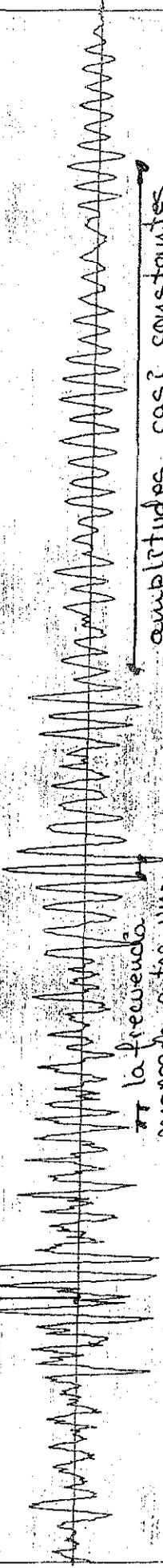
CIRES  
IBERO

SISMO  
Fecha (GMT) : 10/DIC/94  
Hora (GMT) : 16:17:40,9  
Coordenadas : 18.020 LAT. N, 101.560 LONG. W  
Magnitud : Mc=6.30  
Prof. H (Km) : 20

IB229412.101  
Hora (GMT) : 16:18:58.23  
Duración (s) : 110.77  
Max C1 (N00E) : 9.88  
C2 (+V) : 4.58  
C3 (N90W) : 12.28

ESTACION  
Clave : IB22  
Aparato : DCA-333 / 224  
Coord. : 19.345 LAT. N  
99.130 LONG. W

máxima amplitud



la frecuencia  
marcada entre una  
línea y otra es muy semejante

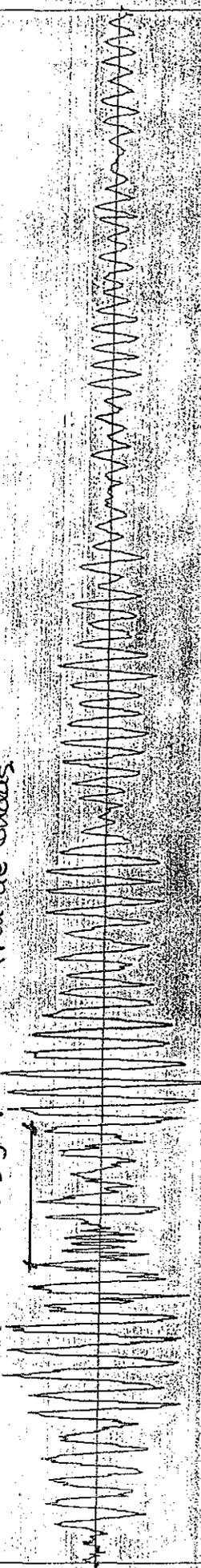
amplitudes casi constantes

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11



11)

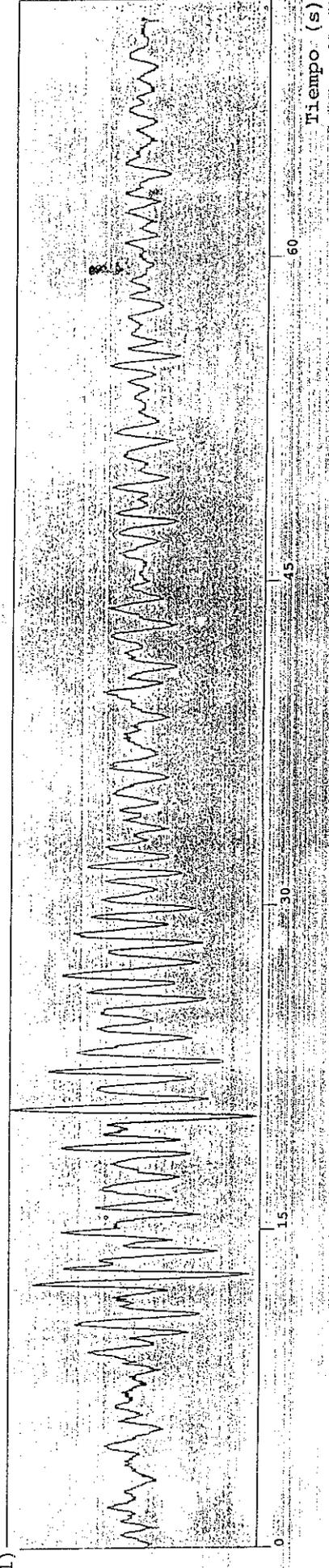
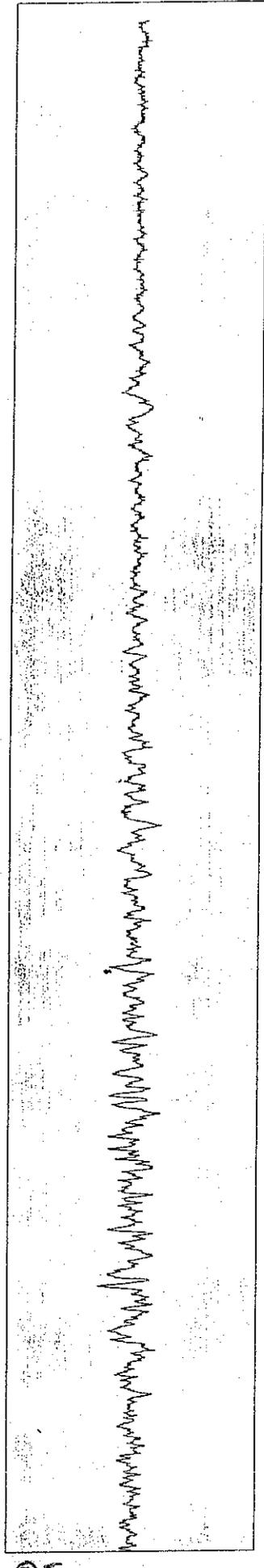
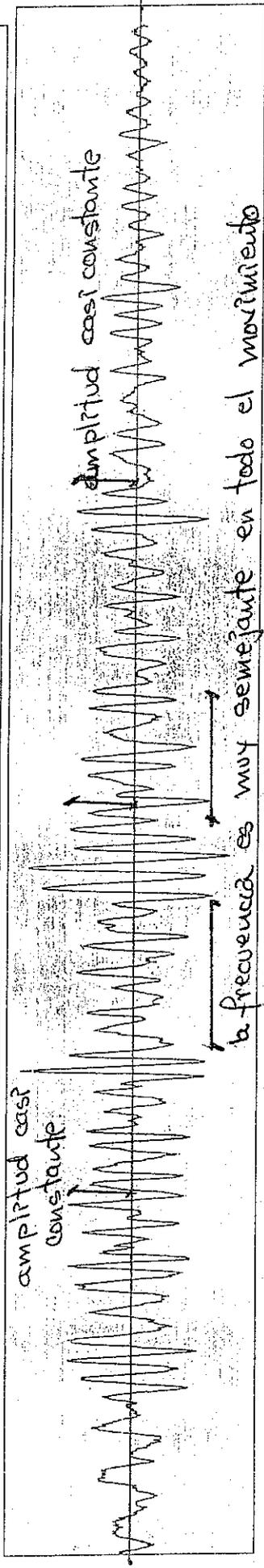
ondas S tren de ondas



Tiempo (s)

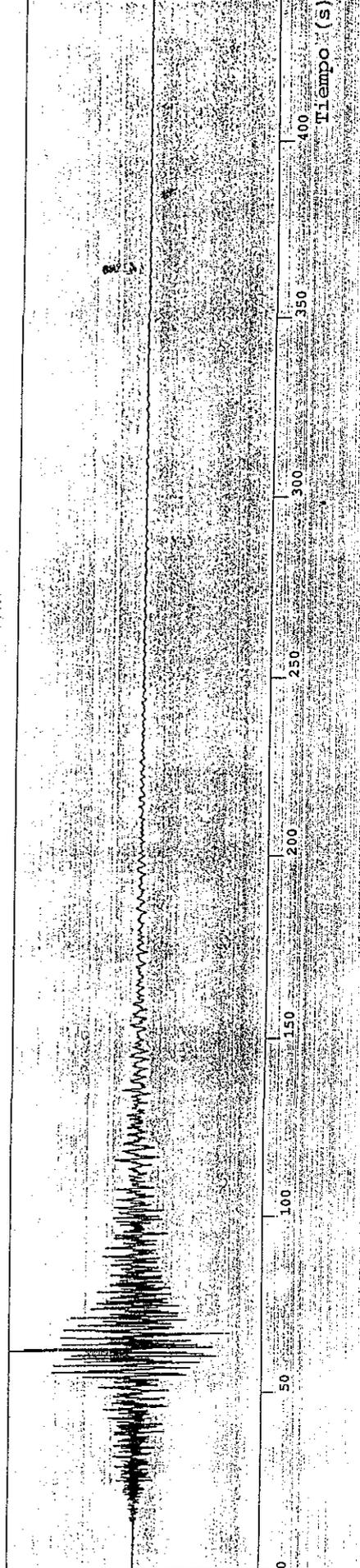
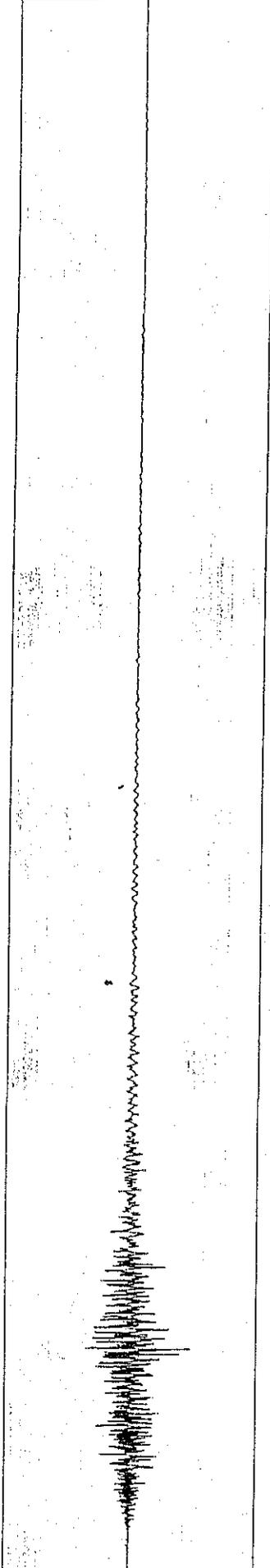
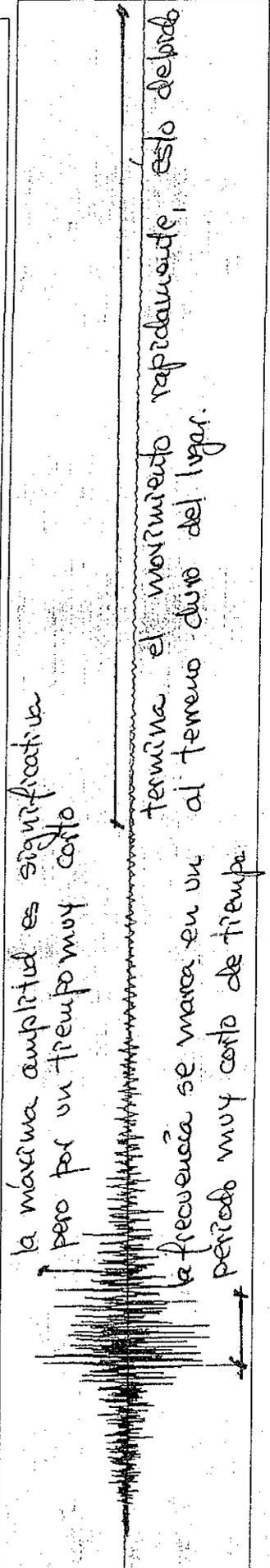
CIREs  
 MARIANO ESCOBEDO

SISMO	ESTACION
Fecha (GMT) : 10/DIC/94	Clave : ME52
Hora (GMT) : 16:17:40,9	Aparato : DCA-333 / 228
Coordenadas : 18.020 LAT. N, 101.560 LONG. W	Coord. : 19.438 LAT. N
Magnitud : Mc=6.30	99.182 LONG. W
Prof. H (Km) : 20	
ME529412.101	
Hora (GMT) : 16:18:58.96	
Duración (s) : 71.14	
Max C1 (N00E) : 7.66	
C2 (+V) : 2.38	
C3 (N90W) : 8.64	



1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12

SISMO		ESTACION	
Fecha (GMT) : 10/DIC/94	CUP49412.101	Clave : CUP4	
Hora (GMT) : 16:17:40,9	Hora (GMT) : 16:18:07.75	Aparato : ADN-4 / NI01; FBA-23/27458	
Coordenadas : 18.020 LAT. N, 101.560 LONG. W	Duración (s) : 440.41	Coord. : 19.330 LAT. N	
Magnitud : Mc=6.30	Max C1 (N00E) : 5.39	99.183 LONG. W	
Prof. H (Km) : 20	C2 (V) : -2.63		
	C3 (N90E) : 5.48		



0 50 100 150 200 250 300 350 400  
 Tiempo (s)

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
0

### 5.6.2. Espectros de respuesta.

Los espectros de respuesta son gráficas que muestran el periodo dominante del suelo en un lugar determinado.

Los espectros de respuesta de un mismo lugar son semejantes cada vez que se presenta un sismo. Igualmente cuando comparamos sus espectros de respuesta de norte-sur y de este-oeste encontramos que éstos son semejantes siempre y cuando el suelo se comporte como un suelo elástico lineal (*Fig. 5 u , Fig. 5 v , Fig. 5 w , Fig. 5 x , Fig. 5 y , Fig. 5 z , Fig. 5 aa. y Fig. 5 bb.*)

En este apartado se comparará y analizará para un mismo temblor los espectros de respuesta obtenidos de los sismogramas de la estación Ibero, de la estación Instituto de Ingeniería UNAM, y de la estación Mariano Escobedo; perteneciendo las tres estaciones a la Cuenca de México y cuyas características estratigráficas pertenecen a los tres suelos que conforman la ciudad; que son los blandos, los duros y los formados por materiales que contienen los dos anteriores como son arenas aluviales, limos y capas esporádicas de arcillas.

Al hacer el análisis espectral de registro de temblores se obtendrá el comportamiento de los tres tipos de suelos en la Cuenca de México; de igual manera en cada una de estas zonas el comportamiento de los edificios es muy diferente al presentarse un sismo. También la respuesta sísmica de las estructuras depende de su tipo de cimentación y de la influencia de las características de las edificaciones vecinas y de sus cimentaciones.

Cuando el terreno es blando el periodo fundamental del edificio tiende a crecer por el componente rotacional del movimiento de la cimentación; buena parte de la energía transmitida a la construcción durante el sismo se pierde por radiación de las ondas sísmicas hacia fuera de la cimentación y por amortiguamiento del material del suelo debido a la acción inelástica que tiene lugar en él. Como una consecuencia las fuerzas sísmicas se reducen mientras crecen los desplazamientos laterales y el efecto *(De Buen y López, 1996)*.

La herramienta más utilizada en el diseño sísmico de estructuras es el espectro de respuesta que por su definición no considera la duración del movimiento sísmico.

Cuando el suelo es muy blando conviene colocar estructuras rígidas debido a que se mueven con éste y soportan mejor un fuerte sismo para que su periodo natural no coincida con el periodo dominante del suelo. Esto es, que si los periodos coincidieran la estructura entraría en el efecto de resonancia, que es cuando las ondas de periodo cercano al de los modos propios de los sedimentos empezarían a vibrar en sus modos propios de manera que el movimiento aumentaría cada vez más como si fuese un columpio siguiendo el ritmo de sus oscilaciones. Y en ese instante se desplomarían lo construido o sufriría graves daños.

La amplificación de las ondas en la zona lacustre se debe al entrampamiento de ondas por el contraste entre las características dinámicas de los depósitos superficiales.

Cuando un edificio se daña por un fuerte sismo su periodo se alarga debido a que la estructura pierde la rigidez que le dan sus componentes y puede llegar el momento que después de varios sismos su periodo pueda coincidir con el periodo dominante del suelo, y se haga más vulnerable ante la ocurrencia de otros sismos (Rosenblueth,, 1992).

El cálculo del riesgo sísmico es un factor importante para la planeación de las construcciones puesto que se considera invariable en el tiempo, ya que se toman medidas permanentes (Nava, 1998)

A continuación se presentan los espectros de respuesta norte-sur y este-oeste de las estaciones Ibero, Instituto de Ingeniería UNAM, y Mariano Escobedo que corresponden a los movimientos del terreno registrados durante el sismo del 10 de diciembre de 1994 para analizar cómo responde el suelo en cada una de estas zonas.

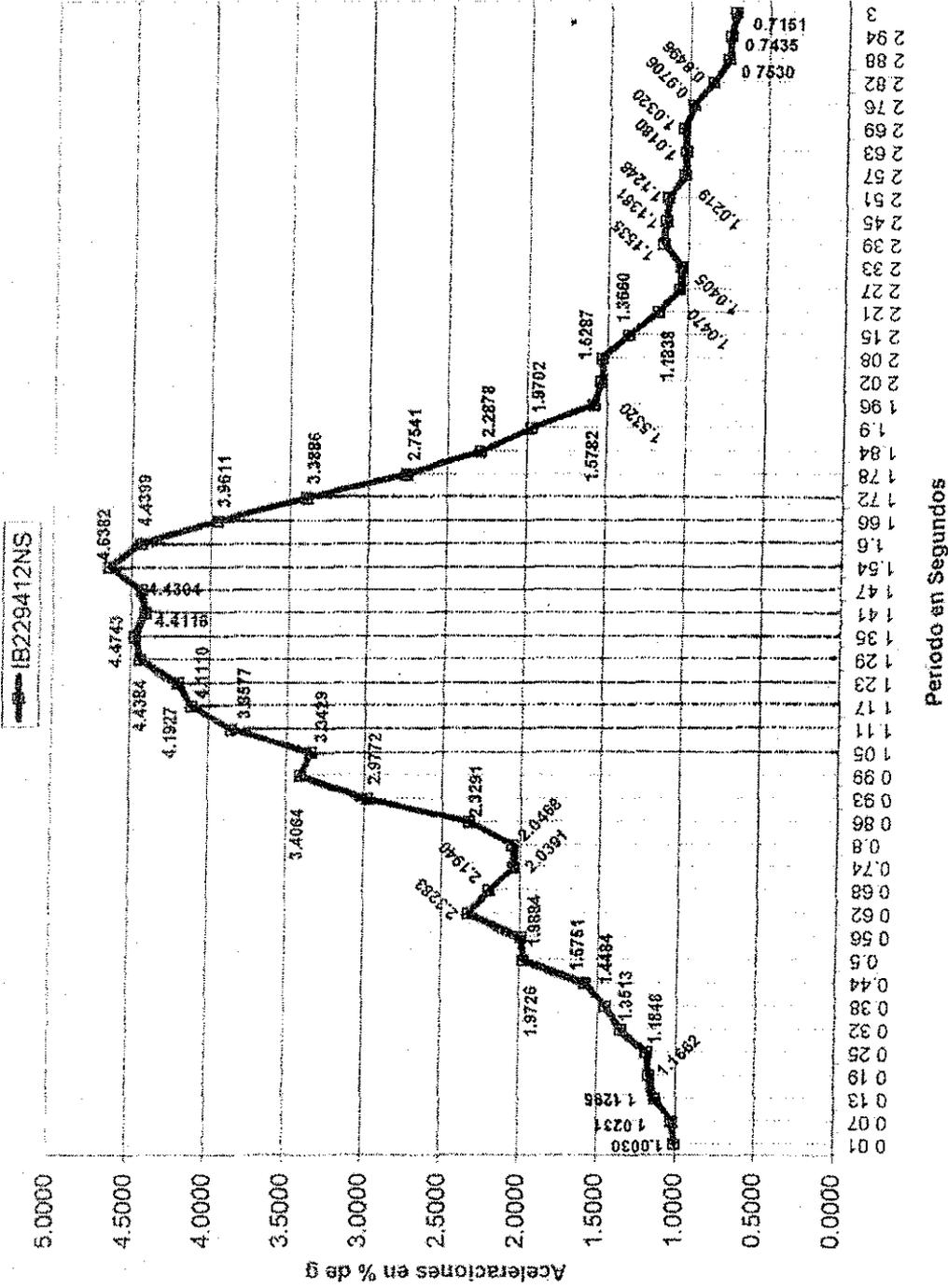
Las ordenadas espectrales máximas en los espectros de respuesta son muy diferentes en cada una de las estaciones, mientras que para el registro del sismo de la estación Ibero se manifiesta una alta aceleración la que se ve prolongada durante más de 50 segundos; en la estación Mariano Escobedo únicamente se acelera el movimiento durante 10 segundos alcanzando una amplitud de 4% de g. siendo menor que la de la Ibero que era de 4.6382% de g; y en la estación UNAM la amplitud máxima fue más de cuatro veces menor que en la estación Ibero y únicamente se observa en la gráfica un ligero vaivén, el cual es casi constante durante todo el sismo.

Este análisis nos demuestra que en la zona lacustre el riesgo durante un sismo es mayor ya que el movimiento es fuerte y prolongado con la posibilidad de que las estructuras entren en resonancia y se desplomen, en cambio en la zona de Mariano Escobedo al manifestarse el movimiento por corto tiempo no existe problema alguno.

En estudios recientes sobre la respuesta sísmica de estructuras sobre suelos blandos se ha demostrado que las demandas sísmicas y por lo tanto el comportamiento estructural son particularmente sensibles a la relación entre el periodo fundamental de estructura y el periodo predominante del movimiento del terreno (Miranda, 1991). Este periodo del terreno puede variar entre 1.0 segundos y 5.2 segundos lo que puede dar lugar a diferencias importantes en demandas sísmicas para estructuras de dicha zona (*Rosenblueth, 1999*).

A continuación se presentan los espectros de respuesta de las diferentes estaciones del sismo del 10 de diciembre de 1994 norte-sur y este-oeste.

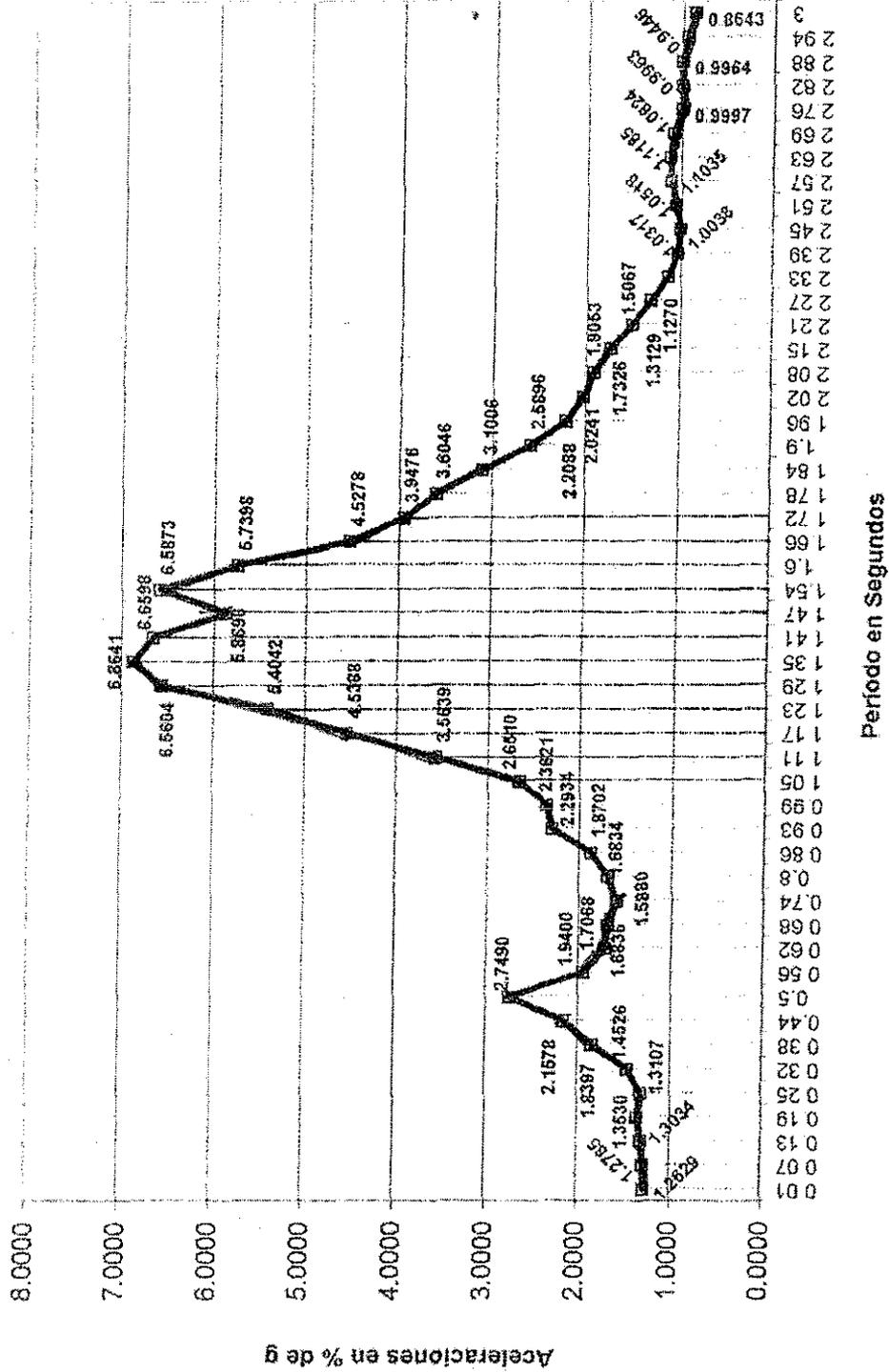
# Espectro de Respuesta



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Espectro de Respuesta

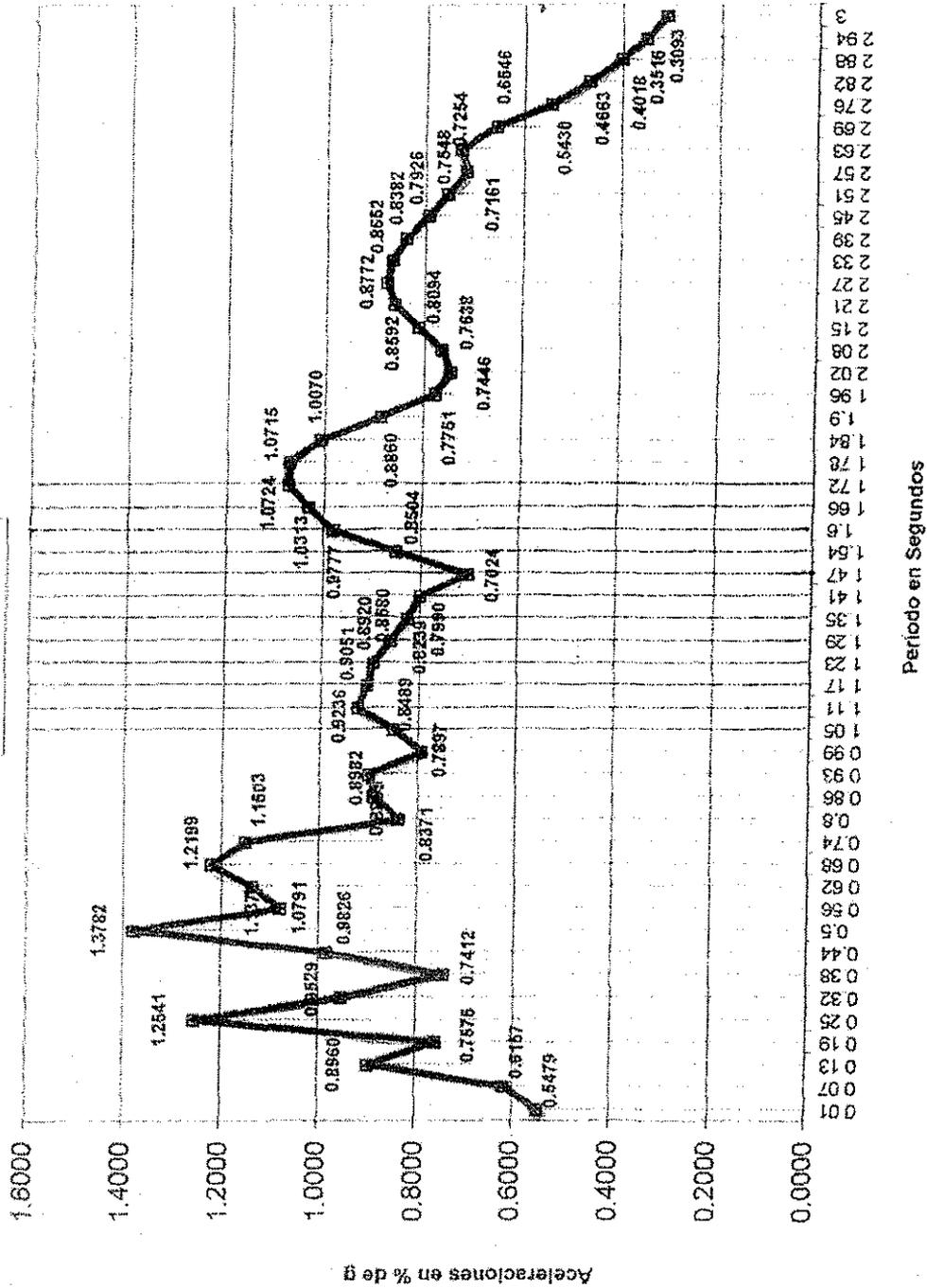
IB229412EW



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Espectro de Respuesta

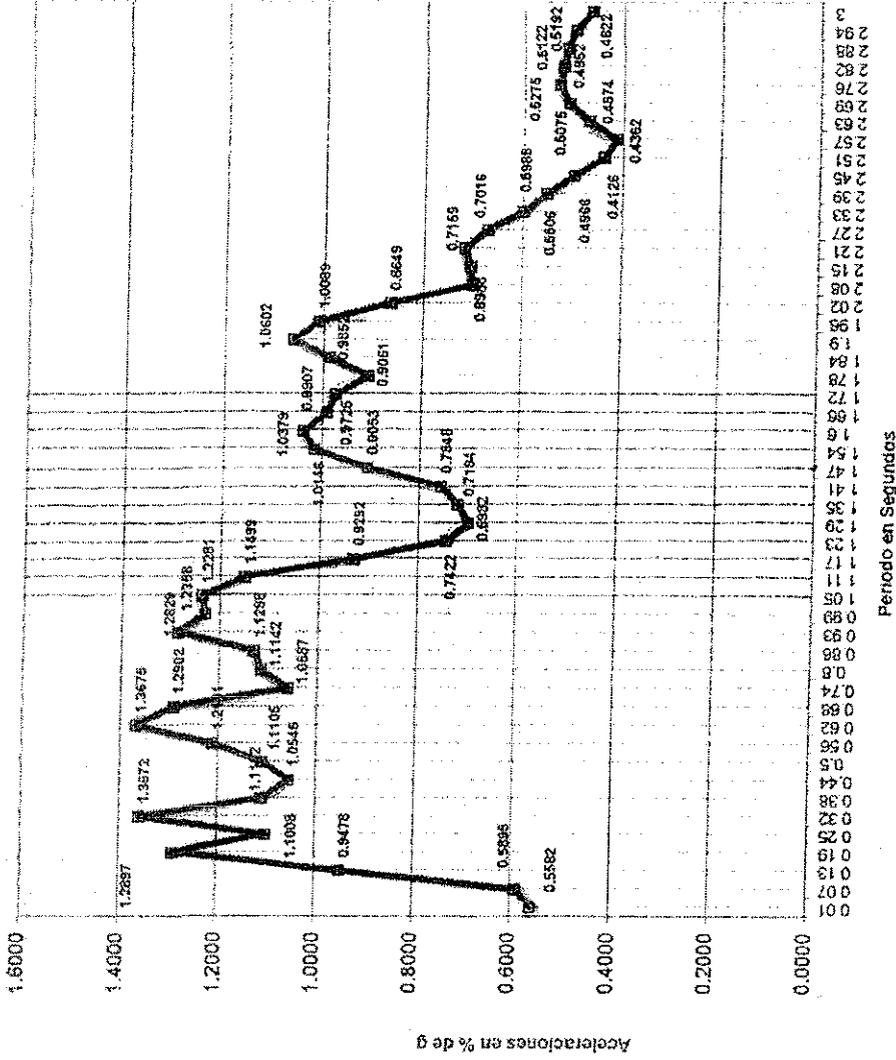
CUP49412NS



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

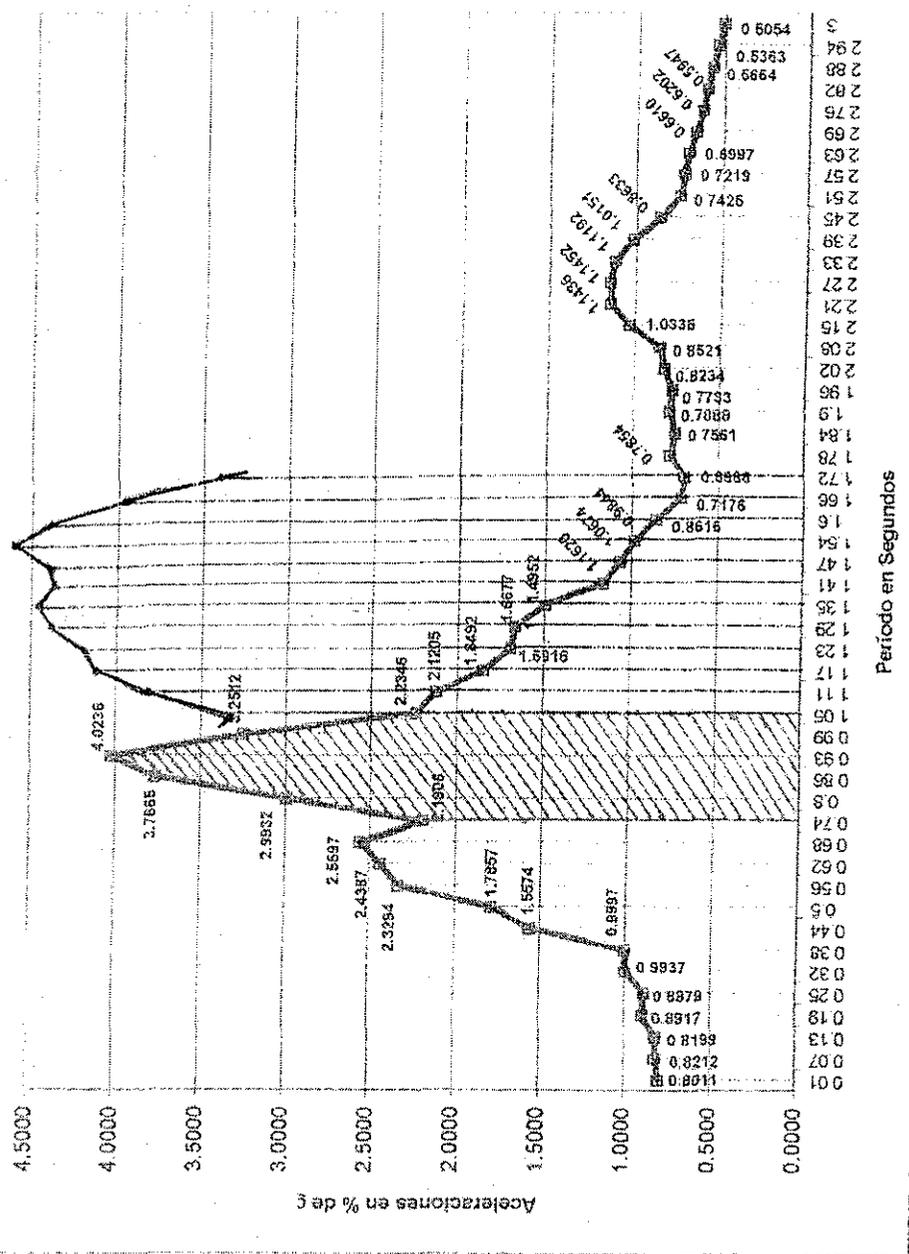
Espectro de Respuesta

CUP49412EW

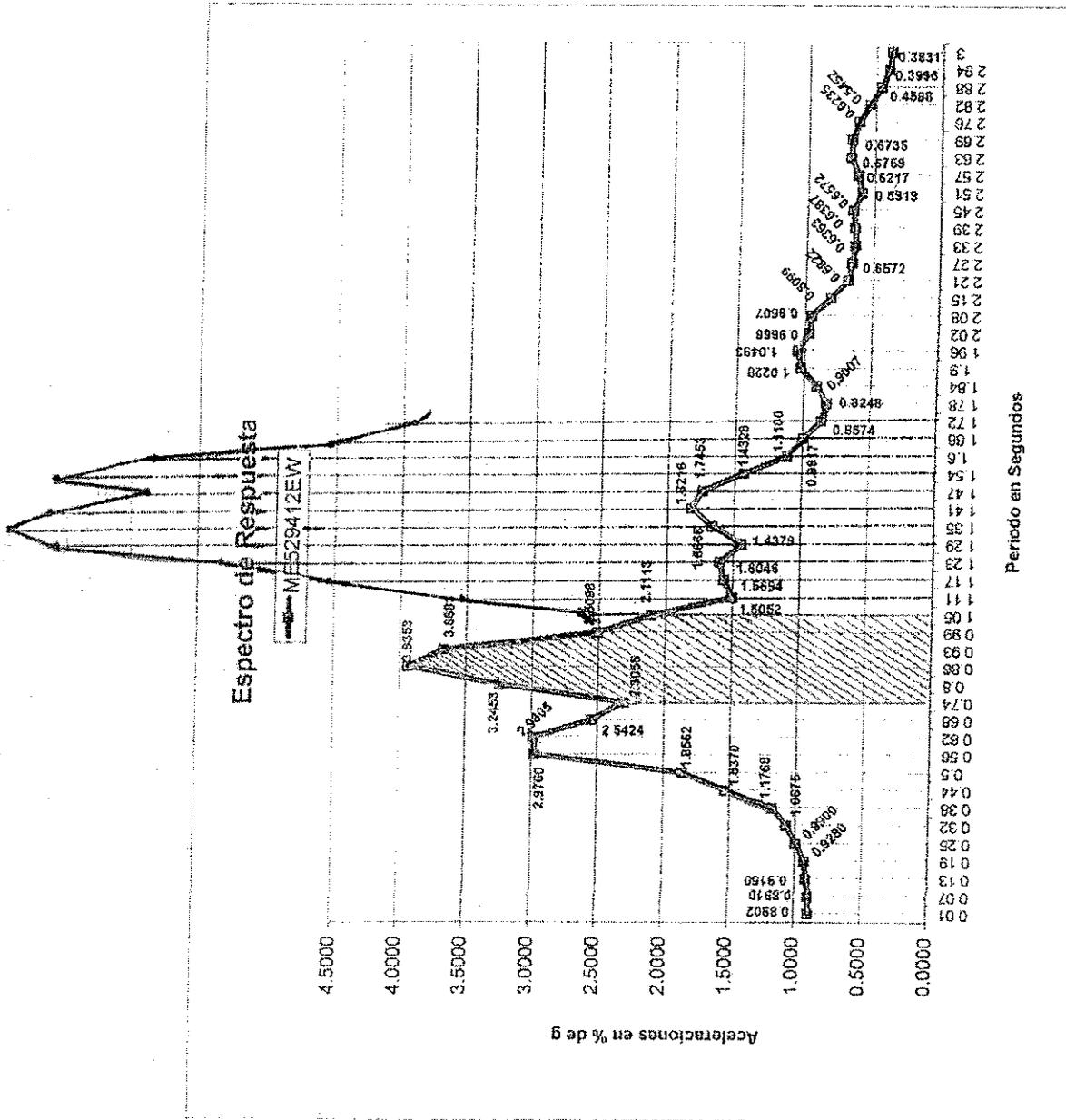


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Espectro de Respuesta**  
 MIE529412NS

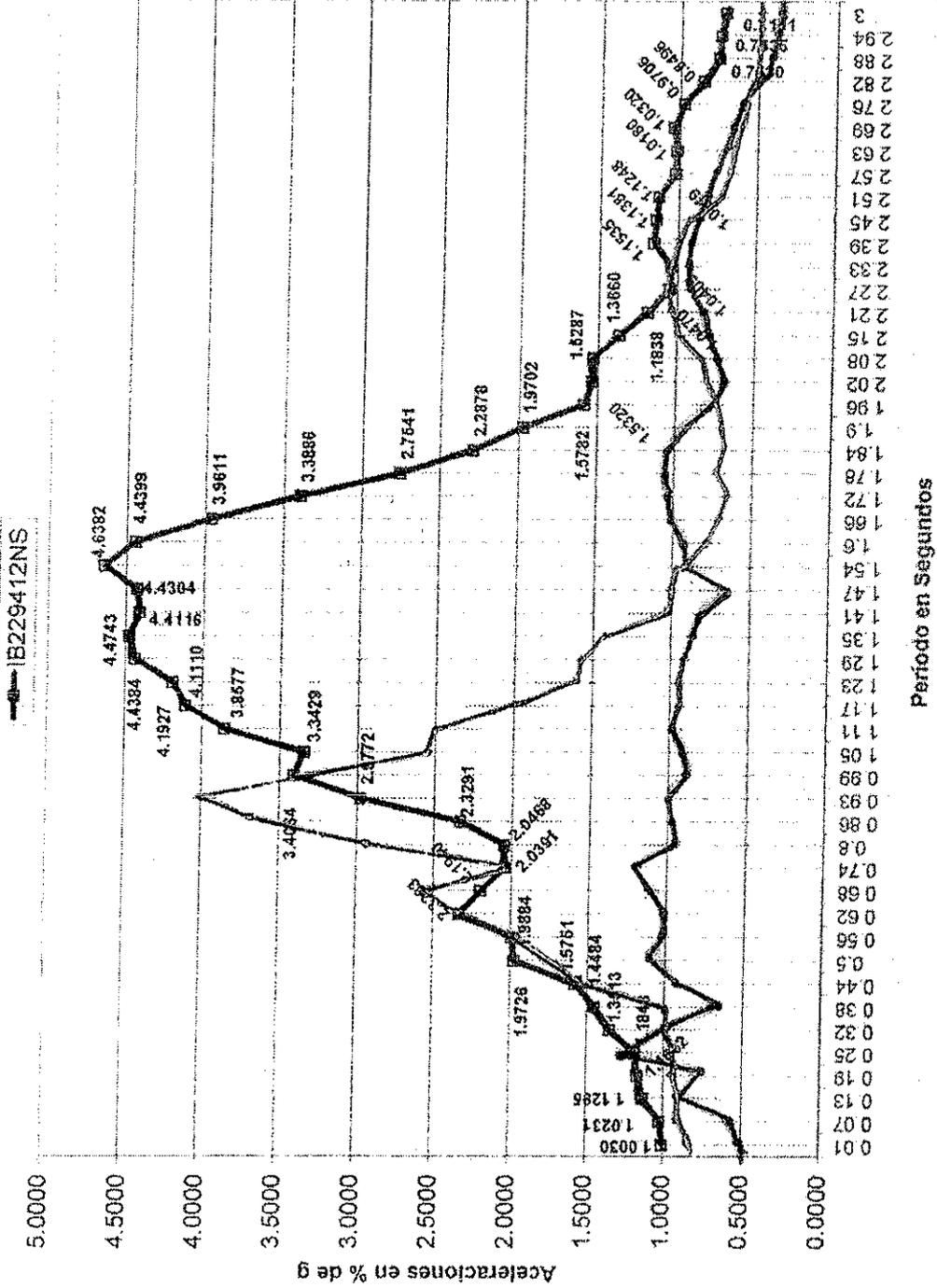


**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



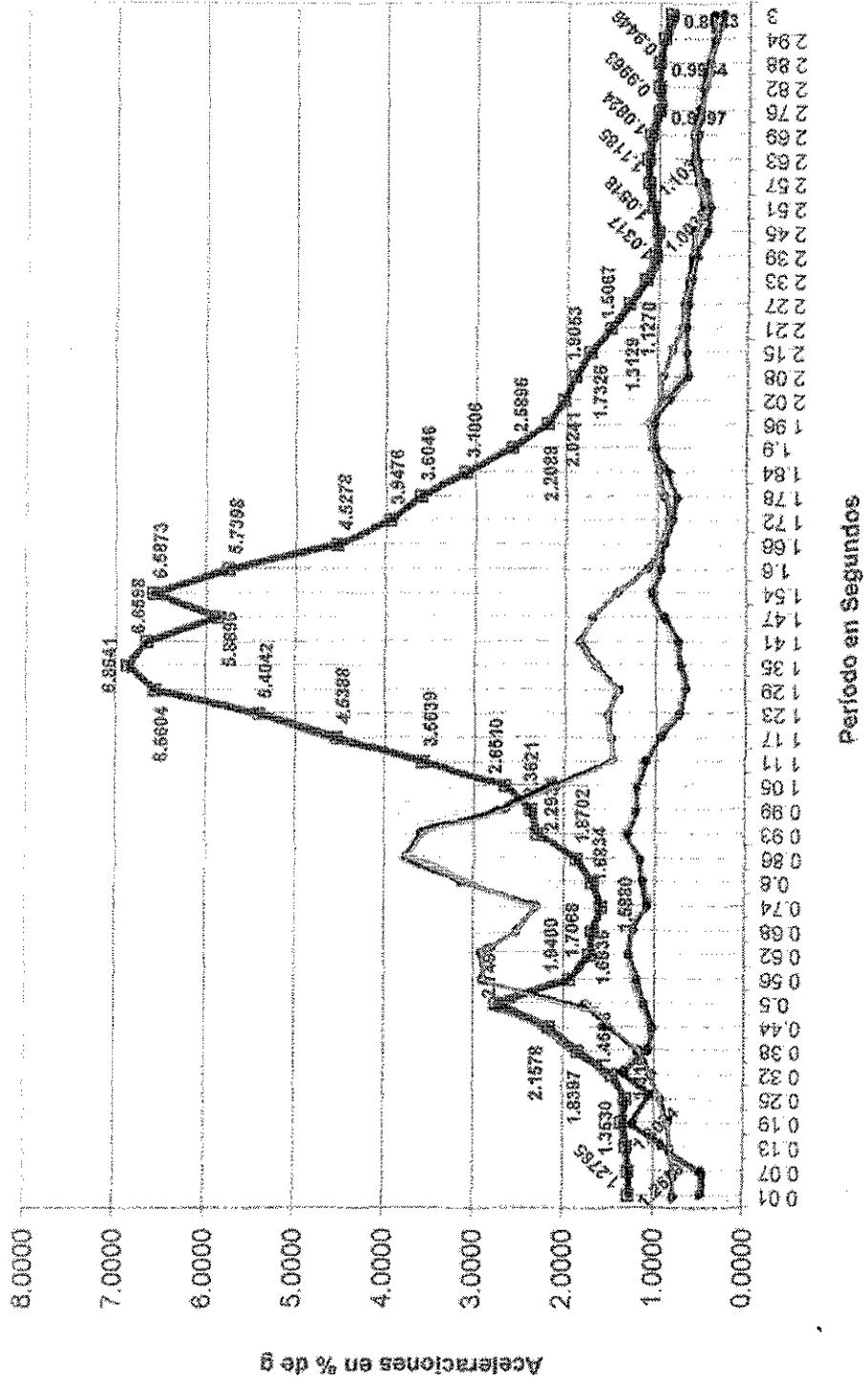
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

# Espectro de Respuesta



# Espectro de Respuesta

IB229412EW



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Capítulo VI. Análisis de la calle de Paseo del Río.

### 6.1 Perfil de los edificios ubicados en la calle de Paseo del Río en el tramo comprendido entre la calle de Paseo de los Jardines y Paseo Nuevo, ubicado en la colonia Paseos de Taxqueña.

La mayor parte de los edificios en la actualidad se diseñan para resistir fuerzas sísmicas mucho más pequeñas a su comportamiento sísmico, por lo cual durante sismos intensos sufren deformaciones que disipan gran cantidad de energía.

La rigidez de un edificio sin importar el número de niveles es la variable principal que regula la seguridad contra la inestabilidad (Esteva, 1992)

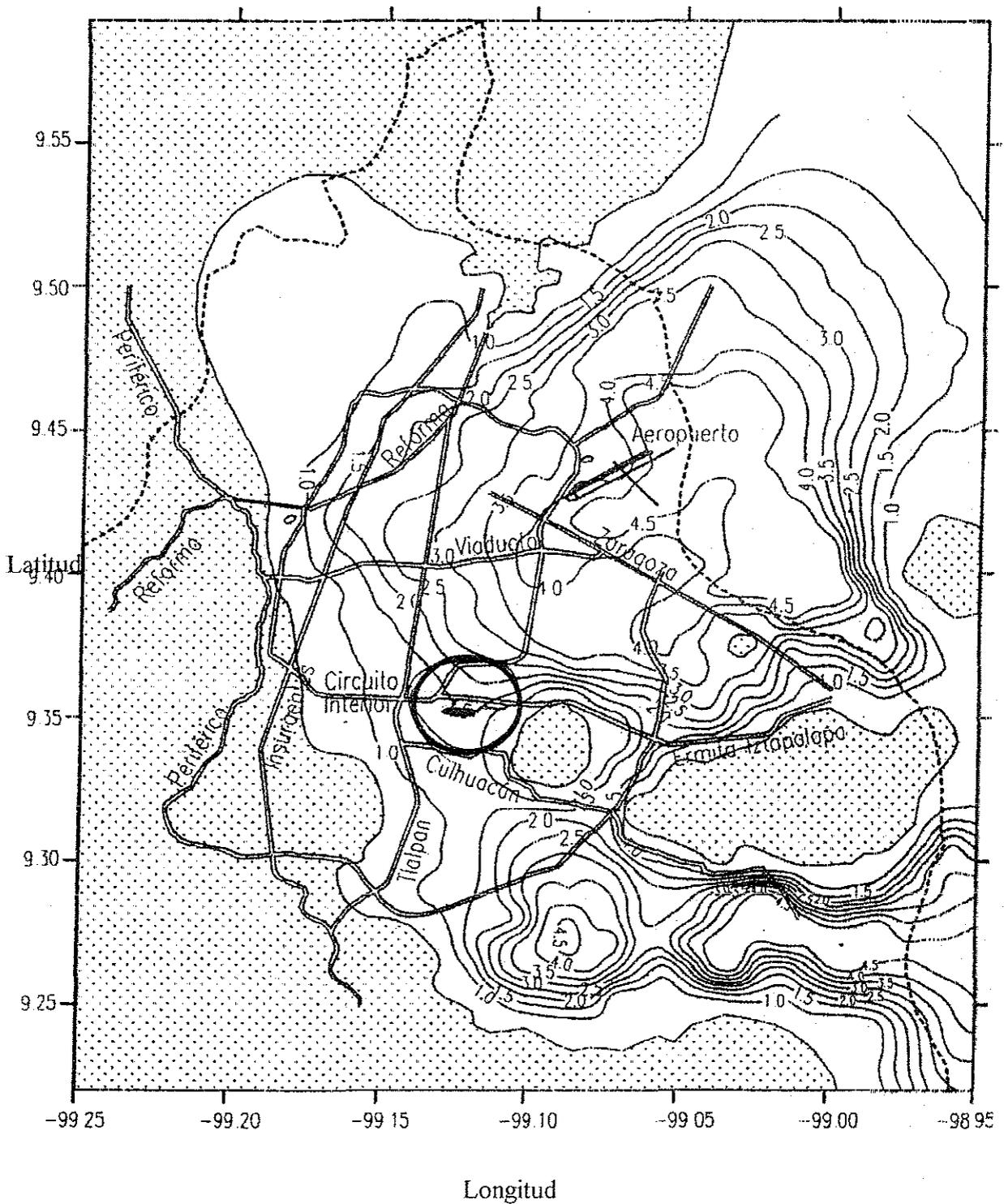
Dentro de este conjunto de edificios se encuentran una diversidad de tamaño y forma (necesidades de uso e imagen) logrando una configuración inadecuada, puesto que la función o tipo de cada edificio sea habitación unifamiliar, multifamiliar, oficinas o colegios no ha sido debidamente analizada por las autoridades correspondientes.

#### Análisis de los edificios:

- Edificio ubicado en el No. 464 de 6 pisos (planta baja y 5 niveles), su período de oscilación en caso de sismo es de  $6/11 = 0.545$  (recordando que el período es la relación del número pisos entre el coeficiente de la zona) y su uso actual es de casa habitación. La estructura está formada por columnas y muros de carga, con cimentación compensada, constando de losa de cimentación y contratrabes de concreto armado. Este inmueble presenta una falla y se puede catalogar como mínima, es decir pequeñas fisuras en aplanados y muros, que solamente requieren resanarse y aplanarse.

- Edificio ubicado en el No. 458 de 5 pisos (planta baja y 4 niveles), su período de oscilación en caso de sismo es  $5/11 = 0.454$ , y su uso actual es de casa habitación. La estructura está formada por columnas y muros de carga con cimentación compensada, con losa de cimentación y contratrabes de concreto armado. Este inmueble presenta una falla y se puede catalogar como mínima, es decir pequeñas fisuras en aplanados y muros que solamente requieren ser resanados.
- Edificios ubicados en los números 454 y 452, de 6 niveles cuyos períodos de oscilación son de 0.545 seg. Son edificios destinados a casa habitación, cuyas cimentaciones son compensadas con losa base y contratrabes de concreto armado. Estos inmuebles presentan fisuras en muros y aplanados sin importancia, los cuales deberían ser resanados para darles una buena imagen.
- Edificios ubicados en los números 448 y 444, destinados a uso habitacional de 5 niveles cuyas estructuras son a base de muros de carga y sus cimentaciones son compensadas. Tienen menos de 10 años de construidos, por lo tanto no sufrieron los sismos del año 1985. Su apariencia es buena y moderna.
- Edificio ubicado en el No. 440 de 6 niveles y de uso habitacional. Fue construido hace 8 años y no presenta ningún problema estructural visible.
- Edificios ubicados en los números 434 y 418, de 5 niveles. Son edificios destinados a casa habitación, sus estructuras son a base de muros de carga y sus cimentaciones a base de contratrabes. Construido después de los sismos de 1985, no presentan daños.

- Edificios ubicados en los números 423 y 405 de 3 niveles y en su conjunto forman un colegio de enseñanza primaria y secundaria, la estructura formada por muros de carga con cimentación de zapatas y contratrabes. Este inmueble fue reparado después de los sismos de 1985.
- Edificio ubicado en el No 413, de 3 pisos y su uso actual es de casa habitación. Con cimentación a base de zapatas corridas. Este inmueble no presenta ningún daño aparente.
- En el tramo comprendido entre Paseo Nuevo y Paseo de las Magnolias se encuentran dos terrenos baldíos donde existieron dos edificios de 9 niveles que se derrumbaron durante los sismos de 1985.
- Los edificios de 2 y 3 niveles dedicados a casa habitación ubicados entre el No. 391-A y 351-5 cuyos periodos de oscilación son de 0.180 y 0.272 seg. Respectivamente no presentan daños estructurales pero carecen de un buen mantenimiento.
- Los edificios ubicados en los números 307 y 298 de 9 niveles, presentan fuertes daños estructurales causados por los sismos de 1985, por lo que se desalojaron debido al gran riesgo que presentaban para los habitantes de estos
- De lo anterior observamos que de los inmuebles estudiados tuvieron un mejor comportamiento los que tienen un período de oscilación más corto, es decir los de 3 a 4 niveles, puesto que cuanto mayor sea el período de oscilación el riesgo es mayor ante un sismo.



○ Zona de Paseo del Río, situada en una zona que tiene un periodo (T) predominante en segundos desde 1.0 a 1.5

Fig 6 cc. Mapa de la Ciudad de México con curvas de igual periodo basado en datos de sismos y de vibración ambiental

(Reinoso Angulo, E. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica 1996)

## 6.2 Vulnerabilidad ante un sismo.

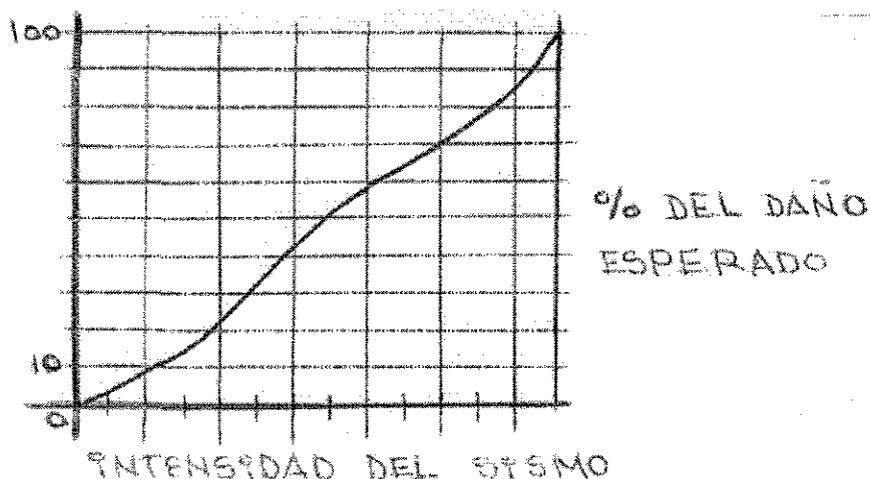
La vulnerabilidad representa las fortalezas y debilidades, en este caso de Paseo del Río, de ser afectado por agentes perturbadores, como son los sismos. Esta vulnerabilidad se define bajo dos puntos de vista básicos:

- 1) regulación y control espacial de las actividades humanas, y
- 2) dotación suficiente y adecuada de infraestructura (Flores, 1998).

La vulnerabilidad ante un sismo puede ser física, social y económica.

Físicamente, la vulnerabilidad indica el daño que puede presentar un sistema constructivo ante la presencia de un fuerte sismo, guardando la relación que entre más vulnerable sea una construcción, mayor será el daño. Para conocer el grado de vulnerabilidad de la zona en estudio es necesario seleccionar y analizar todos y cada uno de los edificios que la componen.

Hay una relación entre la intensidad del sismo y el daño esperado, que dice que entre mayor sea la intensidad del fenómeno, mayor será el daño esperado en la estructura del inmueble, aunque esta relación no necesariamente es lineal.



Si el valor de la intensidad del sismo tiende a cero, quiere decir que con ligeros movimientos el inmueble no sufrirá daños, pero al incrementarse la intensidad del sismo, el porcentaje de daños en el inmueble también aumentará. Para una cierta intensidad del sismo el porcentaje de daños alcanzará un 100%, sin importar que la intensidad del sismo se siga incrementando.

Para calcular el riesgo con respecto a su situación constructiva en una zona determinada se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{riesgo} = \text{peligro} * \text{vulnerabilidad}$$

Considerando como peligro la duración del evento sísmico, la magnitud o intensidad del mismo, la ubicación del sitio en cuestión con el epicentro del sismo, los efectos de sitio e irregularidades topográficas.

Para calcular la vulnerabilidad del lugar se toman en cuenta las características de la estructura, el tipo de construcción, el tipo de materiales, las irregularidades en la construcción, el control de calidad y errores.

Vulnerabilidad física es lo que puede sufrir un edificio ante un sismo, afirmando que para las condiciones de la zona lacustre de la Ciudad de México, las construcciones bien edificadas de uno o dos pisos soportan fuertes sismos. Las casas de gente humilde también son muy vulnerables pues no tiene protección alguna, ya que están hechas con materiales inadecuados y están colocadas en puntos donde jamás debería de haber alguna casa; como son a las orillas de los ríos o en las lomas de las montañas.

Cuando el edificio es de cuatro o cinco pisos, la situación es más delicada, pues son las construcciones que más sufren cuando su cimentación es superficial. Si el edificio es más alto de cinco niveles soporta el sismo muy bien pues su cimentación es a base de pilotes con cierta profundidad.

La calle, en este caso Paseo del Río, se constituye como uno de los elementos de análisis por ser un espacio donde se manifiestan un sin número de procesos urbanos y relaciones socio-espaciales. Al considerar esta zona y cualquier otra como una zona homogénea, tenemos el peligro de perder detalles que hacen a la zona más vulnerable que otras, sabiendo que la estructura urbana es diferente dentro de una misma calle; esta heterogeneidad produce una gran complejidad a nivel ciudad, lo que hace que sea imprescindible el estudio a nivel predio y por tramo de calle para identificar las microzonas de vulnerabilidad (Peña, 1999)

Un evento repentino, como es un sismo, desquicia la normalidad de la vida y el desenvolvimiento cotidiano de la población, pues afecta la naturaleza física del entorno y pone en peligro la vida individual y colectiva con repercusiones emocionales y sociales que pueden llegar a ser irreversibles.

El conocer la vulnerabilidad de un sitio puede evitar conflictos que desequilibren la zona y con esto se fortalecería la capacidad de recuperación de los habitantes. Los daños provocados por un movimiento sísmico no solamente dependen de la fuerza natural del evento, sino del estado de soporte físico y social. El desastre en sí es la combinación de lo físico, es decir, las amenazas del sismo y lo social, o sea, la vulnerabilidad de la gente de la zona ante dicho movimiento. Esta vulnerabilidad es la condición de la sociedad que la hace propensa a sufrir los impactos de un evento físico; por lo tanto, la raíz del problema ante un desastre se encuentra en las modalidades del desarrollo de una sociedad (Rodríguez, 1999).

Para evitar o mitigar los peligros, las acciones preventivas y de mitigación a través de la búsqueda de evidencias en el terreno y acciones de la gente son las más adecuadas, porque permiten planificar las estrategias que deben seguirse en cualquier tipo de desarrollo socio-económico futuro. Los planes deben realizarse para antes, durante y después del sismo (*Anexo 2*), o sea, son planes preventivos previos a la ocurrencia de un desastre; planes de auxilio y emergencia en el momento de éste y planes de recuperación, rehabilitación o de vuelta a la normalidad, una vez que el fenómeno haya pasado.

Se considera una fórmula de riesgo a desastre, a la probabilidad de que se manifieste una amenaza determinada sobre un sistema de vulnerabilidad dado, descontando de ello las acciones de prevención y mitigación; y ésta es:

$$\text{riesgo} = (\text{amenaza} * \text{vulnerabilidad}) - (\text{prevención} + \text{mitigación})$$

La sociedades son riesgosas a partir de que sus estructuras, tanto sociales como materiales, se encuentran localizadas en zonas de alta incidencia de ocurrencia de amenazas. Las poblaciones de estos lugares sufren daños graves en sus sistemas de vida que les impiden llevar a cabo el propósito de lo pensado con anterioridad.

Hay que prevenir los desastres con la suficiente antelación haciendo ejercicios sistemáticos y frecuentes de seguridad, ya que los efectos de un sismo serán más desastrosos en la medida de la incapacidad para afrontarlos. La preparación adecuada entre escolares, familiares y diversos grupos sociales es lo que dará mejor resultado, considerando que las personas más vulnerables son los niños menores de 14 años, la gente mayor de 65 años, mujeres gestantes y lactantes, personas en extrema pobreza y minusválidos.

Cuando ocurre un sismo el riesgo de un lugar puede convertirse en desastre si hay una concentración de personas y de bienes y, si esta concentración se da en forma desordenada (característica de las grandes ciudades), el riesgo aumenta (*Perló, 1991*).

En el aspecto económico, la gente más pobre ante un fuerte sismo pierde todo lo que tiene por falta de poder adquisitivo para poder construir adecuadamente.

Debido al crecimiento desmesurado y a la mayor densidad de los asentamientos humanos en la Ciudad de México, el impacto destructivo sobre pérdida de vidas y bienes materiales es enorme. La previsión tiene que ser con el tiempo, pues los sismos no dan aviso de cuándo van a llegar, por lo tanto es necesario desarrollar e implantar medidas para mitigar los efectos de sismos posibles en áreas con peligro sísmico. El inconveniente al respecto es que las medidas de protección y de desalojo para tratar de prevenir pérdidas humanas y propiedades son muy limitadas.

Debe ser estudiado con anticipación dónde y cuándo es apropiado un asentamiento humano; para ello hay que estimar el peligro, evaluar la vulnerabilidad y determinar los niveles de riesgo.

La Ciudad de México ha ido perdiendo belleza, pues el verdor de las plantas y el azul de las aguas han sido sustituidos por concreto, construyendo calles y edificios que impiden la filtración pluvial, sumada a la necesidad de obtener agua y ésta ser extraída de los pozos subterráneos sin medida.

Los avances en técnicas constructivas en la Ciudad de México se han hecho a un lado para obtener el mayor beneficio para las personas que se dedican a la supervisión, adquiriendo mano de obra no calificada, suelo urbano caro, y mala calidad de las edificaciones; toda la corrupción a la hora que se presenta el sismo sale a flote. A partir del desastre (evento identificable en el tiempo y en el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal con pérdida de vidas y daños de gran magnitud en sus propiedades y servicios y que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de una sociedad) causado por los temblores del año 1985, se implantaron nuevas y estrictas normas de construcción para poder soportar mejor los sismos futuros *(DNAE Oficina Nacional de Energía de Colombia, 1988. Revista de Cenapred)*.

La Ciudad de México se extiende en todos sentidos, ha invadido terrenos del exlago de Texcoco al oriente y de los exlagos de Xochimilco y Chalco al sur, al poniente ha poblado los lomeríos y al norte progresan sin parar los asentamientos humanos ya dentro del Estado de México. Marsal y Masari en 1959 en su obra "El Subsuelo de la Ciudad de México" daban una zonificación de acuerdo con las características del subsuelo al área urbana, la cual hoy ya no corresponde por el crecimiento desmesurado de ésta. En las versiones recientes del reglamento no debe existir un reglamento para cada una de las divisiones políticas que se presentan en la Cuenca de México y sus zonas conurbadas, ya que la situación del subsuelo es muy semejante.

## Conclusiones

La Ciudad de México, sometida a una constante presión por el crecimiento demográfico (ocasionado principalmente por la migración de mexicanos del resto del país en busca de mejores condiciones de vida), se encuentra amenazada por fenómenos naturales que han impactado y muchas veces herido sin misericordia a sus habitantes. Para aminorar esta situación es necesario reducir los niveles de riesgo a los que está expuesta su gente y sus patrimonios.

Así, la planeación de medidas preventivas que alerten a la población ante la presencia de un evento natural será una herramienta invaluable, ya que disminuirá en forma dramática su impacto.

En la zona de estudio que abarca este trabajo, poco interés se ha tenido en lo referente a la conservación de la integridad humana.

Es necesario dar información a su gente sobre lo que ha ocurrido y podría ocurrir ahí, y no permitir que ignoren el problema y vivan su vida simplemente como se les presenta. Hay que educarse y prepararse y así reducir la incertidumbre. El conocimiento de la naturaleza nos provee de la sabiduría que suministra un criterio capaz de comprender lo que acontece en nuestro alrededor. La observación y el razonamiento siempre han estado soportados por un espíritu crítico que juzga estas actividades para no caer en el absurdo y en lo inverificable.

La influencia de la naturaleza ha conducido al hombre a adquirir una conducta sumisa y reguladora sobre las leyes de ésta. Así el hombre, a través de sus obras, ha sido objeto de un constante aprendizaje; basando éste en métodos experimentales para resolver la seguridad de su vivienda, ante un fenómeno natural de carácter destructivo.

Toda la planicie de la cuenca de México está expuesta a un alto riesgo sísmico debido a los temblores que se originan a cientos de kilómetros de ésta (en Oaxaca y Guerrero principalmente), a las características focales de estos sismos, a la roca que modifica la trayectoria de las ondas, a la estratigrafía del suelo, a las construcciones y sus contenidos y al número de habitantes y su comportamiento. Los habitantes de la Ciudad de México deben acostumbrarse a vivir con temblores, lo cual implica un proceso de adaptación al medio y entender los fenómenos naturales que en él se presentan.

Es imperativo descentralizar al Distrito Federal y crear nuevas y mejores opciones de vida en otros estados de la República para que la gente esté dispuesta a salirse de aquí. La población en la Ciudad de México y su futuro crecimiento, hacen que la vida en ella sea muy difícil, además de que los servicios no alcanzan para todos. Un ejemplo de ello es la escasez de agua. Ésta que no se puede seguir bombeando del subsuelo a la velocidad actual ( $25 \text{ m}^3/\text{s}$  cuando la recarga es de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pues esto nos llevaría a significativos hundimientos en el futuro. Al abrirse los primeros pozos que mostraban artesianismo y que al tiempo se agotaron, fue cuando se empezaron los bombeos del agua, provocando así hundimientos por la falta de presión piezométrica del agua intersticial y causando con ello daño a una gran cantidad de estructuras en la Cuenca de México. Debido a que en México ocurre un sismo de una magnitud mayor a los 7 grados en la escala de Richter cada dos años y que en el siglo XX ocurrieron 8 sismos de magnitud igual o mayor a los 8 grados y que afectaron regiones densamente pobladas al sur del país, México tiene la necesidad de desarrollar investigaciones y observaciones sismológicas, y la obligación de proteger a su gente.

La situación es muy grave y el problema se acrecienta cada vez más por la falta de una cultura sobre la estratigrafía y zonificación del suelo.

El problema específico de los temblores en la zona de Taxqueña se acentúa por los hundimientos que ahí se suceden al estar asentada sobre un lago. El Ingeniero Luis Wintergest, Director de Protección Civil en el Distrito Federal en su *conferencia del 26 de noviembre del 2000 en el World Trade Center*, destacó el alarmante riesgo sísmico ocasionado por la aceleración y choque de las ondas sísmicas horizontales que se ven altamente incrementadas por las características del suelo de la zona y que la colocan como una de las más vulnerables junto con las zonas Centro, Roma, del Valle y Narvarte (esta situación está considerada en el reglamento de construcción del Distrito Federal).

En la actualidad el gobierno de la Ciudad de México ha marcado como una de sus metas combatir la corrupción. En nuestro caso esto ayudaría a que se respetaran al pie de la letra los reglamentos de construcción y se dejara de construir como se hacía antes de los sismos de 1985.

La gente olvida al pasar el tiempo, el efecto de los sismos. Es deseable que se hiciera una campaña más intensa para difundir los trabajos que el gobierno ha realizado y así la población esté informada y tome conciencia de lo que puede pasar antes de que se presente otro sismo de gran magnitud.

Debemos de tener presente que los edificios dañados por los sismos del año 1985 se van haciendo más vulnerables ante nuevos sismos, puesto que los desperfectos aumentan con cada evento y sus periodos de oscilación se van haciendo más largos.

Cuando observamos los daños que muestran los edificios de la calle de Paseo del Río podemos deducir las posibles causas que los provocaron.

En los edificios de dos a seis niveles que presentan daños mínimos, como fisuras en muros y aplanados, estos pudieron ser ocasionados por diferentes causas:

- a) por la mala calidad del material utilizado en su construcción, o por su mala colocación, o por ser éste incompatible con otros materiales, debiendo ser los materiales que se utilicen afines entre sí y resistentes al medio ambiente y al uso del inmueble;
- b) por el incumplimiento de las especificaciones de construcción, sobre todo durante la elaboración y colocación de los concretos utilizados, así como por la sujeción de elementos estructurales en los conjuntos constructivos.

En los edificios más altos de esta zona (nueve niveles), que fueron desalojados en su momento, se observan daños estructurales. Estos edificios presentan daños en muros, columnas, traveses y losas, que pudieron ser ocasionados, entre otras causas, por:

- a) un inadecuado diseño estructural con respecto al tipo de suelo, debido a no haberse estudiado con profundidad el suelo de la zona, causando una discordancia entre la rigidez de la estructura y lo blando del terreno. El tipo de cimentación debe estar de acuerdo al estudio estratigráfico realizado en el lugar;
- b) el no utilizar la cantidad de acero especificado variando secciones en columnas y traveses;

- c) la mala disposición de los elementos resistentes, como cambios de sección, anclajes y empalmes del acero estructural;
- d) la calidad del concreto;
- e) la mala construcción de las cimbras o el descimbrado prematuro.

Todas estas causas se deben a errores en los planos de especificaciones o por estar éstos mal detallados, o a que no se les prestó la debida atención, es decir, interpretados en forma inadecuada. A estas causas se agrega, además, la falta de una estricta supervisión durante todos los pasos de las instalaciones.

Estos edificios fueron posiblemente sometidos a fuerzas sísmicas extraordinarias, donde la resonancia, o sea el período del terreno sobrepasó o fue muy cercano al período del terreno, propiciando que las crestas y los valles de las ondas sísmicas se unieran a las crestas y a los valles de los movimientos del edificio y en ese momento surgiera una ampliación del movimiento, provocando que las vibraciones entren en armonía con el movimiento del edificio, y es ahí cuando se presenta la posible falla de la estructura de un edificio.

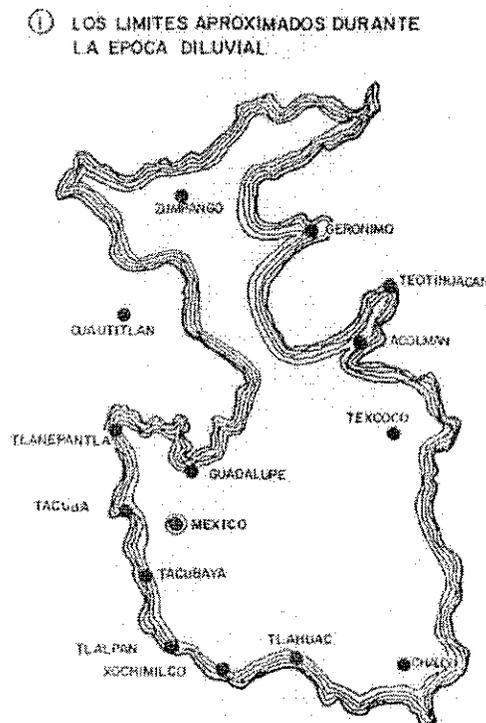
Varios edificios de 9 niveles, que son los más vulnerables, y que están desalojados desde los sismos del '85, presentan problemas de seguridad para la zona pues podrían colapsarse al presentarse otro sismo de grandes dimensiones. Sin embargo, estos no han sido demolidos por diversas razones, entre ellas está el que los dueños de los inmuebles tendrían que pagar una fuerte suma de dinero por la demolición y el retiro del material producto de ésta y no cuentan con ella. Además al demoler y retirar el material se abufaría el terreno, dañando con ello los edificios colindantes. Esto no puede continuar así.

Debido a los sismos del '85 se agregaron al reglamento de construcción del Distrito Federal una serie de normas de emergencia en materia de construcción, mismas que deben ser aplicadas al diseño y construcción de trabajos de refuerzo o reparación de los inmuebles, así como a las nuevas construcciones, aunque cabe anotar que es casi imposible diseñar en todos sentidos un edificio o estructura ciento por ciento segura ante la presencia de un sismo. Cualquier construcción debe garantizar las mejores condiciones de habitación, funcionalidad, higiene, ambientación, seguro estructural, comunicación y seguridad de emergencia.

## Anexo A 1 Transformación del Lago de la Cuenca de México.

En el año 1325, los aztecas fundaron la ciudad México – Tenochtitlán en un islote sobre un lago; el agua fue su gran aliada, la ciudad fue ganando espacio al lago mediante el sistema de chinampas (tierra artificial flotante). Se fue desecando el lago sin ninguna relación armónica con los demás lagos y pronto iniciaron las obras de drenaje. León Battista Alberti revive lo que Marco Vitruvio (arquitecto romano del siglo I a.C.) advierte en su libro 1° (de diez): que el sitio menos apropiado para cualquier construcción es el que está escondido en el centro de un valle, pues inevitablemente sufrirá de ruinosos torrentes de lluvia y devastadoras inundaciones.

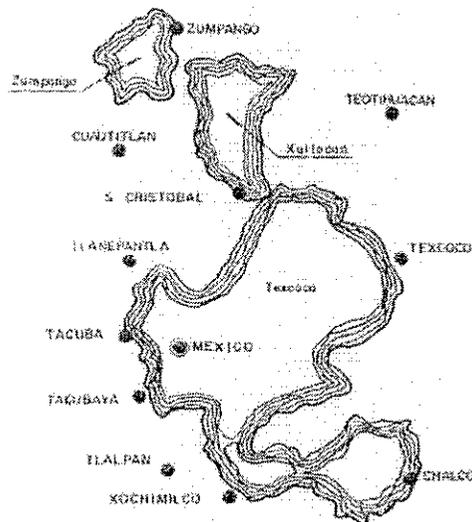
Al analizar la secuencia del desarrollo de los lagos se puede apreciar como en la época diluvial los límites del único lago que existía en la Ciudad de México eran enormes, desde Zumpango en el norte hasta Chalco en el sur.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este gran lago, al iniciarse el siglo XVI, se fue subdividiendo con el asentamiento de arenas y arcillas de origen volcánico que fueron transportadas por el viento y por las corrientes de los lagos hacia las aguas tranquilas y, conforme se fueron depositando los materiales, se definieron los diferentes horizontes estratigráficos predominando las arcillas lacustres de alta compresibilidad y baja resistencia al corte. En ese siglo existían el lago de Zumpango, el de Xaltocan y el gran lago de Texcoco unido por un canal al lago de Chalco. Este proceso de subdivisión continuó por siglos, los asentamientos humanos poblaron paulatinamente todos los espacios terrestres y aún los acuíferos los desecaron para habitar cerca de la muy noble y leal Ciudad de México.

② AL COMIENZO DEL SIGLO XVI



*Secuencia del desarrollo de los lagos (Del Castillo, 1988)*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Al iniciarse el siglo XIX los lagos habían disminuido considerablemente su tamaño contando con los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco y Xochimilco, Tláhuac y Chalco. Durante su viaje al Reino de la Nueva España, Alexander Von Humboldt dijo que las obras hidráulicas de la Cuenca de México veían al agua como un enemigo (Rosas, 1998).

En 1865, se construye el Gran Canal y el túnel de Tequisquiác, además se repara el dique de San Cristobal y se realiza la construcción del dique de Culhuacán para separar los lagos de Xochimilco y Chalco. En 1878, se abrió el tramo del canal de Chalco a San Isidro. La navegación en los canales buscaba la recreación de la sociedad y el comercio.

③ AL COMIENZO DEL SIGLO XIX

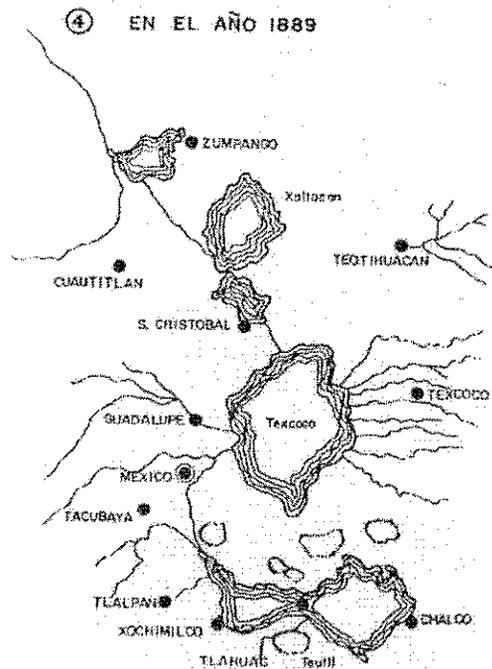


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Secuencia del desarrollo de los lagos (Del Castillo, 1988)

Canal Nacional-Canal de Chalco, tiene una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/seg., con una pendiente de 0.15 m/Km. Y con un diámetro de 3.10 m. con una longitud de 14.3 Km. Inicia en el norponiente de la laguna de San Lorenzo en Xochimilco, continúa por las márgenes del canal de Chalco hasta su afluencia con el canal Nacional, siguiendo por la Calzada de la Virgen hasta Eje 3 Oriente, donde se proyectó un ramal de 1.7 Km. hacia el sur y continua hacia el canal Nacional para descargar en Río Churubusco a través de la planta de bombeo de Miramontes. A lo largo de su recorrido, cuenta con 12 lumbreras de las cuales 5 son de captación y las restantes constructivas. El tramo comprendido de la planta de bombeo y la lumbrera 5 que es de 6.8km., recibe aportaciones del canal de Chalco y de la laguna de regulación de Iztapalapa.

En 1908, se empezó la construcción de la planta de la Condesa , alimentada por los manantiales de Xochimilco para suministrar 2.1 m<sup>3</sup>/seg. A través de una conducción de 26km. Todas las obras de desagüe construidas desde la época virreinal, colonial hasta nuestros días incluyendo Gran Canal y túnel de Tequisquiac se proyectaron para trabajar por gravedad, pero la perforación de pozos de agua aceleró el hundimiento en las arcillas compresibles en algunos puntos de la ciudad(*Perspectivas,2000*)



*Secuencia del desarrollo de los lagos (Del Castillo, 1988)*

Las grandes ciudades florecieron cerca del lago como fue en sus orígenes la Ciudad de México establecida en una rica y fértil cuenca lacustre, condición que ha cambiado por su acelerado crecimiento de la población y por el mal aprovechamiento del agua (Kalooh, 1998).

La recuperación hidrológica de la Cuenca de México sería la única posibilidad de garantizar su futuro. La Ciudad de México tuvo un crecimiento exponencial durante la segunda mitad del siglo XX, resultado de políticas centralistas haciendo una ciudad producto más de su historia que de su geografía (Kalooh, 1998).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Ya en el siglo XX las construcciones se hicieron sobre el lago y la zona de Taxqueña que era zona de cultivo con suelo lodoso, hacia los años cincuentas se transformó, pavimentándose las calles e incrementándose la construcción.

## **Anexo A.2 Acciones a seguir en caso de sismos.**

Se observa que en la calle de Paseos del Río hay una escuela con nivel primaria, secundaria y preparatoria, en donde periódicamente se llevan acabo simulacros (a partir de 1985) para poder entrenar a los alumnos en lo que se debe hacer en caso de presentarse un sismo. Estos simulacros ayudarán, para que en caso de presentarse un sismo los alumnos sepan cómo y hacia dónde dirigirse (áreas de seguridad), y en un lapso no mayor a 35 segundos (tiempo en que colapsaría la construcción) se encuentren ellos fuera de peligro.

El establecimiento de estos simulacros, que deben de ser obligatorios, deberían ampliarse a toda la ciudadanía para saber como actuar antes, durante y después de una emergencia.

Para ello el Instituto de Geofísica de la UNAM y el Servicio Sismológico Nacional han realizado una guía, en donde se describen las acciones a seguir en caso de sismos.

Antes:

- 1) Platique en el hogar acerca de los sismos y otros desastres y formule un plan de protección civil.
- 2) Participe y organice programas de preparación para futuros sismos que incluyan simulacros de evacuación.
- 3) Cumpla las normas de construcción y uso de suelo.
- 4) Recorra a especialistas de construcción para construir y reparar su vivienda.
- 5) Ubique y revise que estén en buen estado las instalaciones de gas, agua y sistema eléctrico.

- 6) Fije a la pared repisas, cuadros, estantes, espejos y libreros. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de estos y además asegure al techo las lámparas y candiles.
- 7) Tenga a la mano números telefónicos de emergencia, un botiquín, un radio portátil y una lámpara de pilas.
- 8) Porte siempre una identificación.

Durante:

- 1) Conserve la calma y tranquilice a las personas de su alrededor.
- 2) Salga del inmueble inmediatamente con orden y recuerde no grite, no corra y no empuje.
- 3) No utilice los elevadores.
- 4) Aléjese de vitrinas, libreros u otros muebles que puedan deslizarse o caerse, así como de ventanas, espejos y tragaluces.
- 5) Si está lejos de una salida ubíquese debajo de una mesa o escritorio resistente cubriéndose la cabeza con las manos y júntela a sus rodillas o también colóquese junto a una esquina, columna o bajo el marco de una puerta.

Después:

- 1) Efectúe el verificar los posibles daños de su casa.
- 2) Salirse del inmueble si hay daños visibles.
- 3) No encienda cerillos, velas o aparatos eléctricos, hasta asegurarse de que no haya fuga de gas. Si la hay repórtela inmediatamente.
- 4) Compruebe si hay incendio y repórtelo.
- 5) Verifique si hay lesionados y busque ayuda médica.
- 6) Evite pisar o tocar cualquier cable suelto.
- 7) Limpie líquidos derramados como medicinas o materiales tóxicos, no coma ni beba de recipientes abiertos que hayan estado en contacto con vidrios rotos.

- 8) No use el teléfono excepto para llamadas de emergencia, encienda la radio para obtener información.
- 9) Esté preparado para una posible réplica del sismo.
- 10) No propague rumores.
- 11) Aléjese de edificios dañados.
- 12) En caso de quedar atrapado conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.

Estas guías han dado gran resultado en otros países, por ejemplo en Japón donde hasta los más pequeños las conocen a la vez que empiezan sus estudios en párvulos.

Los sismos seguirán sacudiendo a esta ciudad, así que es necesario difundir el conocimiento científico sobre las causas y origen para que la gente comprenda por qué sucede este fenómeno de la naturaleza.

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C. (CIRES) de la Fundación Barros Sierra, opera el Sistema de Alerta Sísmica de la ciudad de México, (SAS) desde agosto del año 1991. Éste emite una señal de alerta en caso de que ocurra un sismo fuerte en la costa de Guerrero, la que prevee a la población 60 segundos antes del evento, emite información para la mitigación de desastres a base de los medios de comunicación.

El SAS ha registrado 812 acelerogramas y emitido 51 avisos de alerta, resultado de 94 sismos.

## Referencias Bibliográficas

Aguirre G., Manuel y Sánchez R., Roberto. "Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica". Revista de Construcción y Tecnología. Vol. 1. No. 10. 1998.

Arnal S., Luis y Betancourt S., Max "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto" Ed. Trillas. 1998.

Arnal S., Luis y Betancourt S., Max "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" Ed. Trillas. 1998.

Arnold Christopher y Reitherman Roberto. "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios" Ed. Limusa. España 1987.

Arteaga, Julio. "Resumen de las principales modificaciones al Reglamento de Construcciones para el D.F." Revista Construcción y Tecnología. Junio. 1988.

Autores Varios "Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra" México 1991.

Barraza Safa, Patricia. "Vecinos y vecindarios de la Cd. de México (Estudios sobre las construcciones de las identidades vecinales de Coyoacán en el D.F.)" Porrúa. México 1981.

Bolt, Bruce A. "Terremotos" Editorial Reverté Ciencia y Sociedad, México 1990.

Boundaries "Seismic Caps and Tectonics, Seismic Potencial". Actividad sísmica en la República Mexicana. 1979.

Boundaries "Seismicity of the Earth and Associated Fenomena". 1954.

Botero Palacio, Juan C. y Muria Vita, David. "Interacción subsuelo estructura considerando la flexibilidad del suelo y el desprendimiento parcial de la cimentación". Revista Ingeniería Sísmica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. Enero – junio. 2000.

Camba Castañeda, J. Luis et al. "Criterios de diseño sísmico en la Ciudad de México, se impone un cambio". Revista IMCYC. Vol. 24. No. 184. Septiembre. 1986.

Canby Thomas Y. "Earthquake, prelude to thee Big One". Official Journal of the National Geographic Society, Washington, D.C. Vol. 177. May 1990.

Carley Gene, W. "A consecuencia de los sismos". Revista Concreto Internacional. Design and Construction. Vol. 8. No. 1. México. 1986.

Carrillo, Nabor. "El hundimiento del a Ciudad de México Proyecto Texcoco". Secretaria de Hacienda y Crédito Público. NAFINSA 1981.

Centro Nacional de Prevención de Desastres Cenapred "Prevención Organo Informativo del Sistema Nacional de Protección Civil." México 1990.

Centro de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos. "Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo"

Cima Lomntiz. "Ondas Sísmicas: propagación y efectos". Capítulo IV, Ciencias de la Tierra. Ediciones Científicas Universitarias. Fondo de Cultura Económica. México 1994.

Colegio de Arquitectos de México A.C. "Testimonio Renovación habitacional popular" México 1987.

Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. "Perspectivas en la Consultoría" México. Diciembre 2000.

Contreras Vázquez, Adolfo "Estudios Geofísicos del Valle de México" Comisión Federal de Electricidad. México 1988.

Cruickshank, C., I. Herrera, R., et al "Modelo de Predicción del Hundimiento del Valle de México". Estudio elaborado para el D.D.F. 1979.

De Buen, Oscar y López de Heredia. "Revista de ingeniería sísmica". Arquitectura sísmica. Enero – abril 1996.

Del Valle Calderón, Enrique. "Criterios de reparación de algunos edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México". Ejemplo de aplicación. Memorias del 7° Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Noviembre. Querétaro, México. 1987.

Del Valle Calderón, Enrique et al. "Estadísticas de los daños causados por el sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México". Memorias 5° Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. México. 1986.

Departamento del Distrito Federal Secretaria General de Obras. "Estudios sobre Sismicidad en el Valle de México" México 1990.

Departamento del Distrito Federal. "Sismos". Edición especial del Departamento. Septiembre. México. 1990.

Díaz Rodríguez, Jorge Abraham. "El impacto sísmico sobre el riesgo sísmico y seguridad estructural actual". Comportamiento dinámico de las arcillas. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. Revista de Ingeniería Sísmica. Mayo – agosto. 1992.

Difusión. "Sismos Ocurridos en el Periodo de enero a octubre de 1999" México. 1999.

Espindola M., J. y Jimenez Z.. "Terremotos y Ondas Sísmicas" Instituto de Geofísica. UNAM, 1994.

Espinosa et al. "La red de acelerógrafos de la Ciudad de México, diseñado e instalado". 1989.

Esteva, Luis. "Diseño de Estructuras". Capítulo III. México 1992.

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile y Escuela de Ingeniería y Ciencias Físicas Universidad de New Hampshire. "Sismodinámica, Revolución Internacional de Sismoingeniería y Dinámica Estructural" Vol 1 num 4 dic 1990, Vol 1 num 1 marzo 1990 y Vol 2 num 1 marzo 1991.

Figuroa Abarca, Jesús. "Sismicidad en la Cuenca del Valle de México". Instituto de Ingeniería. UNAM. Oaxaca, 1971.

Flores Peña, Sergio. "Un enfoque desde el urbanismo". Capítulo IV. Marco conceptual para la prevención de desastres en la ciudad. Los desastres de México, UNAM. 1998.

Fundación ICA, A.C. "Experiencias Derivadas de los Sismos de septiembre de 1985". Limusa 1era edición. México 1988.

Fundación ICA, A.C. "Experiencias Derivadas de los Sismos de septiembre de 1985". Limusa 1era edición. México 1989.

Fundación Javier Barros Sierra, A.C. "Informes" CIREs, A.C. México. 1990.

Gaceta Oficial del Departamento del D.F. "Normas técnicas complementarias para el diseño por sismo". Talleres Gráficos de la Nación. Noviembre. México. 1987.

García de Miranda, Enriqueta y Falcón Gyves, Zayda. "Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana". Ed. Porrúa. México 1993.

García Acosta, Virginia. y Suárez Reinoso, Gerardo. "Los sismos en la historia de México". Ediciones Científicas Universitarias. Texto científico universitario. Tomo I. Fondo de Cultura Económica. 1996.

García, Belén. "Arquitectura sísmica, Prevención y Rehabilitación". Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España. 2000.

García Pérez, Jaime y Rosenblueth, Emilio. "La zonificación sísmica, aspecto económico, pues ésa tiene costos diferentes en cada zona". Ingeniería sísmica. Mayo – agosto, septiembre – diciembre. México. 1994.

Garza Salinas, Mario y Rodríguez Vázquez, Daniel. "Los desastres en México, una perspectiva multidisciplinaria". Universidad Iberoamericana, UNAM, Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco. México. 1998.

González de León, Teodoro. et al. "La ciudad y sus lagos". Editorial Clío. 1998.

Gutenberg, B. y Richter, C.F. "Seismicity of the Earth and Associated Fenomena". Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 1954.

Haison D., Robert. "Reforzamiento de elementos de concreto en edificios". Revista IMCYC. Vol. 24. No. 184. Septiembre 1996.

Herrera González, Manuel. "Análisis de los efectos que ocasionan los sismos". Trabajo presentado para la clase de Introducción a la Ingeniería. Septiembre. 1985.

Herrera Revilla, I. y Rosenblueth, Emilio. "Response on Stratifical Soil". New Zeland. 1965.

Iglesias J., Jesús. "Zonificación sísmica de la Ciudad de México". Revista construcción y tecnología. Junio. 1988.

Industria de la Construcción, "Informaciones técnicas para la construcción". Editores Información Técnica S.A. 1973 2da edición.

Inegi, "Marco estadístico 1995 Inédito".

Lee, José Luis y Valdés Celso. "La ciudad y sus barrios". Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco. México. 1994.

Lermo – Samaniego y Chávez García, Francisco. "Resultados con registros de temblores". Mayo – agosto. México. 1995.

Leyte Guerra, Florentino. "Efecto de las cargas cíclicas en la compresibilidad de arcillas del Valle de México". UNAM, México. 1989.

Lugo, José. "La Superficie de la Tierra". Fondo de Cultura económica. 1992.

Mc. Cann, W. et al. "Seismic Caps and Plate Tectonics: Seismic Potencial for Major Boundaires". 1979.

Marcos Adrián, Ortega Guerrero. "Riesgos ecológicos y ambientales en la Cd. de México" Simposio Internacional, Cd. Universitaria, México. 2000.

Marsal J., Raúl y Mazari, Marcos. "El Subsuelo de la Ciudad de México". Facultad de Ingeniería. UNAM 1959.

Marsal J., Raúl y Mazari, Marcos. "El Subsuelo de la Ciudad de México". Parte D. Variación de las propiedades mecánicas con la profundidad. Instituto de Ingeniería. UNAM. No. 505. Mayo 1987.

Marsal J., Raúl. "Hundimiento de la Ciudad de México". Colegio Nacional. México 1992.

Medina Martínez, Francisco. "Sismicidad y Volcanismo de México". Fondo de Cultura Económica. La ciencia para todos. Tomo 151. México. 1997.

Memorias del Primer Simposium Internacional. "Los sismos y sus efectos en las ciudades." Departamento del Distrito Federal. Septiembre 8, 9, 10 y 11 de 1986. México D.F. 1986.

Mendez Pidal, Ramón. "Gran Enciclopedia del Mundo". Durvan, S.A. de Ediciones. España. 1978.

Mooser, Federico, Tamez, Enrique, et al. Serie 100 km de metro "Características Geológicas y Geotécnicas del Valle de México" Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. Secretaria General de Obras México, septiembre 1986

Muñoz, M. "La sismología en México hasta 1917" Instituto de Geología de México. 1987.

Nava, Alejandro. F. "Terremotos" Fondo de Cultura Económica. Segunda edición México. 1995.

Nava, Alejandro. F. "Terremotos" Fondo de Cultura Económica. Segunda edición México. 1998.

Newmark N., M. y Rosembueth E. "Fundamentos de Ingeniería Sísmica" Ed. Diana. 1976.

Norman B., Green. "Edificación Diseño y Construcción Sismo Resistente" Ed. Gustavo Gill S.A., Barcelona 1980.

Novo, Salvador. "Historia y Leyenda de Coyoacán" Diana. México 1995.

Olhovich V. "Curso de sismología aplicada". Ed. Reverte. 3era reimpresión. México. 1979.

Ovando Shelley, Efrain y González Valencia, Francisco. "El Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de Cimentación a cinco años del sismo" Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, 1996.

Perló Cohen, Manuel y Gelman, O. "Desastre en las grandes ciudades". Red Mexicana de Estudios Interdisciplinarios para la prevención de desastres. México. 1991.

Prevención, "Organo Informativo del Sistema Nacional de Protección Civil"  
Num 2 mayo 1992.

Publicación de las Naciones Unidas. "Reparación de Edificios Dañados por Sismos". 1980.

Quaas et al. "La red de acelerógrafos de la Ciudad de México, diseñado e instalado". 1993.

Quaas W, Robert. "Base Nacional de datos de sismos fuertes". Catálogo de estaciones acelerográficas 1960 – 1992. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C. México D.F., 1993.

Rodríguez Vangart, Frances y Garza Salinas, María. "La nación ante los desastres. Retos y oportunidades hacia el Siglo XXI". Red Mexicana de Estudios Interdisciplinarios para la prevención de desastres. México. 1998.

Rosenblueth, Emilio. "Diseño de estructuras resistentes a sismos". Revista IMCYC. México. 1992.

Rosenblueth, Emilio. y Meli, R. "El sismo del 19 de septiembre de 1985, sus efectos en la Ciudad de México". Revista IMCYC. Volumen 24. No. 184. México. 1986.

Safa Barraza, Patricia. "Vecinos y vecindarios en la Ciudad de México". Estudios sobre la construcción de las identidades vecinales en Coyoacán, D.F. Editorial Porrúa. Universidad Metropolitana Iztapalapa. México. 1998.

Santoyo V, Enrique y Ovando S., Efraim. "Catedral y Sagrario de la Ciudad de México." Corrección geométrica y endurecimiento del subsuelo. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Tgc. México 1989 – 2000 .

Secretaria General de Obras. "Estudio sobre sismicidad en e Valle de México". Departamento del Distrito Federal. México. 1988.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos “El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentación en el Área Urbana del Valle de México” Simposio 10 de marzo de 1978. México 1978.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. “El Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su Relación con la Ingeniería de Cimentaciones a 5 años del Sismo.” México 1990.

Sozen A., Mete. “Una visión preliminar del sismo del 19 de septiembre de 85 y sus implicaciones para la investigación relacionada con la seguridad pública”. Informe público presentado ante el Senado de los Estados Unidos.

Stark Feldman, Roberto. “Procedimientos para reparación de estructuras dañadas”. Seminario IMCYC sobre evaluación y reparación de estructuras de concreto dañadas por los sismos. México. 1985.

Suárez G., R. y Jimenez , Z. “Sismos de la Ciudad de México y el Terremoto del 19 de septiembre de 1985” Instituto Geofísica. UNAM, 1994.

Subcomité de Cimentaciones del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal. Normas Técnicas para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal” México Distrito Federal Abril 2000.

Suriol C., Josep., Loret M., Antoni., et al “Geotécnica Reconocimiento del Terreno”. Ediciones UPC.

Taboada, Víctor Manuel. “Degradación de la arcilla de la Ciudad de México por carga dinámica”. Tesis. México. 1989.

Tamayo, Jorge L. “Geografía Moderna de México”. Editorial Trillas. 1991.

Terán, Amador et al. "Intensidad del sismo de 1985 en la Ciudad de México".  
Revista de IMCYC. Vol. 25. México. 1987.

Tomlinson M. J. "Diseño y construcción. Principios generales del Diseño de Cimentaciones" Editorial Trillas. México 1996.

Udías, Agustín A. y Mézcua, Julio. "Fundamentos de sismología". Universidad Centroamericana José Simón Caños. UCA Editores. El Salvador, San Salvador. 1996.

"Variación geográfica de los espectros de respuesta a lo largo de la Cuenca".  
Revista sismológica de Reingeniería. Mayo - agosto. 1997.

Whitman, Robert V. y Beilak, Jacobo. "Cimentaciones". Capítulo VII. Diseño de estructuras resistentes a sismos. Instituto Mexicano del Concreto. 1992.

Wiegel, Robert L. "Earthquake Engineering" Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1970 USA.

Yamamoto, J. "Cronología de Terremotos: Historia del Miedo" Ed. Comunidad CONACYT. 1980.

Zeevaert, Leonardo. "Interacción suelo – estructura de cimentación". Editorial Limusa. México. 1988.

Zeevaert, Leonardo. "Sismo Geodinámica de la Superficie del Suelo". México. 1989.