

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

# **CURSOS ABIERTOS**

## **CURSO CA 283 ANÁLISIS DE DAÑOS A ESTRUCTURAS AFECTADAS POR SISMOS**

**Del 23 al 27 de junio del 2003**

### **APUNTES GENERALES**

**EXPOSITOR: Ing. Fernando Monroy Miranda  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO DEL 2003**

# PRÓLOGO

A raíz de un sismo es indispensable conocer el estado de seguridad estructural que guardan las construcciones, en un principio, una inspección visual y revisión rápida de la construcción puede proporcionar información de ésta que permita a los usuarios y autoridades tomar acciones concernientes a salvaguardar la integridad física de los primeros y prevenir efectos secundarios que afecten a terceros.

En este documento se pretende describir algunos de los principales elementos que intervienen en la evaluación rápida así como familiarizar, desde un punto de vista cualitativo, al lector no especializado en el campo de la ingeniería estructural con algunos de los conceptos involucrados en el comportamiento de estructuras bajo acciones sísmicas.

Una buena parte de este material se encuentra contenido en las referencias bibliográficas 8 a 10.

Se ha procurado realizar este material de una manera sencilla y resumida para que el usuario pueda familiarizarse en un tiempo relativamente corto con los conceptos y términos que aquí se incluyen.

Se recomienda que si algunos de los elementos no son descritos ampliamente se consulte la bibliografía especializada. Se supone que el usuario esta familiarizado con la nomenclatura y terminología utilizada en el Análisis y Diseño Estructural.

El autor agradece al M. en I. Octavio García Domínguez, Jefe del Departamento de Estructuras, el apoyo para el desarrollo de este tipo de actividades y por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, así como la revisión del presente material.

**FERNANDO MONROY MIRANDA**

# ÍNDICE

## TEMA I CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL VALLE DE MÉXICO

- 1.1 Introducción
- 1.2 Origen geológico del valle
- 1.3 Propiedades dinámicas de los depósitos arcillosos
- 1.4 Características del subsuelo, Zonificación
- 1.5 Cuantificación de los daños en la ciudad de México después de los sismos de septiembre de 1985.

## TEMA II TIPO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

- 2.1 Tipos de estructuras existentes

## TEMA III TIPO DE DAÑOS COMUNES A ESTRUCTURAS Y SUS POSIBLES CAUSAS

- 3.1 Tipos de daños más comunes y sus posibles causas

## TEMA IV DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACIÓN Y PROTECCIÓN A COLINDANCIAS

- 4.1 Introducción
- 4.2 Clasificación de las cimentaciones
- 4.3 Hundimientos admisibles
- 4.4 Zapatas
- 4.5 Dados y pedestales
- 4.6 Losas de cimentación
- 4.7 Pilotes y pilas
- 4.8 Aspectos constructivos de la cimentación y protección a colindancias

## TEMA V EFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS CONSTRUCCIONES

- 5.1 Introducción
- 5.2 Características dinámicas
- 5.3 Espectros de respuesta

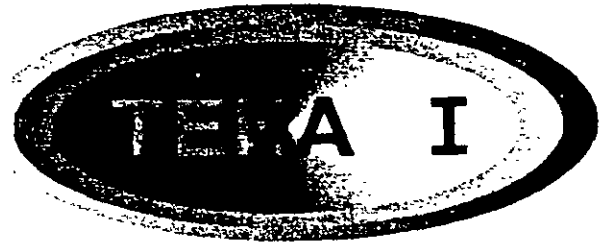
- 5.4 Criterios de diseño sísmico
- 5.5 Recomendaciones sobre estructuración

## **TEMA VI APLICACIÓN DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES EN LA PROTECCIÓN CIVIL**

## **TEMA VII NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL RCDF**

## **TEMA VIII EVALUACIÓN RÁPIDA DE INMUEBLES**

- 8.1 Introducción
- 8.2 Procedimiento de Evaluación Rápida
- 8.3 Clasificación del estado de la edificación
- 8.4 Pasos a seguir en la Evaluación Rápida
- 8.5 Equipo para la evaluación
- 8.6 Ejemplos de aplicación de la evaluación rápida



## CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL VALLE DE MÉXICO

### 1.1 Introducción.

Para entender parte del comportamiento estructural y algunos de los efectos que los sismos producen sobre las estructuras, así como otro tipo de solicitaciones, es conveniente analizar las características geotécnicas del Valle de México.

### 1.2 Origen geológico del valle.

La cuenca del Valle de México constituye un gran vaso natural azolvado (excepto por los lagos de Xochimilco y Texcoco) que se formó en diferentes etapas geológicas que van del terciario medio al cuaternario, durante las cuales se presentó una intensa actividad volcánica. (ref. 1)

En ese periodo se formaron por el norte las sierras de Tezontlalpan y de Pachuca; por el poniente las sierras de Las Cruces, de Monte Alto y Monte Bajo y de Tepetzotlán; por el oriente Calpulalpan y Nevada y finalmente por el sur, la de Chichinautzin, por lo cual se cerró el drenaje original del Valle formándose la Cuenca del Valle de México (ver figura 1.1).

Por otra parte, los ríos que descendían de las sierras hacia el fondo de la cuenca formaron abanicos de deposición de boleos, gravas y arenas, pudiéndose mencionar entre los más importantes el río Hondo, el río Mixcoac, el río Contreras, el río de Teotihuacán y el río Cuautitlán.

En las partes centrales de la cuenca alejadas de los bordes, eventualmente se depositaron materiales limo-arenosos, los cuales se inter-estratificaron y capas de cenizas y pómez provenientes de las erupciones volcánicas originadas principalmente en el sur. Debido a las lluvias abundantes se acumularon cantidades de agua importantes, que dieron origen a los lagos de Texcoco, Zumpango, Xochimilco y Chalco los cuales, durante ciertos periodos, llegaron a formar un gran lago.

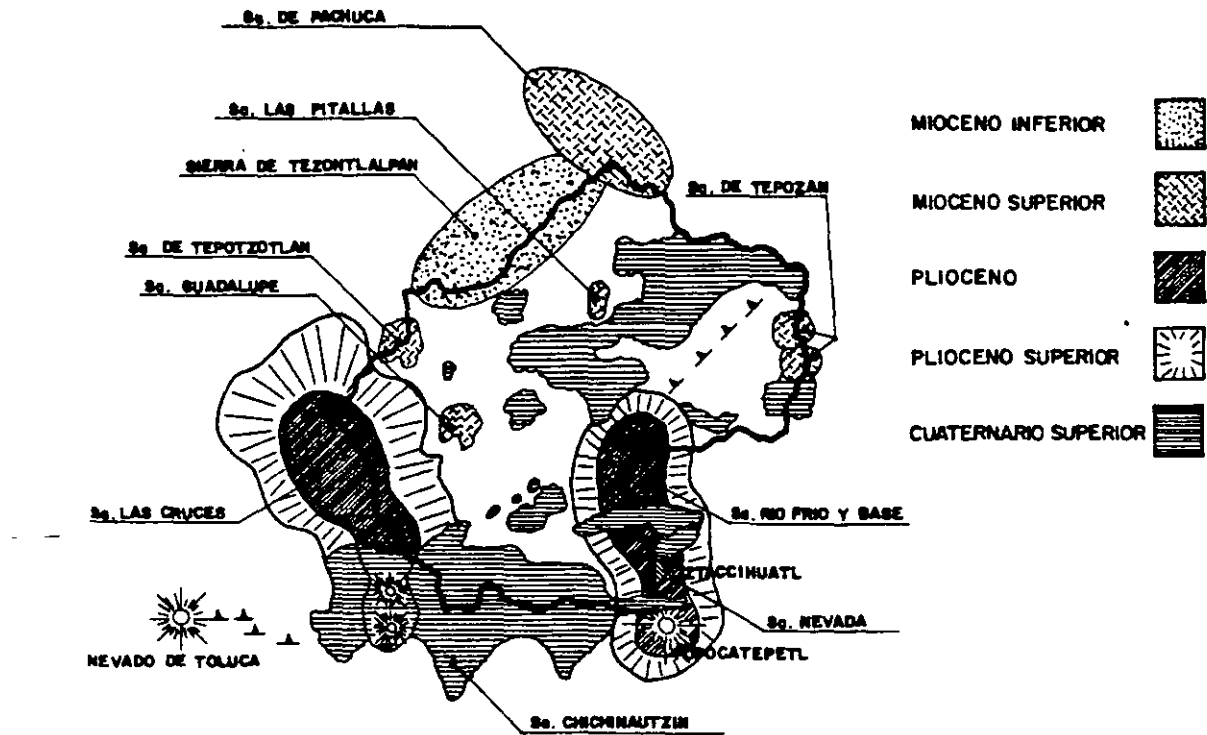


Figura 1.1 Desarrollo volcánico de la Cuenca del Valle de México (Ref. 2).

Los lagos de Xaltocan y Texcoco, formados en las partes bajas, constituyeron vasos de evaporación y por ello fueron salobres, por el contrario, los lagos que se formaron al pie de la Sierra de Chichinautzin nutridos continuamente por manantiales y, por ello, fueron de agua dulce (ref. 1).

En la época prehispánica el valle comprendía dos zonas; la del lago, en medio de la cual estaba el islote o chinampa de Tenochtitlán y, la zona de colinas vecinas o de lomas, por la parte poniente. El islote estaba conectado a las orillas por terraplenes o calzadas como la de Tlacopan al poniente y la del Tepeyac al norte; al sur, el bordo de Mexicaltzingo separaba las aguas dulces del lago de Xochimilco de las saladas del lago de Texcoco. Con base en datos históricos y sondeos recientes se ha determinado (ref. 2), que entre las amplias zonas de subsuelo lacustre correspondientes a los antiguos lagos de Texcoco y Xochimilco hay un canal de intercomunicación estrecho, de espesores de arcilla variable (ver figura 1.2).

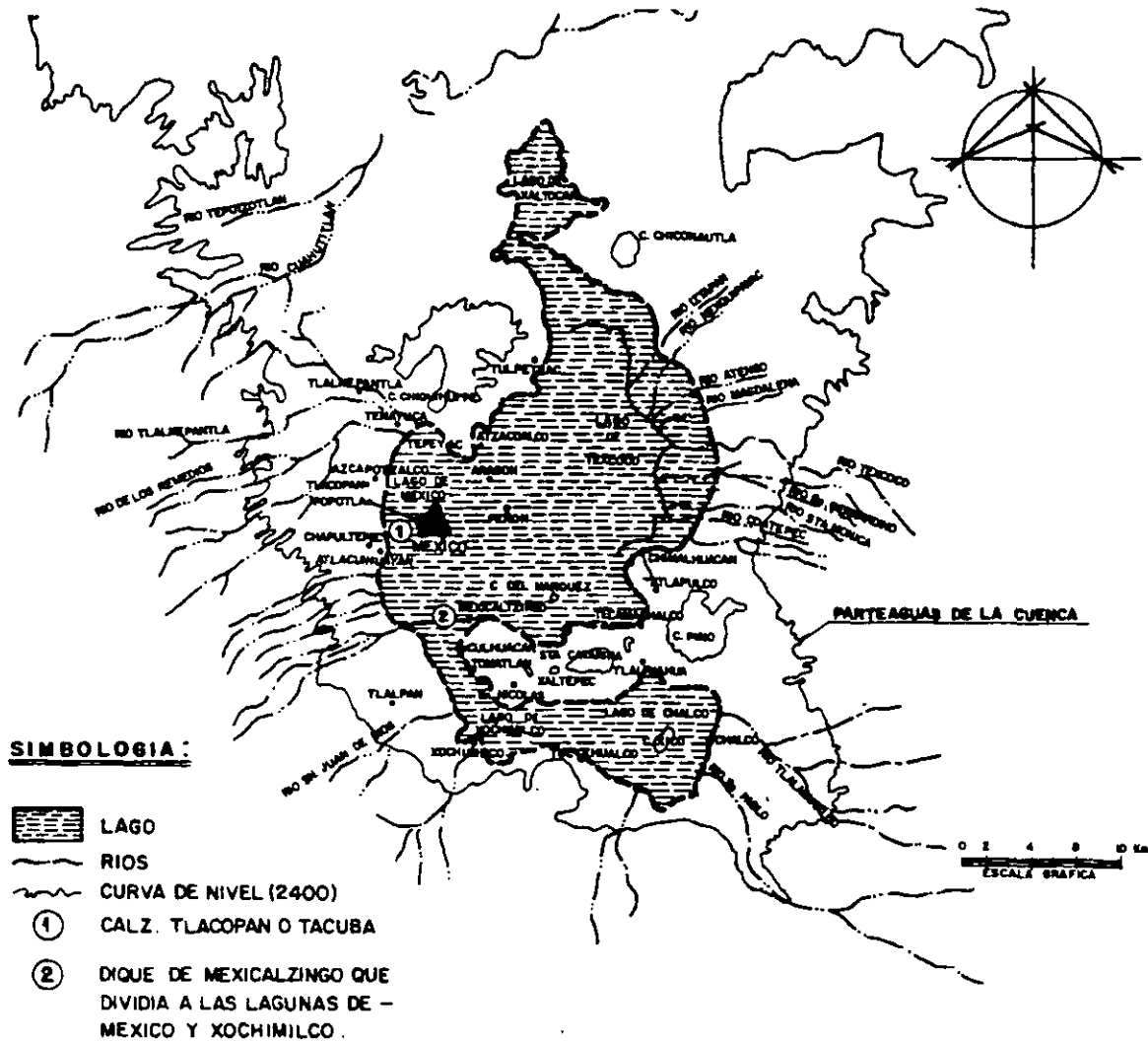


Figura 1.2. Desarrollo hidrográfico de la cuenca del Valle de México (ref. 2).

### 1.3 Propiedades dinámicas de los depósitos arcillosos.

Debido a los efectos producidos por los sismos de 1985 y su relación con las características geotécnicas del Valle, se suscitó el interés por el estudio de las propiedades dinámicas del subsuelo, incrementándose las mediciones realizadas y propiciando el desarrollo de nuevas investigaciones (ref. 3).

Los sitios que se estudiaron se localizan principalmente en el área más dañada de la ciudad, la cual se encuentra dentro de la zona de lago; adicionalmente se investigaron algunos sitios en la zona del lago de Xochimilco-Chalco, ya que se tiene poca información en esta región (ver figura 1.3).

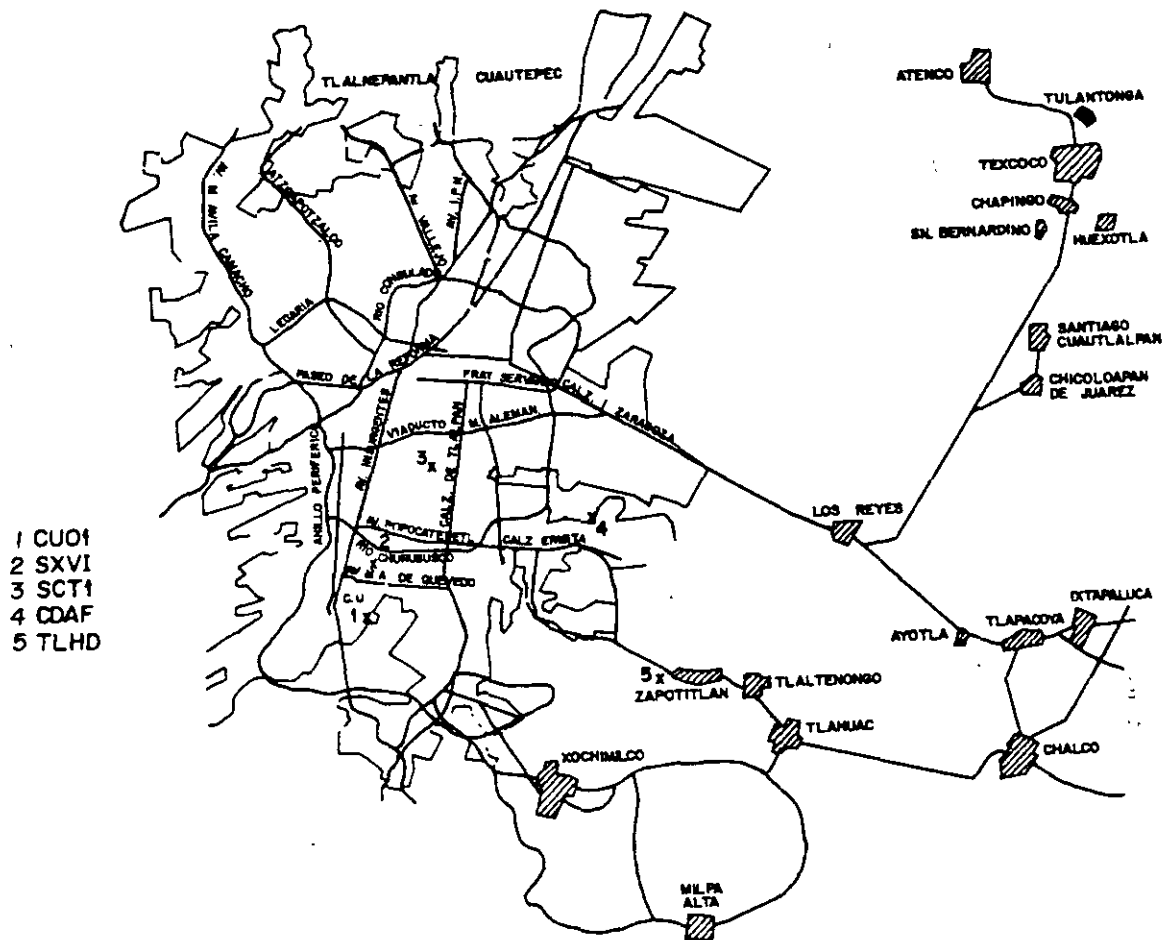


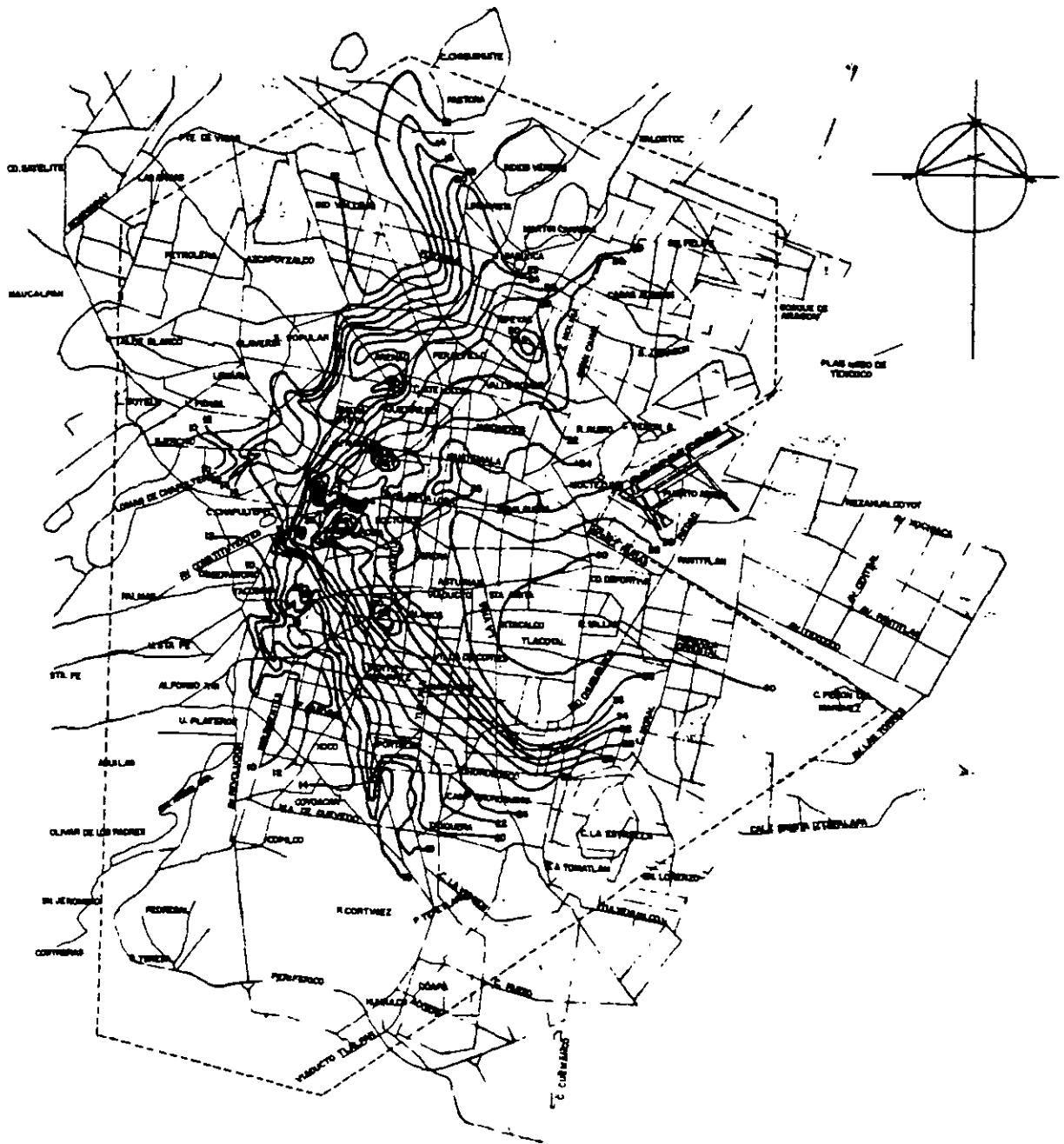
Figura 1.3. Localización de estaciones de medición.

Las mediciones efectuadas consisten en pruebas ejecutadas directamente en el campo, en las cuales se determinaron en los depósitos arcillosos las velocidades de propagación de las ondas longitudinales P y transversales o de cortante S a partir de los datos de las velocidades anteriores se calcularon el módulo dinámico de rigidez (G) la relación de Poisson ( $\nu$ ) y el módulo dinámico de elasticidad (E).

Los resultados obtenidos de las pruebas antes citadas muestran que existen diferencias en la velocidad de propagación de ondas S en los diferentes estratos que conforman la zona del lago, siendo mayor la velocidad en los sitios más preconsolidados.

Esos resultados proporcionaron datos importantes de las características dinámicas de los suelos blandos, ya que como se indicó, la parte más dañada de la ciudad durante los sismos de 1985 se encontró dentro de la zona del lago, donde los máximos daños se localizaron en una zona caracterizada porque las distancias a los depósitos profundos varía entre 30 y 40 m. (ver las figuras 1.4 a y 1.4 b).





*Figura 1.4 a. Curvas de igual profundidad de la primera capa dura (Ref. 2).*

Una aplicación de este fenómeno es que, cuando las ondas sísmicas pasan de los depósitos profundos a los estratos arcillosos, son filtradas, ocasionando que se incremente la amplitud en las vibraciones y se modifiquen los periodos dominantes de vibración los que dependen de los espesores de arcilla y de sus propiedades dinámicas. Para las profundidades en el intervalo de 30 a 40 m, el periodo de vibración de estas capas es cercano a los 2 segundos.

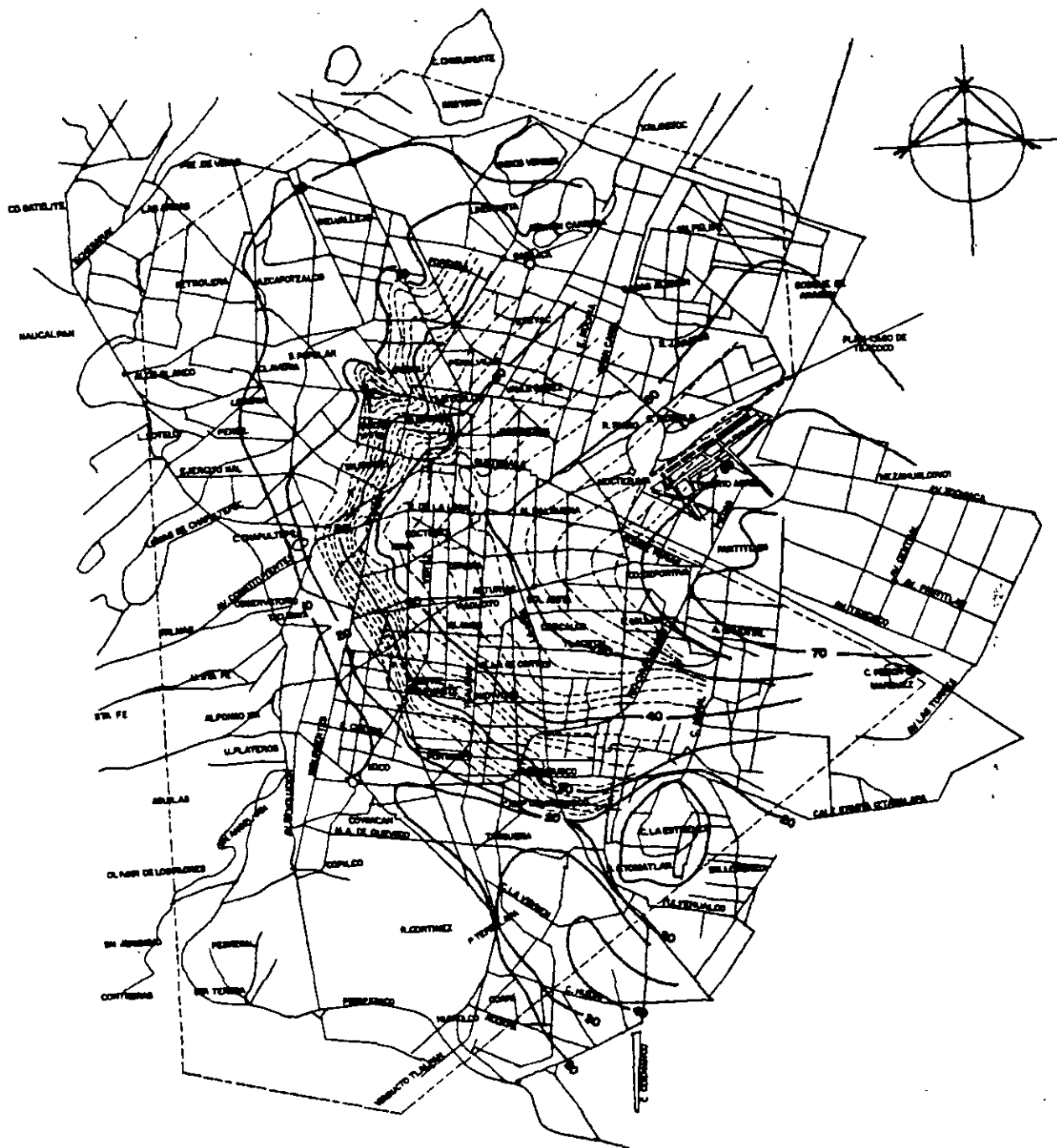


Figura 1.4 b. Curvas de igual profundidad de los depósitos profundos (ref. 2).

La coincidencia de los periodos dominantes del subsuelo y de las estructuras causa el inicio del fenómeno de resonancia (del sistema suelo-cimentación-estructura), lo que se traduce en un incremento significativo en la severidad de los movimientos a que fueron sometidas las estructuras. Si a esto se agrega que gran porcentaje de la energía contenida en el sismo del 19 de septiembre de 1985 estuvo contenida precisamente en periodos cercanos a 2 seg., se explica el por qué los edificios de 8 a 15 niveles sufrieron más que otros de alturas diferentes.

En otros sitios, principalmente hacia el oriente, donde los espesores de arcilla son superiores a 50 m. el periodo de vibración dominante del suelo aumenta a más de 3 seg. como en el registro obtenido en Central de Abastos por lo que no hubo efectos de resonancia, pues las estructuras de esa zona tienen periodos de oscilación mucho más cortos, lo que aclara por que ahí los daños fueron menores.

#### 1.4 Características del subsuelo, Zonificación.

Al paso de los años los lagos se fueron desecando y rellenando, hasta llegar a las condiciones actuales. Las figuras 1.5 a y 1.5b muestran el progreso de los lagos desde la época diluvial hasta fines del siglo pasado (ref. 2). De acuerdo a las características geotécnicas el valle de México este se ha dividido en tres zonas principales: la zona firme o de lomeríos, la de transición y la de terreno blando o de lago (ver figura 1.6), de las que se habla en los reglamentos para construcción del Distrito Federal.

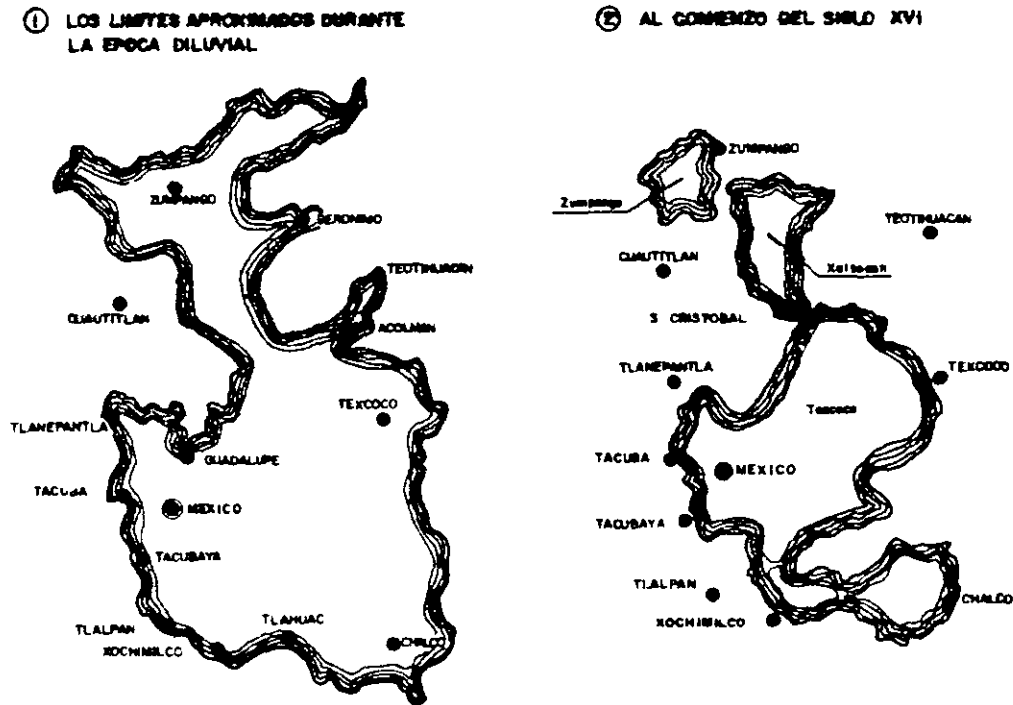
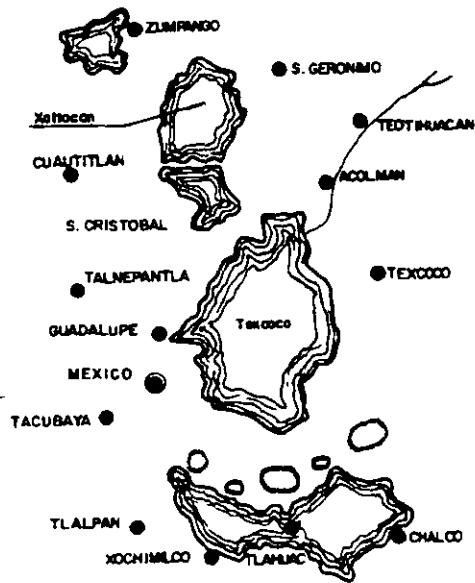


Figura 1.5 a. Secuencia del desarrollo de los lagos (ref. 2)

③ AL COMIENZO DEL SIGLO XIX



④ EN EL AÑO 1889

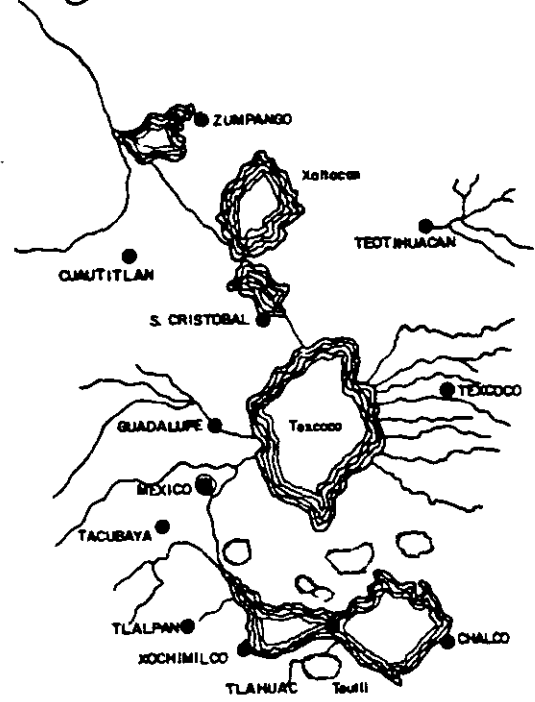


Figura 1.5 b. Secuencia del desarrollo de los lagos (ref. 2).

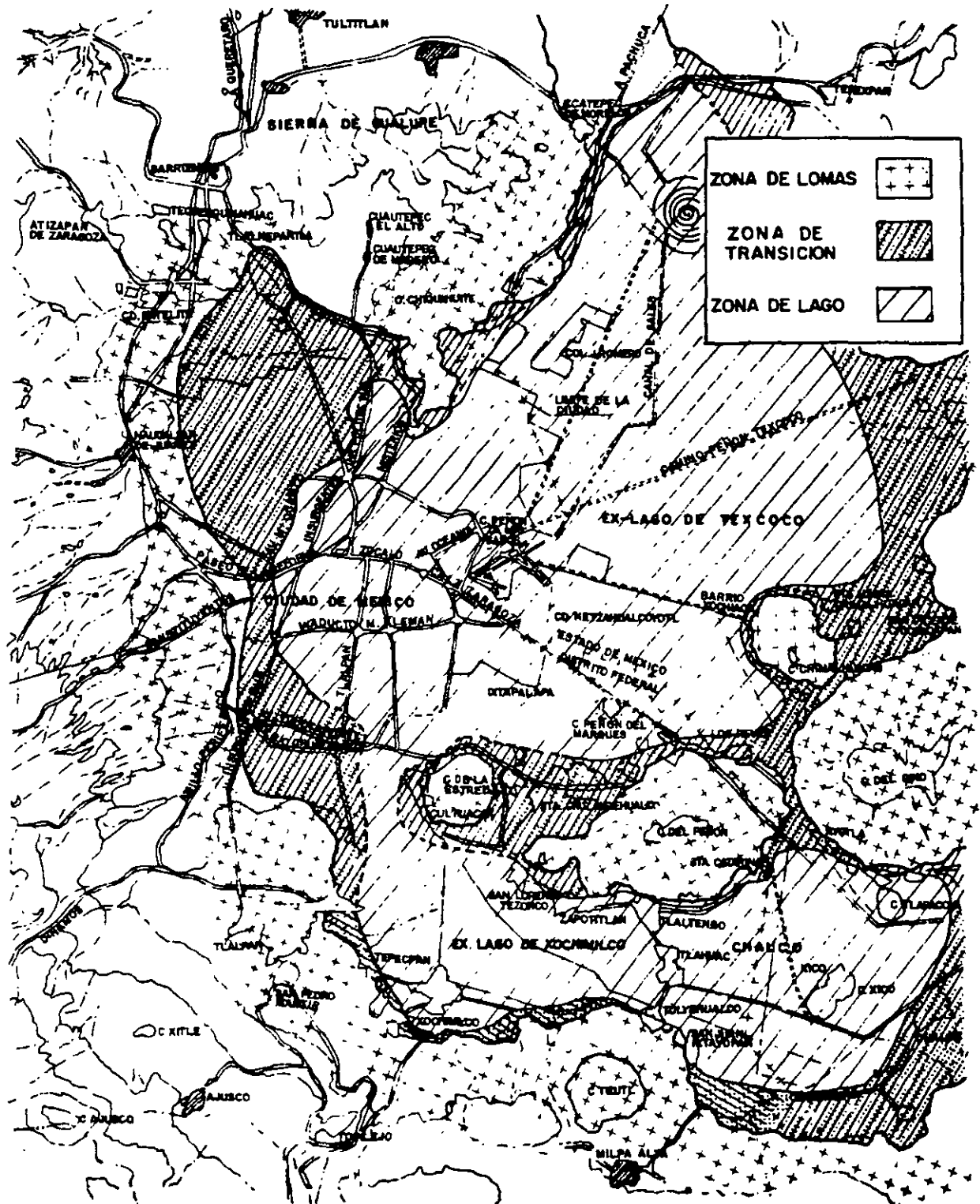


Figura 1.6. Zonificación del subsuelo del Valle de México (1993) (RCDF-93).

**Zona de lomas.**

La zona de lomas incluye las faldas de la sierra de Guadalupe, la serranía de las Cruces y adicionalmente las partes altas de los cerros del Peñón de los Baños, Peñón del Marqués y el cerro

de la Estrella. Está formada por suelos firmes areno-limosos (tepetate) y tobas compactas de alta capacidad de carga y baja deformabilidad; también se incluyen los derrames de basalto del Pedregal.

### **Zona de transición.**

Esta zona constituye el cambio, por lo general progresivo, entre los materiales que forman la zona de lomas y los existentes en la zona del lago.

Debido a las condiciones de erraticidad que presenta la estratigrafía de esta zona se han reconocido tres condiciones típicas:

- 1) Progresiva, en que la formación rocosa aparece cubierta por depósitos de origen aluvial, a su vez subyacentes a las capas más recientes de arcilla lacustre
- 2) Interestratificada, característica de regiones en que las fases aluviales y lacustres se suceden en forma alternada, dando lugar a la intercalación de mantos blandos arcillosos con otros de matriz granular contaminados por finos, generalmente duros y más resistentes y,
- 3) Abrupta, que se distingue porque los depósitos lacustres están en contacto con la formación rocosa con interfase de suelo residual.

### **Zona de lago.**

Por último, la zona de lago sobre la cual se asienta gran parte de la ciudad de México está formada por la sedimentación de arenas y arcillas (muchas de ellas de origen volcánico), las cuales fueron transportadas por el aire y las corrientes hacia las aguas tranquilas de los lagos que se originaron en la cuenca. A medida que se depositaron tales materiales se definieron las siguientes formaciones.

El primer horizonte u horizonte inferior lo constituye la formación Tarango, la cual se desarrolla a partir de los primeros depósitos aluviales (anteriores al cierre de la cuenca), e incluye el estrato de arcilla inferior y una capa de material desecado y/o compacto en su parte más superficial.

A continuación sobre dichos depósitos se encuentra la formación Tacubaya, la cual está constituida por arcilla lacustre de alta compresibilidad y baja resistencia al corte.

Y finalmente, las formaciones más recientes y en consecuencia más superficiales corresponden a la Becerra, Barrilaco y Totolcingo. De esta forma la zona lacustre se encuentra formada por los siguientes estratos:

- a) *Manto superficial*. También denominado costra superficial, está constituido por rellenos superficiales heterogéneos y depósitos areno-limosos o arcillosos los cuales se han desecado intensamente, por lo que presentan un alto grado de preconsolidación.
- b) *Formación arcillosa superior*. Constituye un estrato cuyo espesor varía entre 15 y 32m formados por arcillas blandas, saturadas y altamente compresibles que se depositaron en el ambiente lacustre del valle; se detectan, además, intercalaciones de lentes de arena de origen volcánico. Hacia su frontera inferior con la capa dura, la arcilla se encuentra preconsolidada debido a un proceso de consolidación inducido por bombeo.

- c) *Capa dura* es un estrato de aproximadamente 3.0 m de espesor, en promedio, que representa una época geológica en la cual predomina la sequía, por lo que está formada principalmente de materiales limo-arenosos y areno-limosos con intercalaciones de grava cementados con carbonato de calcio; presenta una alta resistencia debido a la alta compacidad de los materiales.
- d) *Formación arcillosa inferior*. Se encuentra constituida por arcillas volcánicas semejantes a la de la formación arcillosa superior, sujetas a un proceso de consolidación más extenso, por lo que su compresibilidad es menor presentando una mejor resistencia al esfuerzo cortante.
- e) *Depósitos profundos*. Son suelos muy compactos formados principalmente por arenas limosas con gravas, constituyendo los primeros acarreo que se depositaron en las partes más profundas de la cuenca.

Dentro de la zona de lago anteriormente descrita y con base en los sondeos efectuados en la misma se registra la presencia de niveles freáticos, que se encuentran a profundidades que varían entre 1.5 y 2.0 m; para la zona de transición la presencia de niveles freáticos es muy irregular debido a la estratigrafía tan errática, se reporta principalmente en estratos impermeables confinados como "mantos colgados". Para la zona de lomas, este nivel se encuentra muy profundo y en algunas áreas no existe.

Las figuras 1.7 a y 1.7 b muestran cortes estratigráficos en dirección Norte-Sur y Oriente-Poniente.

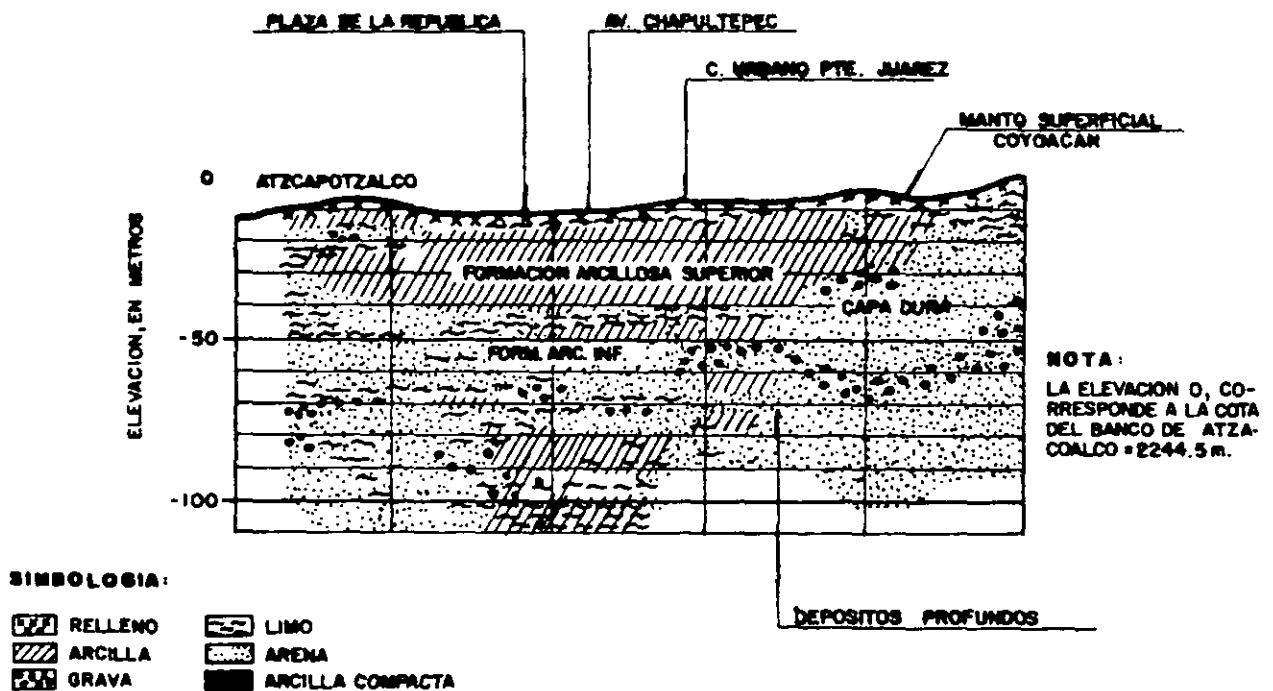


Figura 1.7 a. Corte N-S (ref. 8)

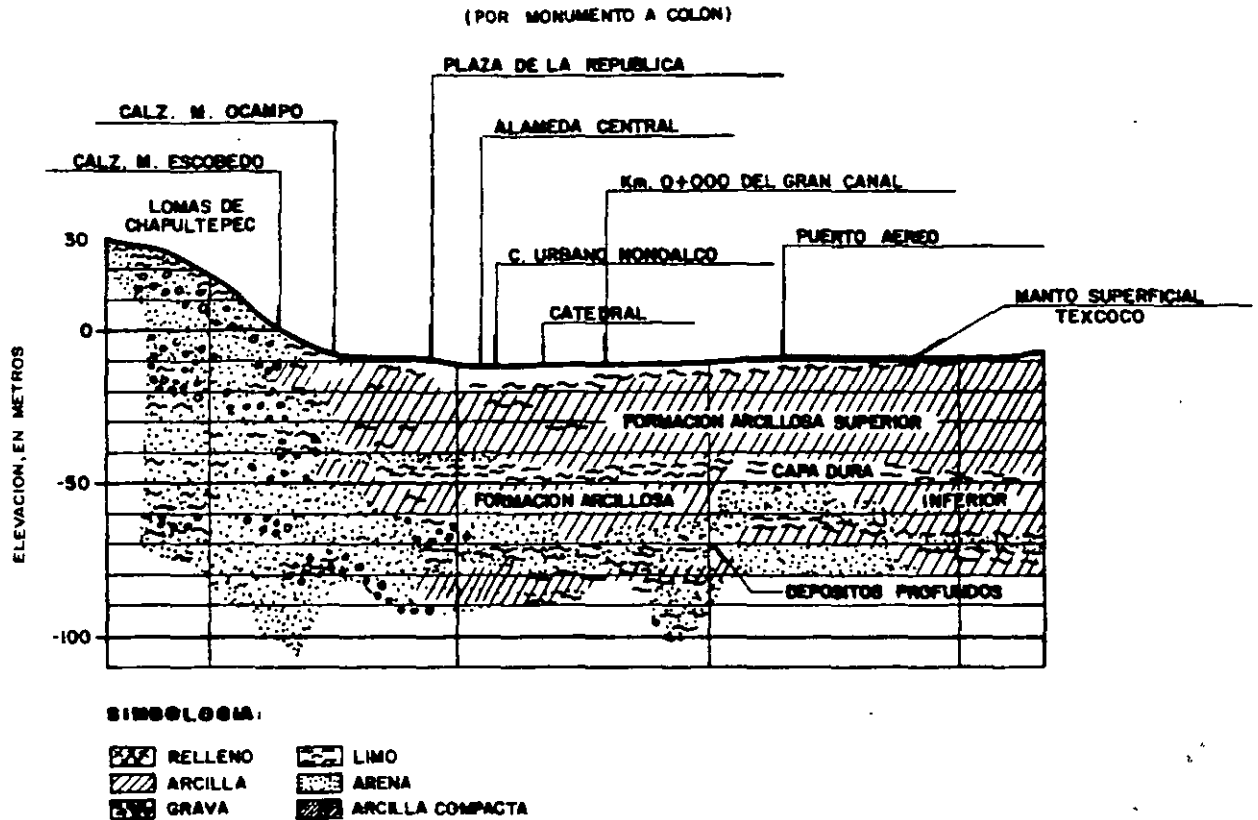


Figura 1.7 b. Corte W-E (ref. 8)

Debido a la perforación de pozos de bombeo para la extracción de agua en sitios como la zona de lago y transición, se ocasionaron importantes abatimientos de los niveles piezométricos, lo que ha propiciado el hundimiento regional del valle.

### 1.5 Cuantificación de los daños en la ciudad de México después de los sismos de septiembre de 1985.

Como ya se ha mencionado, el sismo del 19 de septiembre de 1985 y su réplica del día siguiente produjeron en la Ciudad de México, y en algunas otras poblaciones, daños muy considerables, rebasando ampliamente lo que podría considerarse como daños aceptables.

Diversos grupos realizaron investigaciones tendientes a la cuantificación de los daños en la Ciudad de México, desde distintos puntos de vista y objetivos. Desde luego, los datos obtenidos varían en función del tipo de daños que se consideró, que van desde daños menores en elementos no estructurales hasta colapso total de las construcciones.

A raíz de los sismos a que se hace mención y antes de que empezaran a retirarse los escombros, se consideró importante la determinación del número de estructuras que habían sufrido daños graves, clasificándose éstos en las siguientes categorías.

Colapso total, cuando la edificación quedó prácticamente arrasada.



Colapso parcial, en aquellos casos en que se cayeron solamente partes de las construcciones, ya sea en pisos inferiores, intermedios o superiores, quedando el resto con o sin daños mayores, pero sin colapsar.

Inseguras, cuando las estructuras, aunque no mostraban colapsos, si tenían daños graves en elementos estructurales de los que dependen su estabilidad, como columnas, muros, traveses o losas, por lo que se recomendó su evacuación hasta decidir si era necesario demolerlas completamente o podían repararse mediante una reestructuración adecuada. En algunos estudios los casos de colapso parcial y total se agruparon en una sola categoría.

Los diversos grupos decidieron participar activamente en el estudio de las consecuencias de esos sismos, para aprender más y adquirir experiencia que sirva para lograr estructuras más seguras ante este tipo de fenómenos, el Grupo ICA hizo una evaluación cuidadosa de lo ocurrido, considerando los tres niveles de daño antes citados en la zona más dañada de la ciudad, definida en la sectorización hecha por las autoridades del Departamento del Distrito Federal (ver figura 1.8), delimitada la norte por el Circuito Interior, al sur por Av. División del Norte y el eje 5 Sur (Eugenia), al oriente por Av. Circunvalación y la Calzada de la Viga y al poniente por el Circuito Interior. Estos límites engloban toda la Delegación Cuauhtémoc y parte de la Benito Juárez y cubren una superficie aproximada de 43 km<sup>2</sup>, de los 1100 km<sup>2</sup> que abarca el área metropolitana.

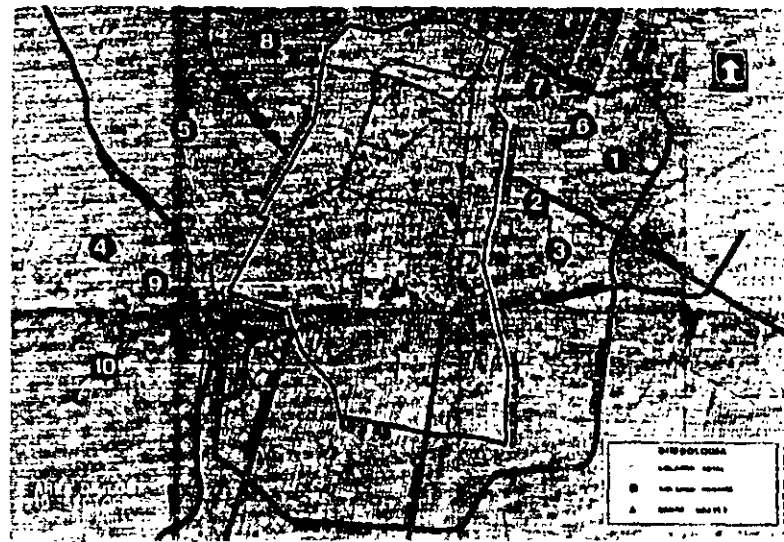
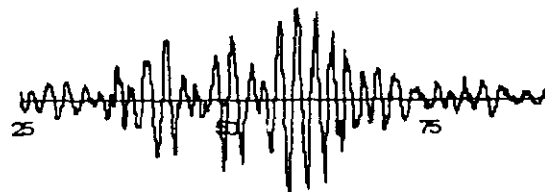


Figura 1.8. Sectorización oficial.

El censo de los edificios se realizó calle por calle pero sin entrar en ninguno de ellos, apreciando desde el exterior si el tipo de daño era el de interés para el estudio o si sólo había daños menores o no había daño aparente. Es probable que algún edificio calificado con daño menor, al estudiarlo en detalle resultara con afectaciones mayores o que alguno calificado con daños graves por falla aparatosa de elementos no estructurales, tuviera poco daño estructural; sin embargo, el número total de edificios dañados gravemente que se cita en otros estudios concuerda razonablemente con el que aquí se indica.



## TIPO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

### 2.1 Tipos de estructuras existentes.

Los sistemas estructurales más comunes en la ciudad pueden calificarse en alguno de los seis tipos siguientes (ver figura 2.1).

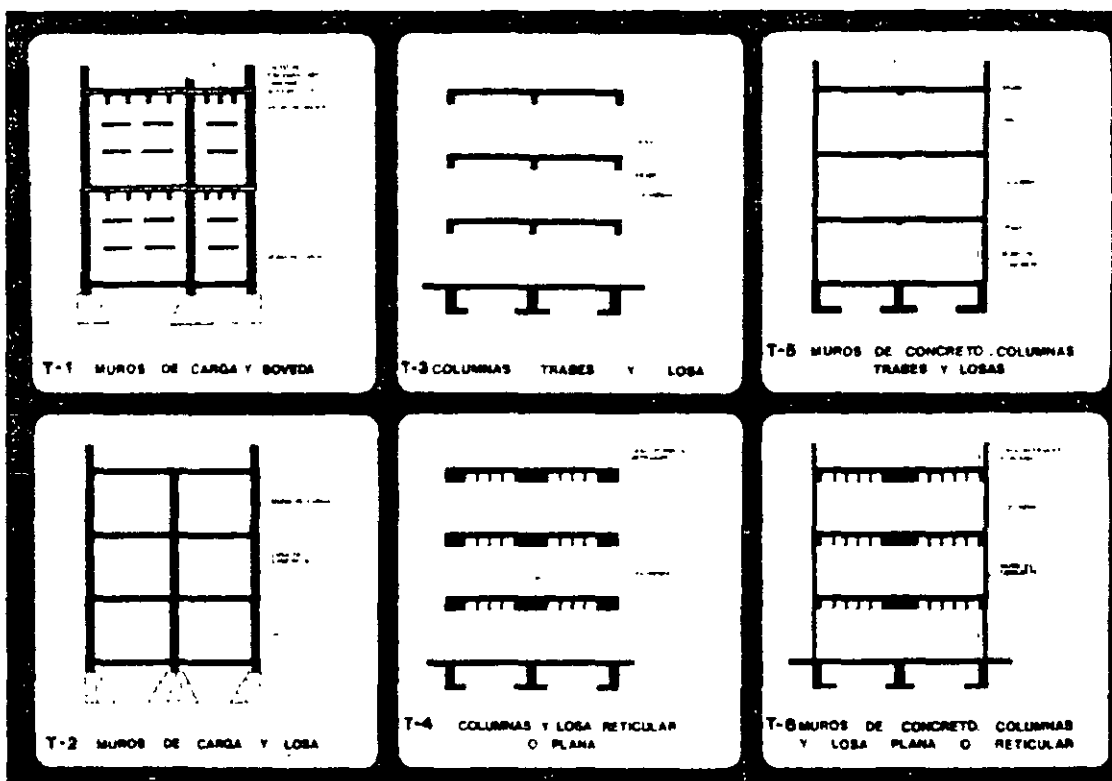


Figura 2.1. Sistemas estructurales típicos en la ciudad.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los tipos .

Tipo 1. Estructuras a base de muros de carga de mampostería de piedra, adobe o tabique recocido, de gran espesor, con sistemas de piso y techo a base de vigas de madera o acero y bóveda catalana de ladrillos o tablonos de madera o con arcos y bóveda de piedra.

Tipo 2. Estructuras con muros de carga de mampostería de tabique recocido o bloques huecos de concreto, reforzada con elementos perimetrales de concreto armado y con sistemas de piso o techo de concreto reforzado, colados en sitio o prefabricados.

Tipo 3. Estructuras de tipo esquelético, a base de marcos rígidos formados por columnas y traveses de concreto reforzado o de acero estructural, con sistemas de piso de concreto reforzado constituido por losas macizas de 10 a 15 cm de espesor, perimetralmente apoyadas en las traveses de los marcos o reforzadas con traveses secundarias intermedias, usualmente coladas en sitio. Los muros de colindancia y divisorios son “no estructurales”.

Tipo 4. Estructuras de tipo esquelético, con columnas de concreto reforzado o acero estructural y sistemas de piso a base de losas de espesor constante, usualmente entre 25 y 45 cm, aligeradas en ciertas zonas para definir nervaduras y ábacos o capiteles, que forman marcos “equivalentes” con las columnas, siendo también los muros de colindancia y divisorios “no estructurales”.

Tipos 5 y 6. Estructuras similares a los tipos 3 y 4 en las que, además de los marcos rígidos, se emplean elementos de contraventeo constituidos por diagonales de concreto o acero en algunas cruces o por muros de rigidez de mampostería de tabique o de concreto reforzado; en algunos casos los muros forman núcleos rígidos alrededor de zonas de servicios, como elevadores, escaleras, baños y ductos. El resto de los muros son “no estructurales”.

El primer tipo de estructuras se encuentra en construcciones antiguas; los muros llegan a tener espesores superiores a 50 cm y alturas de entrepiso relativamente grandes (4 m o más). Suelen estar bastante deteriorados sobre todo en los sistemas de piso, por falta de mantenimiento adecuado, con vigas apolilladas o podridas, muchas veces con rellenos de tierra importantes en pisos y techos. Además suelen tener grietas en muros y pisos provocados por hundimientos diferenciales o por sismos anteriores. Normalmente el número de niveles es de 1 a 4 como máximo.

El problema más frecuente en este tipo de construcción, al ser sometida a sismos, es la falta de diafragmas rígidos al nivel de pisos o techo que reparten los efectos sísmicos a los muros orientados en cada dirección, lo que suele agravarse cuando, por remodelaciones o cambio de destino, se eliminan algunos muros, para abrir huecos. En ocasiones también hay problemas por flexión perpendicular al plano de muros altos o por falta de unión adecuada entre los distintos muros. Son construcciones sumamente rígidas ante fuerzas laterales, con períodos de vibración cortos, menores de 0.5 s, poco vulnerables en general a los sismos típicos de la zona de terrenos blandos, cuyos períodos dominantes suelen ser, como se ha visto, mucho más largos. Mucha gente se sorprendió de que prácticamente no hubo daños en este tipo de construcción, exceptuando algunos casos de golpes con edificios vecinos o de viviendas de renta congelada muy deterioradas por falta de mantenimiento, más adelante se discute esto.

El segundo tipo de estructuras es la versión moderna de la anterior; los muros suelen ser mucho más delgados, con espesor máximo de unos 28 cm, normalmente cuentan con dadas y castillos de

concreto reforzado, que confinan a la mampostería y mejoran su comportamiento tanto bajo fuerzas laterales debidas al sismo como bajo el efecto de hundimientos diferenciales en las zonas de terreno compresible de la ciudad. Los sistemas de piso y techo de concreto colado en sitio, constituyen diafragmas horizontales suficientemente rígidos para transmitir los efectos sísmicos a los muros resistentes en cada dirección, lo que mejora notablemente su comportamiento; las alturas de entrepiso son menores y no hay grandes rellenos de tierra, salvo en azoteas, donde si suelen existir para dar pendiente y desaguar las aguas de lluvia. En algunos casos, aunque el sistema de piso o techo sea prefabricado suele colarse sobre él un firme, en ocasiones reforzado con malla de acero, que ayuda a formar el diafragma.

En este tipo de construcción la máxima altura que suele alcanzarse es del orden de 8 pisos. Normalmente se emplea en vivienda unifamiliar o multifamiliar, con gran densidad de muros, continuos en toda la altura, por lo que al igual que en el tipo 1, suelen ser bastante rígidos para movimientos en dirección horizontal por lo que sus periodos son también relativamente cortos, inferiores a los dominantes del suelo en la zona de terreno blando y tampoco presentaron daños graves, ya que su respuesta dinámica fue relativamente baja, comparada con su capacidad resistente.

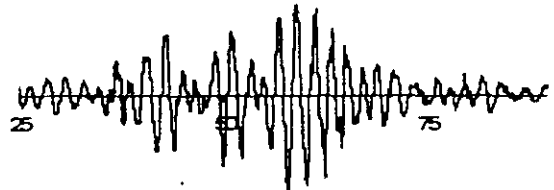
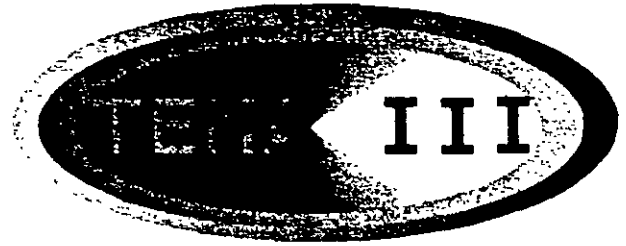
Debido a la necesidad de aprovechar más los terrenos de gran valor comercial en las zonas céntricas de la Ciudad y tener edificios de usos múltiples, como estacionamientos, comercios, oficinas y habitación, con distintos requisitos de subdivisión, se han desarrollado mucho los edificios de varios niveles con estructura de tipo esquelético 3 ó 4, en que las fuerzas horizontales debidas a sismos son resistidas por marcos rígidos y los muros no tienen más función que subdividir los espacios en cada nivel, siendo teóricamente “no estructurales”.

El tipo 3, con traveses peraltados unidos rigidamente a las columnas, se ha empleado para edificios de hasta 40 niveles en acero y un poco más bajos en concreto reforzado. Las separaciones entre columnas y el tamaño de éstas dependen del material empleado y del uso del edificio. En edificios destinados exclusivamente a habitación, los claros máximos requeridos suelen ser del orden de 5 a 6 m; sin embargo, cuando algunos niveles en estos edificios se destinan a estacionamiento, muchas veces por requisitos del reglamento de construcciones, los claros deben ser mayores, para poder realizar maniobras con los vehículos, con un mínimo de 7 a 8m. En edificios de oficinas o de comercios también suelen usarse claros de 7 a 8 m, aunque en los más recientes con frecuencia se usan claros hasta de 10 ó 12 m. La rigidez relativa de las traveses, definidas por la relación del momento de inercia entre el claro entre columnas, es fundamental para lograr una rigidez lateral adecuada en este tipo de estructuras, que conduzcan a desplazamientos laterales reducidos; en ocasiones, por problemas de tipo arquitectónico o constructivo no se da a las traveses el peralte más conveniente, obteniéndose estructuras relativamente flexibles. Los periodos de oscilación de estas estructuras dependen del número de pisos y de las rigideces relativas de las columnas y traveses. Normalmente son del orden de 0.1 a 0.15 veces el número de pisos, por lo que en edificios de 15 pisos el periodo fundamental de vibrar es cercano a 2 segundos y la respuesta dinámica que puede alcanzarse en la zona de terreno blando es grande, con posibilidad de daños importantes, como se verá más adelante.

El tipo 4 de construcción, a base de columnas y losas aligeradas con espesores de 25 a 45 cm, se popularizó mucho debido a la mayor facilidad de construcción, que permite mayor rapidez, aunque su costo es superior al del tipo 3, pues requiere mayor cantidad de refuerzo en el sistema de piso por ser menor el peralte de las traveses equivalentes; se ha usado en edificios hasta de unos 20 pisos de altura. Lo reducido del peralte del sistema de piso conduce también a menor rigidez lateral, lo que

hace que los edificios construidos con este sistema se deformen más y tengan periodos más largos que los de trabes peraltadas, para el mismo número de pisos y claros entre columnas. Tienen también el problema de que su comportamiento en el intervalo inelástico es menos dúctil y se requiere un detalle especial de los armados para lograr un comportamiento satisfactorio. Son más vulnerables ante los sismos que el tipo 3, lo que se ha comprobado, no sólo en este sismo, sino también en otros anteriores, como el de marzo de 1979. Su gran deformabilidad lateral propicia que se dañen fácilmente los muros divisorios no estructurales, que son difíciles de construir con la holgura necesaria para evitar su colaboración durante sismos intensos; también conduce a que se golpeen fuertemente con edificios vecinos.

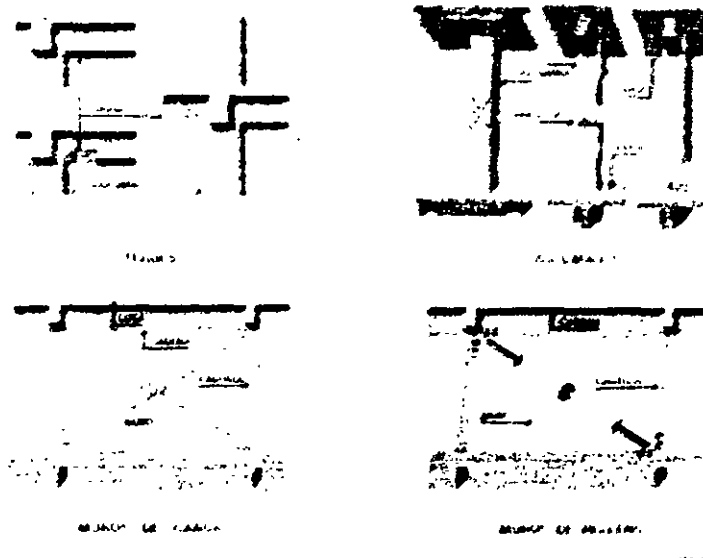
En los tipos 5 y 6 se reducen considerablemente los problemas de deformaciones excesivas antes mencionados, debido a la mayor rigidez que se logra por la colaboración de los muros o elementos de contraventeo. Con este sistema estructural se han construido edificios de gran altura en la Ciudad de México, como la Torre de Pemex de 52 niveles, de acero estructural, o la Torre Lomas, de 40 niveles, de concreto reforzado. Muchos edificios de departamentos con estructuras tipo 6, de 10 a 15 niveles tuvieron daños menores debido a la presencia de muros de concreto en las zonas de elevadores y escaleras, o en las colindancias, colocados simétricamente.



## TIPOS DE DAÑOS COMUNES A ESTRUCTURAS Y SUS POSIBLES CAUSAS

### 3.1 Tipos de daños más comunes y sus posibles causas.

Como ya se ha mencionado, las estructuras que más daños sufrieron durante los sismos de septiembre de 1985, fueron aquellas cuyos periodos de vibración eran cercanos a los dominantes del suelo, porque la respuesta dinámica se incrementó notablemente; por ello, la mayor parte de los daños se concentró en algunos edificios de mediana altura, entre 6 y 15 niveles, ubicados en la zona de terreno blando de la ciudad. Se obtuvo un muestrario completo con todo tipo de daños, tanto en elementos "no estructurales" como estructurales, con fallas en muros divisorios o de colindancia, en columnas, en traveses y en las losas aligeradas, principalmente en estructuras de los tipos 3 y 4, anteriormente descritos (ver figura 3.1).



*Figura 3.1. Fallas típicas en estructuras de concreto.*

En estructuras de concreto las fallas más comunes consistieron en:

- a) Desmoronamiento inclinado de las trabes en la proximidad de sus extremos debido a tensión diagonal; en un buen número de casos aparecieron dos grietas formando una cruz, como consecuencia de la inversión de esfuerzos (ver figura 3.2).



*Figura 3.2. Falla por cortante en trabes.*

- b) Despredimiento y desmoronamiento del concreto en la parte inferior de las trabes cerca de la unión con las columnas, como consecuencia del exceso de compresión por flexión y de pandeo del acero de refuerzo del lecho inferior de las trabes. En algunos casos se observó que había el mismo tipo de daño en las partes superior e inferior de las trabes, causado por inversión en el signo de los momentos flexionantes (ver figura 3.3).



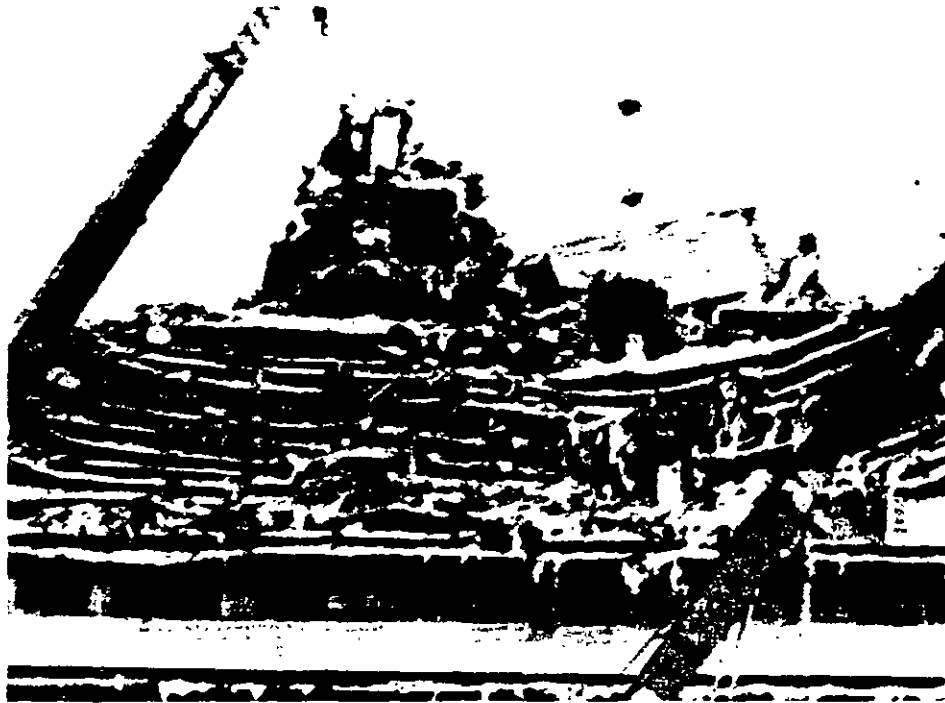
*Figura 3.3 Falla por compresión en trabes.*

- c) Deslizamiento o punzonamiento de las columnas en los capiteles de estructuras de losa plana aligerada (estructura tipo 4) provocado por tensión diagonal (ver figuras 3.4 y 3.5).



*Figura 3.4. Falla en losas aligeradas.*





*Figura 3.5. Falla en losas aligeradas.*

- d) Agrietamiento inclinado de las columnas, provocado por tensión diagonal. En la mayoría de los casos estas grietas se orientan en dos direcciones y forman una cruz, por efecto de inversión de esfuerzos (ver figura 3.6); en otros casos las grietas se orientan en una sola dirección, sobre todo en estructuras que sufrieron asentamientos diferenciales antes o durante el sismo.



*Figura 3.6. Fallas en columnas.*

- e) Desprendimiento y desmoronamiento del concreto de las columnas, así como pandeo del acero de refuerzo, como consecuencia de la repetida inversión de esfuerzos y las grandes deformaciones provocadas por el sismo (ver figura 3.7). En algunos casos el confinamiento proporcionado por el refuerzo transversal no era adecuado.

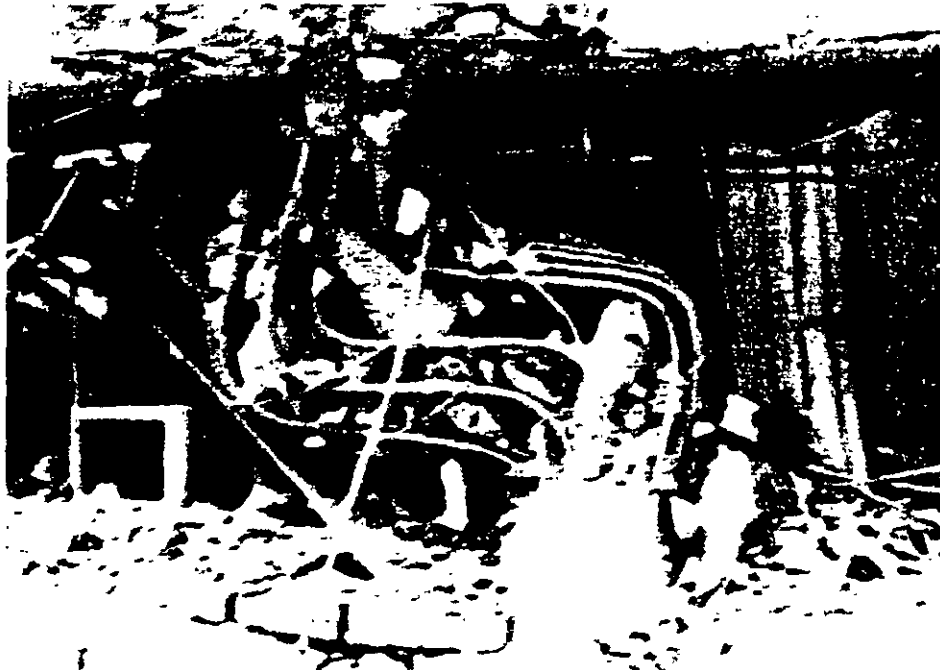


Figura 3.7. Fallas en columnas.

- f) Agrietamientos diagonales en cruz en muros de carga o de relleno provocados por tensión diagonal al haber un exceso de carga en ambos sentidos (ver figuras 3.8 y 3.9).

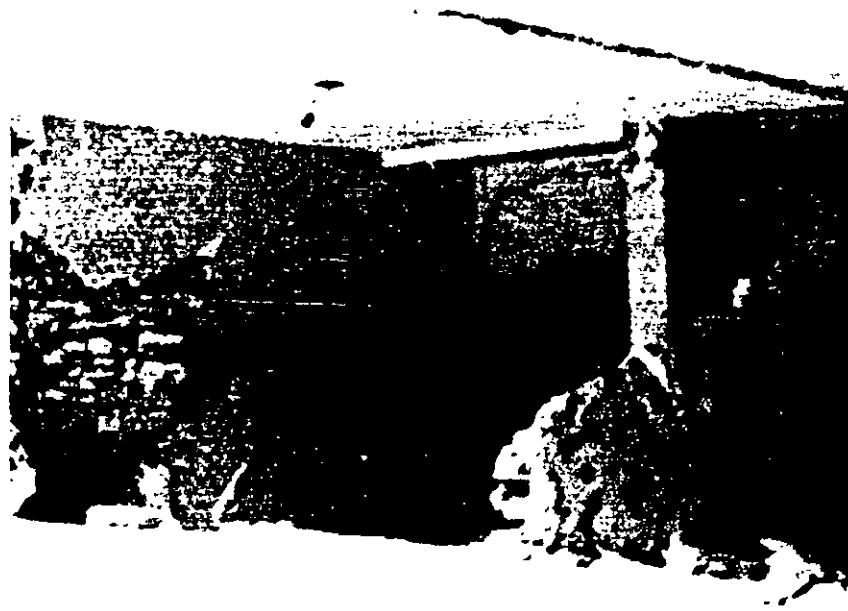
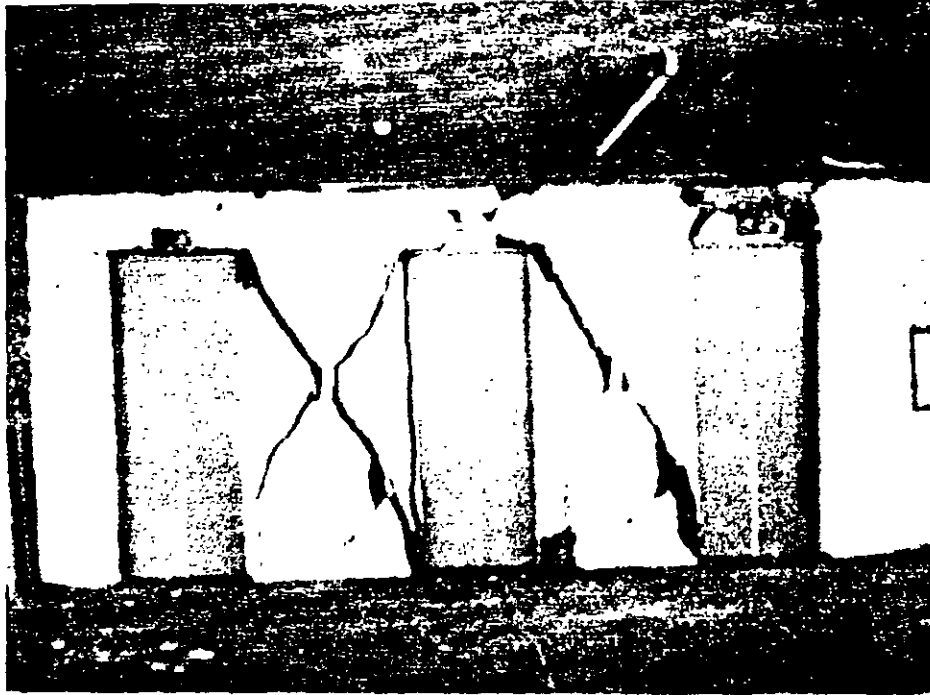


Figura 3.8. Fallas en muros.



*Figura 3.9. Fallas en muros.*

El número de casos de fallas en columnas de los tipos d) y e) fue superior a lo que se esperaba, pues se consideraba que las especificaciones de las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto del reglamento de 1976 conducían a estructuras con columnas fuertes y trabes o losas aligeradas débiles, para lograr un comportamiento más dúctil. Fue evidente en muchos casos que no se alcanzó la ductilidad esperada, en algunos casos tal vez por sobre refuerzo de las trabes o losas, lo que evitó que se presentarán fallas tipo a) ó b); en otros, por la colaboración inadecuada de muros no estructurales que modificaron la concepción original de la estructura, lo que les produjo a esos muros fallas del tipo f). Es probable también que muchas de las fallas de columnas se hayan debido a la práctica de armarlas concentrando el refuerzo longitudinal en las esquinas, agrupándolo en paquetes y restringiendo su pandeo con estribos muy espaciados, práctica que permitían los reglamentos; el número tan elevado de ciclos de cargas y descargas con altos niveles de esfuerzo puede haber deteriorado seriamente la adherencia entre los paquetes de varillas y el concreto que los rodeaba, reduciéndose notablemente su capacidad de carga. En muchos casos se observaron desprendimientos de concreto a lo largo de las esquinas y tendencia a pandearse de los paquetes (ver figura 3.10).



*Figura 3.10. Falla del paquete de varillas en columnas.*

En un buen número de casos los daños en columnas fueron provocados por golpes entre edificios vecinos, en unos casos debido a que el nivel de las losas en uno y otro edificio era diferente (ver figuras 3.11 y 3.12) y en otros debido a alturas diferentes de edificios adyacentes.



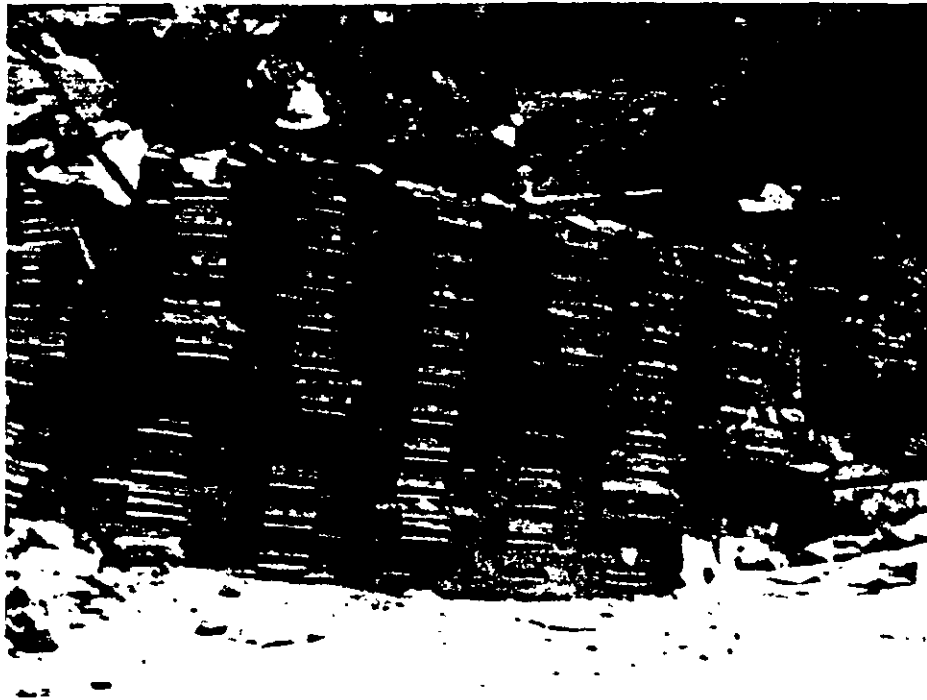
*Figura 3.11. Daños en columnas por golpeteo con estructuras vecinas.*



*Figura 3.12. Daño en columnas por golpeteo con estructuras vecinas.*

La separación entre edificios es en general insuficiente, sobre todo en edificios anteriores al reglamento de 1976, debido a la forma en que se calculaban las deformaciones y a que el sismo excedió considerablemente las aceleraciones de diseño contempladas por el reglamento vigente.

También hubo muchos casos de daños causados por sobrecargas excesivas (ver figuras 3.13 y 3.14), debidas a cambios de destino o uso con respecto al proyecto original, a acumulación de archivos, sobre todo en oficinas públicas, o a acumulación de otros materiales. En varios casos esto se sumó a deformaciones laterales excesivas de sistemas estructurales muy flexibles, del tipo 4 antes citado, provocando inestabilidad de conjunto y colapsos totales o parciales.



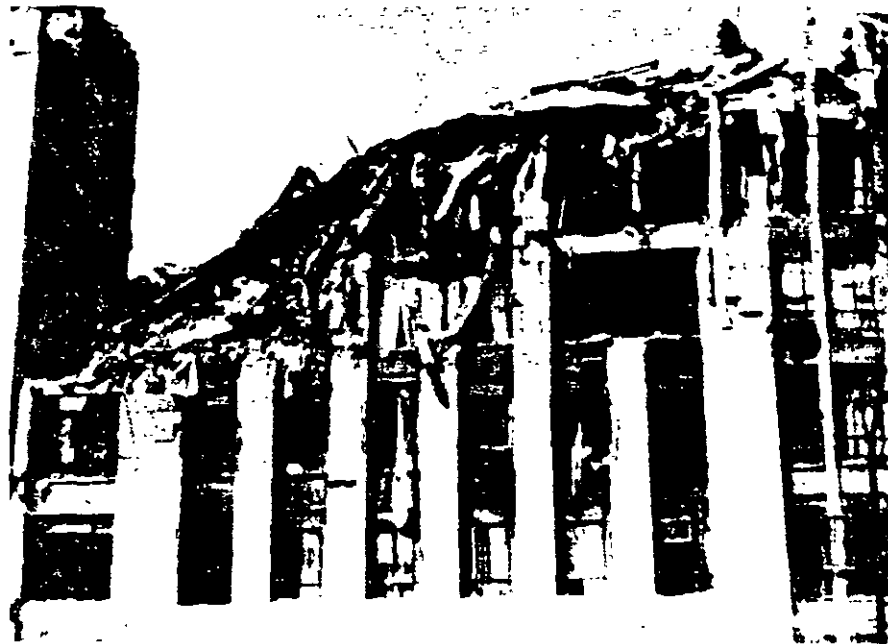
*Figura 3.13. Sobrecargas en edificios.*



*Figura 3.14. Sobre cargas en edificios.*

También hubo numerosos problemas asociados a la configuración de los edificios, entendida no solo como la forma exterior de la construcción, sino también relacionada con la distribución de los elementos estructurales y no estructurales y de las cargas (ref. 4).

En particular, el número de edificios dañados ubicados en esquinas fue muy alto, seguramente debido a la colaboración de muros de colindancia que se habían considerado no estructurales, lo que provocó grandes excentricidades y torsiones acopladas con la traslación (ver figuras 3.15 y 3.16). Se reportó que 42% de los edificios dañados estaban ubicados en esquinas.



*Figura 3.15. Edificios en esquina, dañados por el sismo.*



*Figura 3.16. Edificios en esquina, dañados por el sismo.*

La distribución irregular de elementos “no estructurales” en elevación, en edificios de departamentos o de oficinas, con plantas de los pisos inferiores libres para estacionamiento o comercios, provocó varios casos de colapso parcial (ver figuras 3.17 y 3.18). Asimismo, variaciones en el tamaño de las plantas en elevación, debido a escalonamientos, lo que conduce a cambios bruscos de masa y rigidez, provocaron colapsos parciales en varios casos; este problema fue observado también en edificios que no tenían escalonamiento, pero en los que, debido a que estaban pegados a vecinos de menor altura en ambas colindancias, se propició un cambio brusco de rigidez, al recargarse el edificio alto en los bajos en los niveles inferiores, sobresaliendo los superiores, que tuvieron serios daños (ver figura 3.19). Si sólo existía edificio bajo de un solo lado, el efecto anterior fue todavía más grave, al golpearse los edificios, por oscilación en direcciones contrarias fuera de fase.

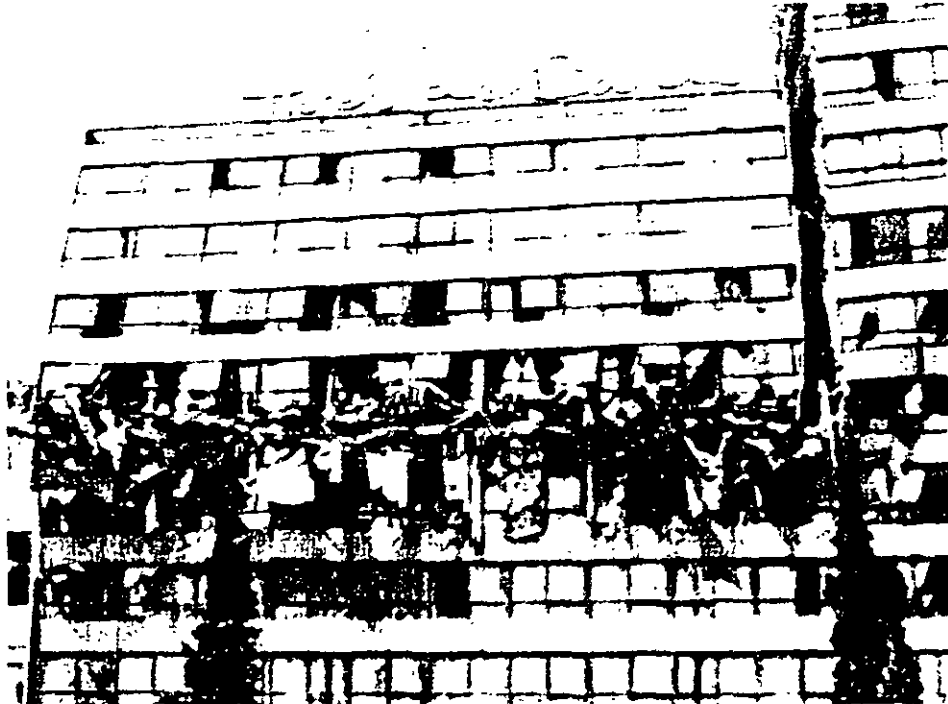


*Figura 3.17. Fallas en edificios por el llamados “piso suave”.*





*Figura 3.18. Falla en edificio por el llamado "piso suave".*



*Figura 3.19. Falla en nivel intermedio.*

Los edificios con plantas de formas irregulares, como L, T o triangular, tuvieron en general un comportamiento, provocado por las torsiones asociadas a excentricidades importantes (ver figu. 3.20 y 3.21).



*Figura 3.20. Edificios con planta irregular.*

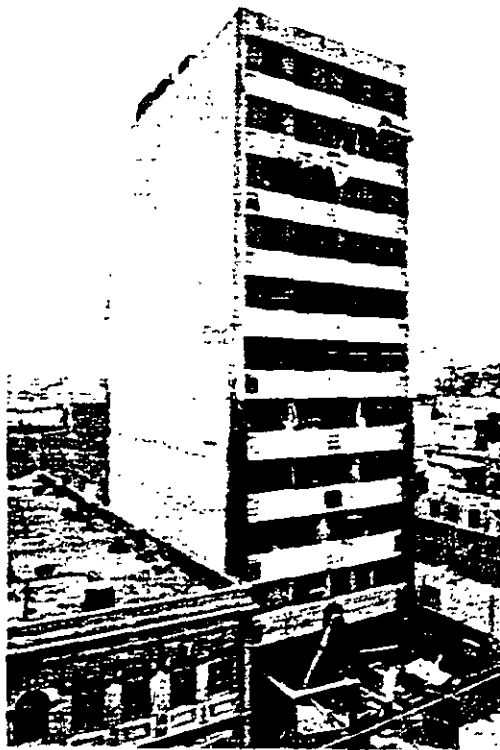


*Figura 3.21. Edificios con planta irregular.*

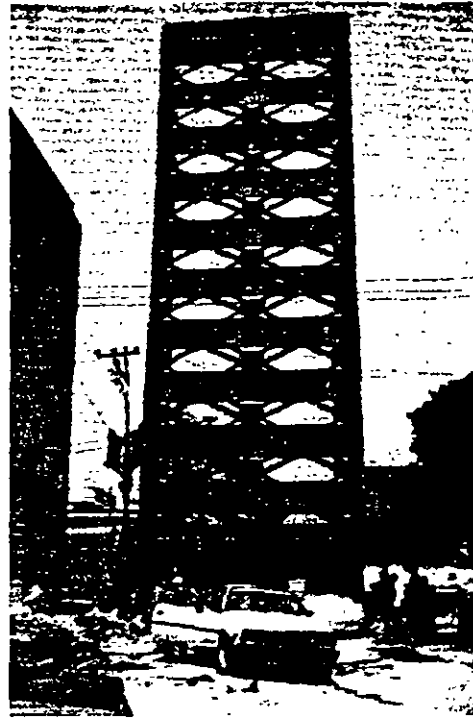
Los daños en muros y elementos ambos no estructurales fueron muy numerosos, ya que los primeros es difícil desligarlos adecuadamente de la estructura para evitar su colaboración. En los casos en que estos muros estaban uniforme y simétricamente colocados, seguramente contribuyen a evitar daños mayores a la estructura, tomando en cuenta que el sismo de 1985 rebasó, como ya se ha dicho, las especificaciones de diseño; sin embargo, cuando estaban colocados desfavorablemente, como en los edificios en esquina o de plantas inferiores libres, provocaron daños mayores a los que hubieran ocurrido sin su colaboración.

El número de estructuras dañadas de acero resultó inferior al de estructuras de concreto, porque usualmente el acero se emplea en edificios altos, cuyos periodos son mayores a los dominantes del terreno, por lo que no entraron en resonancia, con la excepción de un edificio de 21 niveles, cuyo periodo antes del sismo era exactamente de 2 seg., en una dirección. Hubo otros casos de estructuras de acero dañadas, de construcción relativamente antigua y cuyas conexiones eran insuficientes para garantizar un trabajo adecuado, combinadas con muros no estructurales muy rígidos.

Hubo varios casos de estructuras dañadas por sismos previos y reparadas empleando distintos criterios. En algunos se conservó el sistema estructural original a base de marcos rígidos, aumentando la sección de trabes y columnas y colocando más refuerzo, pero sin poder garantizar la continuidad en los nudos; en otros se modificó el sistema estructural original, adicionando muros de rigidez de concreto reforzado, o bien elementos diagonales de contraventeo, en varias crujías; algunas de estas reparaciones fueron exitosas, soportando el sismo satisfactoriamente (ver figuras 3.22 y 3.23) en otras hubo daños nuevamente. Es probable que los que modifican drásticamente el sistema estructural original, adicionando elementos de gran rigidez y cambiando sensiblemente el periodo con que oscila la estructura, resulten más eficientes, pues sacan a la estructura de una condición de máxima respuesta producida por sismos previos, por coincidencia de sus características dinámicas con las del suelo.

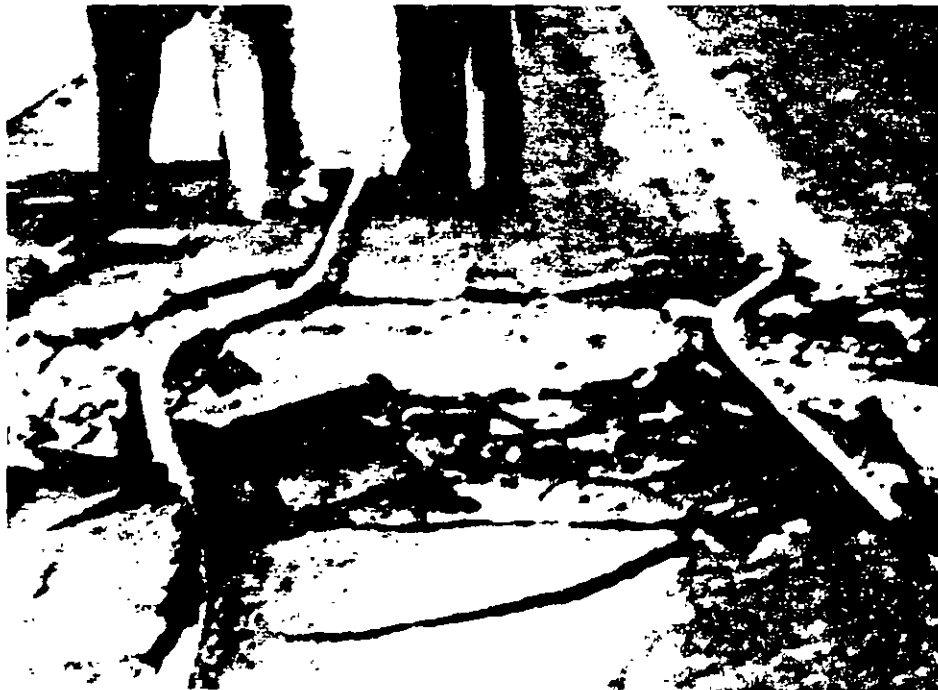


*Figura 3.22. Estructuras reparadas.*



*Figura 3.23. Estructuras reparadas.*

Los movimientos del suelo fueron tan intensos en algunas zonas de la ciudad, que provocaron serios daños en instalaciones subterráneas, como tuberías de agua potable y drenaje. Hubo varios casos en que los rieles de tranvías se doblaron notablemente (ver figura 3.24 y 3.25). Muchas banquetas, guarniciones y pavimentos resultaron también con daños notables.



*Figura 3.24. Antiguas vías de tranvías, dobladas.*



*Figura 3.25. Antiguas vías de tranvías dobladas.*

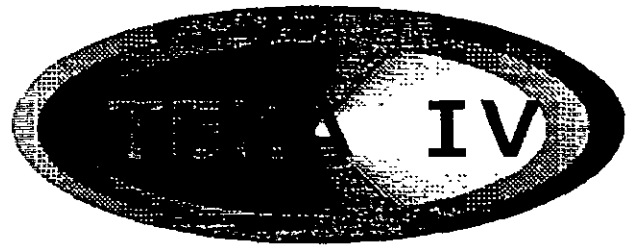
Hubo varios casos en que los daños se originaron por fallas en la cimentación de los edificios, al perder el suelo y los pilotes de fricción capacidad de carga durante el sismo, provocando el colapso total o asentamientos o desplomes importantes (ver figuras 3.26 y 3.27).



*Figura 3.26. Fallas de cimentación.*



*Figura 3.27. Fallas de cimentación.*



## DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACIÓN Y PROTECCIÓN A COLINDANCIAS

### 4.1 Introducción.

La cimentación, o subestructura, constituye un elemento de transición entre la estructura propiamente dicha, o superestructura, y el terreno en que se apoya. Su función es lograr que las fuerzas que se presentan en la base de la estructura provenientes de todo el conjunto se transmitan adecuadamente al suelo en que ésta se apoya. Para que eso se cumpla deberá haber una seguridad adecuada contra la ocurrencia de fallas en los elementos de cimentación o en el suelo y contra la presencia de hundimientos excesivos que ocasionan daños en la construcción misma, en las vecinas o en las instalaciones enterradas en la proximidad de la cimentación.

Una parte esencial del diseño de la cimentación consiste en definir, cuáles son los estratos de suelo más adecuados para aceptar las cargas transmitidas por la estructura, cuál es la forma de la subestructura que mejor se presta a realizar dicha transmisión y cuál es el procedimiento de construcción más apropiado.

El comportamiento de una cimentación depende de las propiedades mecánicas del suelo subyacente. Por ser este un material natural, sus propiedades no son controlables y son más difíciles de determinar con precisión en comparación con las de los materiales de la estructura.

### 4.2 Clasificación de las cimentaciones

La forma más común de clasificar las cimentaciones es en función de la profundidad de los estratos resistentes a los que se transmite la mayor parte de las cargas que provienen de la construcción. En estos términos, se subdividen en someras (superficiales) y profundas.

Las *cimentaciones someras* se apoyan en estratos poco profundos que tienen suficiente capacidad para resistir las cargas de la estructura. En este grupo se encuentran las *zapatas* que ensanchamientos de la sección de las columnas o muros con los que se distribuye la carga de éstos a

un área mayor de suelo. Las zapatas pueden ser *aisladas* (bajo una sola columna), *combinadas* (bajo dos o más columnas) o *corridas* (bajo un muro o una contratrabe). Otro tipo de cimentación somera está constituido por las *losas de cimentación* en las que el apoyo se realiza sobre toda el área de la construcción. Estas losas pueden ser planas (sin vigas) o con retícula de vigas (llamadas contratrabes). En ocasiones la losa de cimentación, la losa de planta baja y las contratrabes y muros de linderos forman cajones de cimentación que pueden llegar a profundidades relevantes (varios metros) y permiten bajo ciertas condiciones, aprovechar el peso del suelo excavado para *compensar* parcial o totalmente el peso de la construcción y aliviar así la presión neta en la superficie de contacto con el suelo.

Las *cimentaciones profundas* están constituidas esencialmente por pilotes que transmiten su carga por punta o por fricción y que se denominan *pilas* cuando su sección transversal es de gran tamaño. Los pilotes pueden colocarse bajo zapatas o bajo losas de cimentación y pueden combinarse con éstas de manera que la carga se resista en parte por apoyo somero y en parte por apoyo profundo.

Existen tipos especiales de cimentación que se requieren para cumplir funciones muy particulares, por ejemplo, las cimentaciones masivas requeridas para absorber las vibraciones de maquinaria y las cimentaciones sumergidas para obras portuarias y marítimas.

### 4.3 Hundimientos admisibles

Los reglamentos fijan límites máximos admisibles para los hundimientos, los que no deben rebasarse aunque se dimensione la estructura para resistir sus efectos. Por otra parte, en la práctica es frecuente ignorar en el análisis de la estructura hundimientos que no excedan de ciertos límites admisibles. Se considera que hundimientos menores que estos límites pueden ser disipados por la estructura a través de deformaciones inelásticas y que, por consiguiente, no es necesario considerarlos en el diseño. Para ilustrar los aspectos más importantes del problema, conviene comentar los valores establecidos como admisibles en el RCDF para diferentes tipos de hundimientos y los razonamientos con que se justifican estos límites.

La configuración de asentamientos de la base de un edificio se muestra gráficamente en la figura 4.1. La curva de asentamientos puede considerarse formada por tres componentes; un asentamiento uniforme de toda la estructura más un giro de cuerpo rígido que da lugar a una inclinación o desplome de la construcción; el resto del hundimiento lo constituyen los asentamientos diferenciales entre los apoyos.

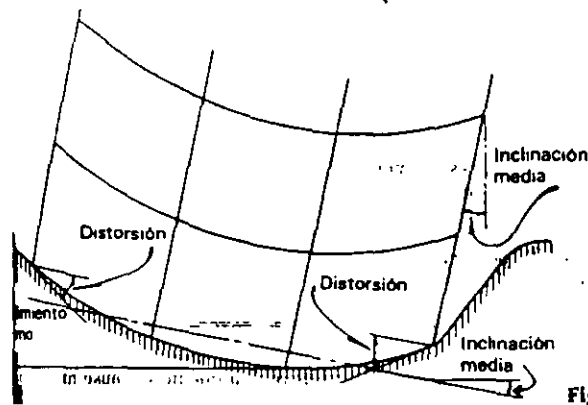


Figura 4.1 Asentamientos totales y diferenciales



Los índices del asentamiento en que se basan los requisitos reglamentarios al respecto se muestran en la figura 4.1, y son: hundimiento máximo  $e_{max}$ , la inclinación media y la distorsión angular  $\gamma$ . La tabla 4.5 reproduce los límites establecidos por el RCDF para cada tipo de hundimiento. Conviene aclarar que los valores de la tabla 4.1 son máximos absolutos y que en muchas situaciones deben limitarse los hundimientos a valores sustancialmente menores.

**Tabla 4.1. Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación\***  
(según el RCDF)

<u>a) Movimientos verticales (hundimiento o emersión)</u>		
Concepto		Límite
Valor medio en el predio	construcciones aisladas	30 cm
	construcciones colindantes	15 cm
Velocidad del componente difiendo	emersión	30 cm
		1 cm/seg
<u>b) Inclinación media</u>		
Tipo de daño	Límite	Observaciones
Inclinación visible	$100/(100 + 3h)$ por ciento	h = altura de la construcción, en m
Mal funcionamiento de grúas viajeras	0.3 por ciento	En dirección longitudinal
<u>c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas</u>		
Tipo de estructura o elemento	Variable que se limita	Límite
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.006
Marcos de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Muros de carga de ladrillo recocado o bloque de cemento	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como yeso, piedra ornamental, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.001 Se tolerarán valores mayores en la medida en que la deformación ocurra antes de colocar los acabados o éstos se encuentran desligados de los muros
Páneles móviles o muros con acabados poco sensibles, como mampostería con juntas secas	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Tuberías de concreto con juntas	Cambios de pendiente en las juntas	0.015

\* Los valores de la tabla son sólo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se caiga ninguno de los daños mencionados en el artículo 265 del Reglamento.

El hundimiento de una estructura como cuerpo rígido no induce en ella fuerzas internas. Desde este punto de vista, no hay razones para fijar límites al hundimiento total. Sin embargo, el hundimiento excesivo de la construcción puede ocasionar daños a las construcciones vecinas y a las instalaciones en la vía pública. Un hundimiento uniforme de la construcción produce asentamientos diferenciales en las adyacentes; si éstas son sensibles a la distorsión, pueden ser dañadas por hundimientos del edificio colindante. Por ello el límite admisible se reduce a la mitad para este caso (15 cm). Otra razón para limitar los hundimientos totales es que, aunque los métodos de cálculo de hundimientos no lo revelen, éstos pueden ir en realidad acompañados de asentamientos diferenciales debido a la erraticidad de las propiedades del subsuelo. A menos que la cimentación y la estructura sean muy rígidas, es de esperarse que a un hundimiento total de 30 cm vayan acompañados asentamientos diferenciales entre 30 y 70 por ciento del total, los cuales en la mayoría de los casos serán inadmisibles. Por otra parte, asentamientos totales de la magnitud indicada, o aún mayores, pueden ser tolerables y ocurren en forma muy lenta en el tiempo, tal que permiten a la estructura y a las vecinas reacomodarse que redistribuyan y reduzcan sustancialmente las sollicitaciones que se inducen. Por ello se limita también la velocidad de hundimiento total.

El desplome o inclinaciones que puede admitirse en un edificio está regido principalmente por aspectos de apariencia, sensación de seguridad y de funcionamiento de la construcción. El límite de la inclinación visible dado en la tabla 4.1 está especificado esencialmente por requisitos de apariencia y se considera que dentro de este límite no se afecta de manera importante el funcionamiento de edificios usuales. Sin embargo, cuando los pisos alojen máquinas o equipos cuya base debe permanecer horizontal, el límite debe reducirse. Cuando la construcción es adyacente a otra, separada por una junta, aumenta la posibilidad de que se note a simple vista el desplome, así como el peligro de un choque por el efecto de cargas laterales por sismo o viento, de modo que el desplome admisible deberá reducirse en estas situaciones.

Los asentamientos diferenciales inducen fuerzas internas en la estructura y en los elementos de la cimentación. Más que la magnitud del asentamiento diferencial, lo que se correlaciona con los efectos en la estructura es la distorsión angular o sea la relación del asentamiento diferencial entre dos puntos a la distancia entre ellos. La gravedad de los efectos de los asentamientos diferenciales depende de la velocidad con que éstos ocurren. Los valores admisibles de la tabla 4.1 dependen de la habilidad que tienen distintos tipos de estructuras y materiales para disipar las fuerzas internas debidas a las distorsiones, por su flexibilidad y por sus deformaciones diferidas, y corresponden al caso en que los hundimientos ocurren lentamente en el tiempo, para hundimientos que ocurren en forma brusca se producen daños para distorsiones menores que las indicadas.

De los valores de la tabla se aprecia que, los elementos más sensibles a las distorsiones angulares son los muros de mampostería. La observación de construcciones existentes revela claramente que la gran mayoría de los daños ocurren en muros de mampostería que se fisuran desde hundimientos diferenciales de pequeña magnitud. La figura 4.2 muestra las distorsiones angulares que ocasionan diferentes niveles de daño, que van desde la fisuración hasta la pérdida de capacidad de carga de los muros. Los valores de la tabla 4.1 son límites que no deben rebasarse.

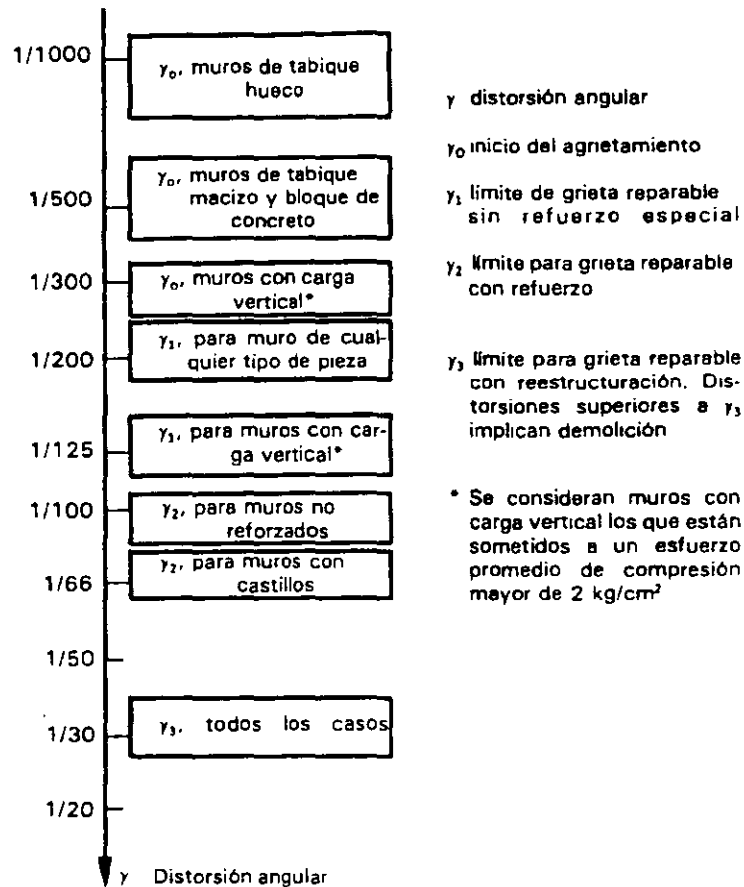


Figura 4.2. Relación entre la distribución angular por hundimientos diferenciales y el nivel de daños en construcciones con muros de mampostería.

Puede resultar particularmente crítica la superposición de los efectos de los hundimientos diferenciales con los que pueden ocurrir durante los sismos, ya que en ambos casos se introducen distorsiones angulares del mismo tipo.

#### 4.4 Zapatas

Este tipo de cimentación somera se usa cuando las descargas de la estructura son suficientemente pequeñas y existen a poca profundidad estratos de suelo con la capacidad de carga y rigidez necesarias para aceptar las presiones transmitidas por las zapatas sin que ocurran fallas o hundimientos excesivos

La figura 4.3 muestra las formas más comunes de zapatas. Se distinguen, en cuanto a la forma de su sección, las de sección constante, las de peralte variable y las escalonadas. En cuanto a los materiales, éstos suelen ser la mampostería de piedras naturales o el concreto simple para cargas muy bajas y principalmente para zapatas corridas. El concreto reforzado es la solución para la mayoría de los casos.

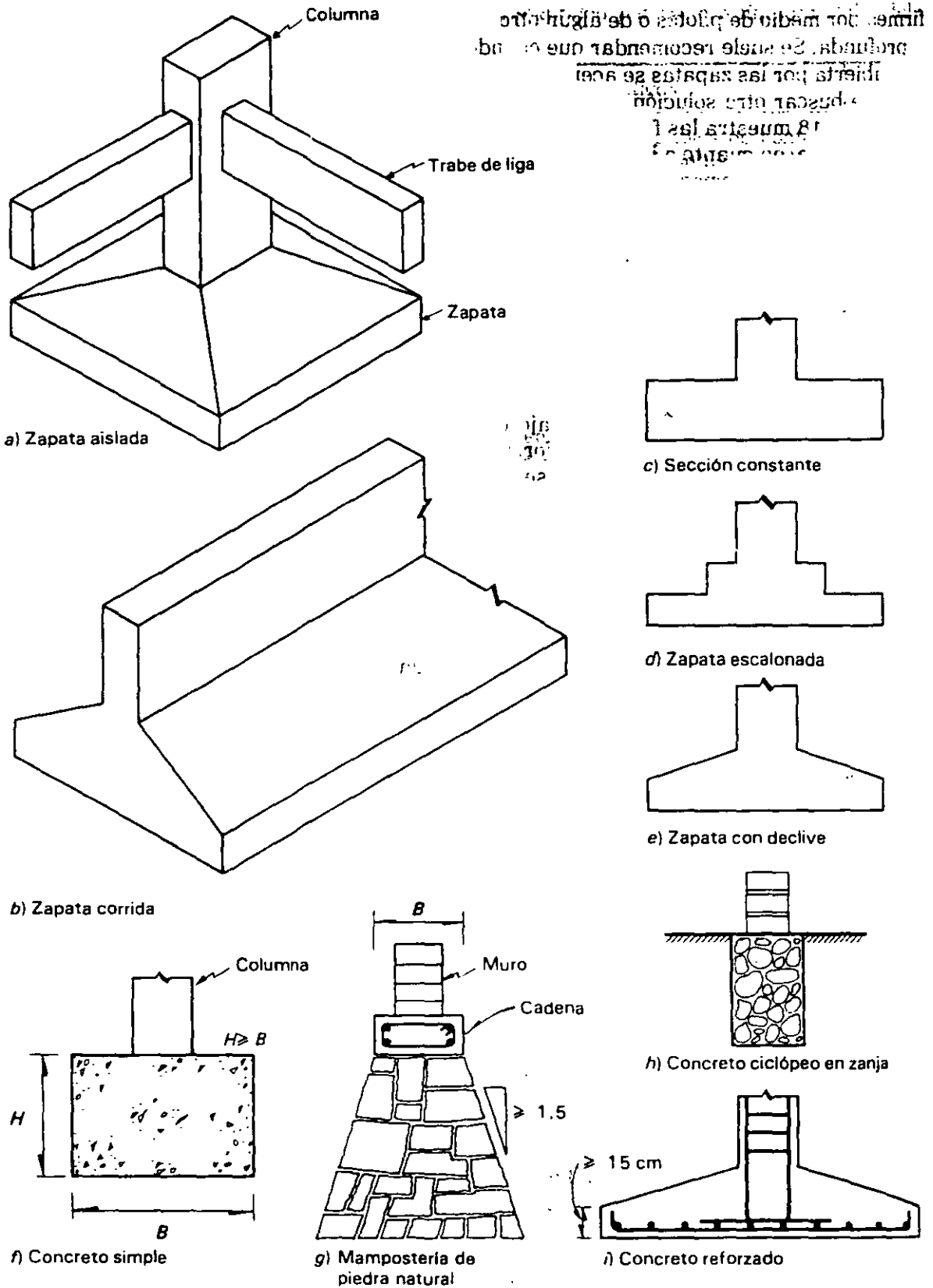


Figura 4.3. Modalidades típicas de zapatas.

En zonas de riesgo sísmico moderado o alto es conveniente unir las zapatas de una construcción por medio de traveses de liga, cuya función es lograr que la estructura se mueva como una sola unidad ante la acción de un desplazamiento horizontal del terreno.

Las zapatas corridas bajo muros de carga serán de preferencia simétricas, con excepción de las que se encuentran bajo muros de lindero

#### **4.5 Dados y pedestales**

Es frecuente que entre la columna de la superestructura y la zapata enterrada haya un elemento de transición en forma de dado o pedestal, con el fin de evitar enterrar la columna hasta la parte superior de la zapata, lo que podría provocar problemas de corrosión cuando la columna es de acero y de recubrimiento insuficiente en columnas de concreto.

#### **4.6 Losas de cimentación**

Las losas de cimentación constituyen un tipo de cimentación somera que cubre toda el área bajo la estructura; se emplean cuando la resistencia del suelo es baja, cuando es necesario limitar en forma muy estricta los asentamientos diferenciales en construcciones particularmente sensibles a éstos cuando se requieren grandes áreas de contacto para transmitir las cargas de la estructura al suelo sin que se produzcan presiones excesivas.

Existen dos tipos principales de losas de cimentación con diversas variantes.

- a) La losa plana, en que las columnas se apoyan directamente sobre la losa de cimentación o por medio de capiteles, pero sin que existan vigas de unión en los ejes de columna (ver figura 4.4). La losa plana puede aligerarse con diversos procedimientos y tiene la ventaja de la sencillez constructiva, pero a costa de volúmenes mayores de concreto y en consecuencia mayor peso.
- b) La losa con contratraveses (vigas de cimentación) se emplea cuando los claros y las cargas son elevados y se convierte frecuentemente en una estructura en cajón con losa en la parte inferior y superior de la contratrabe. Otra modalidad es una losa con contratraveses inferiores en la que el lecho superior es plano y constituye un piso utilizable.

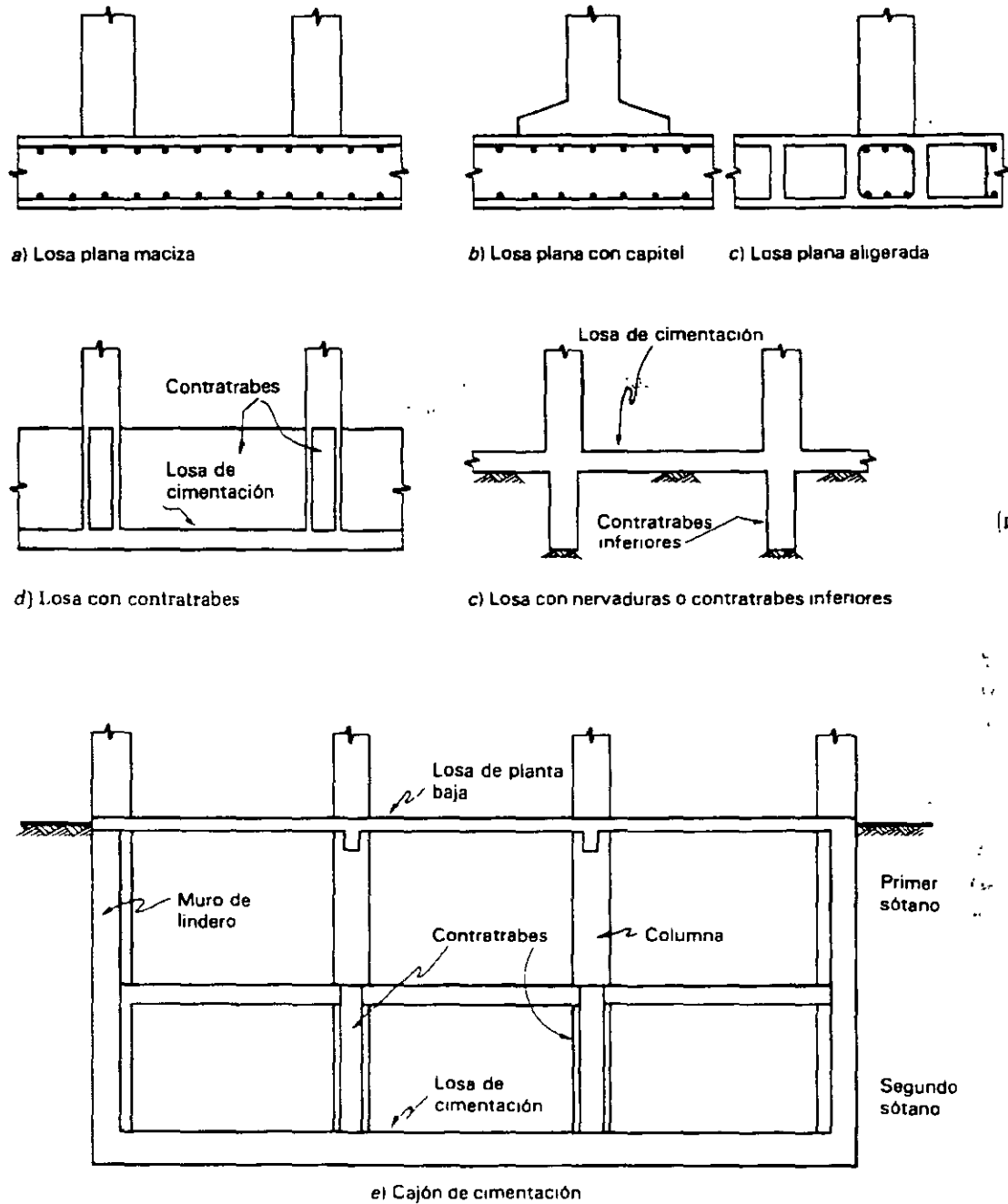


Figura 4.4. Diferentes tipos de losas de cimentación.

#### 4.7 Pilotes y pilas

Los pilotes son postes que se introducen en el terreno para transmitir las cargas de la cimentación a los estratos más resistentes (generalmente profundos) Cuando estos elementos tienen dimensiones grandes en su sección transversal (mayores que 60 cm) se denominan generalmente pilas.

Los pilotes se emplean cuando el terreno superficial tiene baja capacidad de carga, cuando se tienen requisitos muy estrictos de asentamientos admisibles y cuando se quieren evitar cimentaciones muy

voluminosas apoyadas en estratos de suelo poco favorables para la construcción, como en obras marítimas o en suelos saturados

Un pilote desarrolla su resistencia tanto por apoyo directo en su punta como por fricción en la superficie de contacto con el suelo (ver figura 4.5). Los pilotes que se apoyan en un estrato de suelo muy firme, y que por tanto, desarrollan la mayor parte de su resistencia por dicho apoyo directo, se denominan *pilotes de punta*. Los pilotes que quedan totalmente embebidos en estratos de baja capacidad de carga (arcillas) y por tanto desarrollan su resistencia casi exclusivamente por adherencia y por rozamiento entre su superficie y el suelo adyacente, se llaman *pilotes de fricción*.

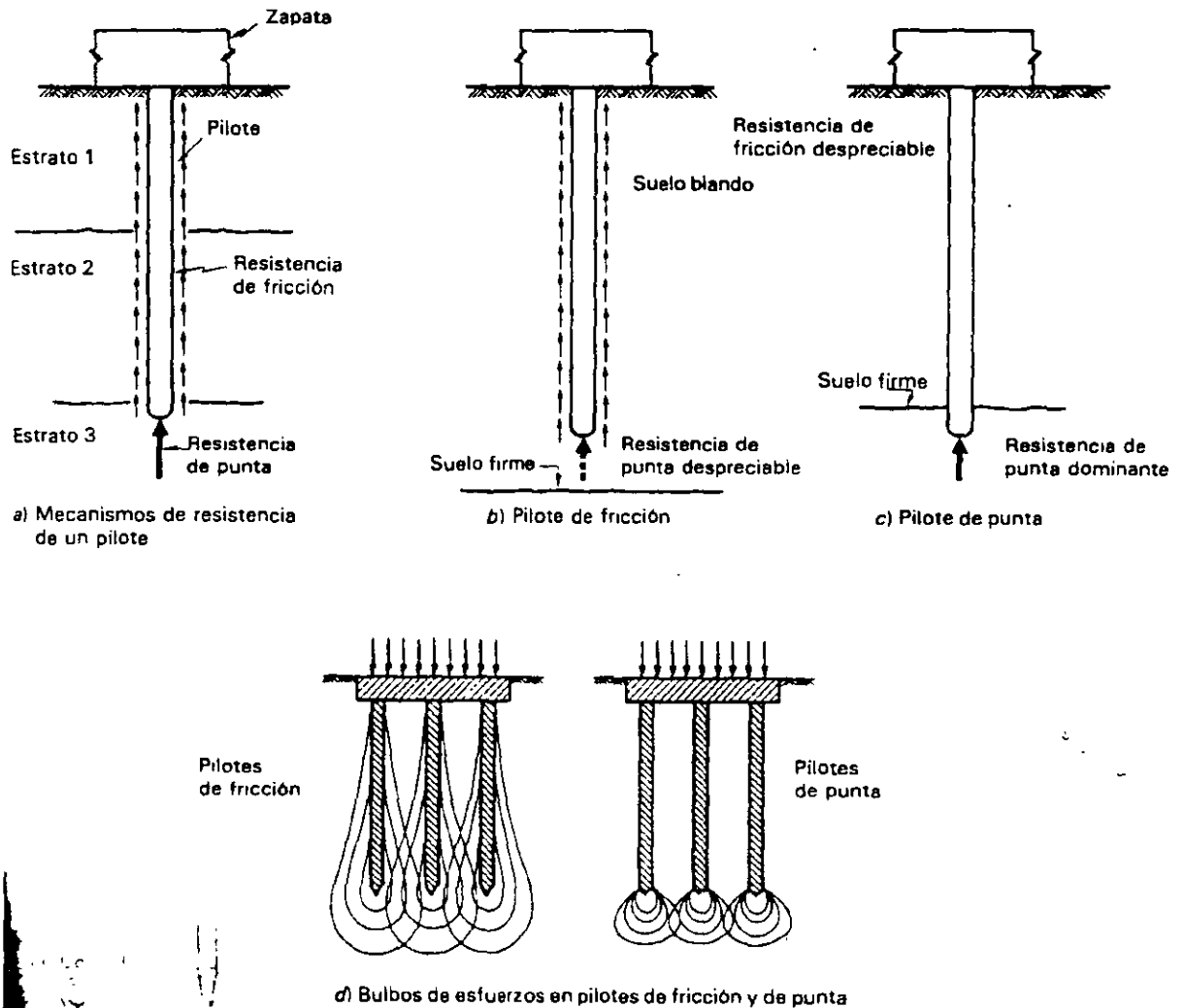
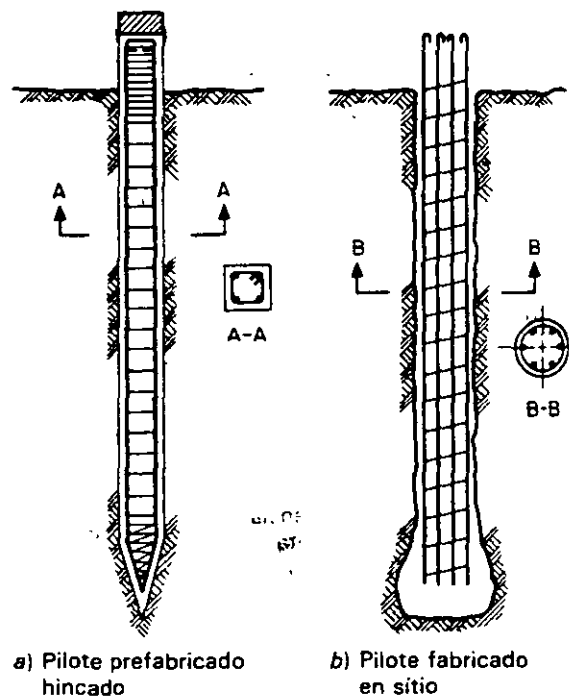


Figura 4.5. Mecanismos de resistencia de pilotes de punta y de fricción.

En cuanto a su proceso constructivo, se pueden dividir los pilotes en prefabricados y colados en el lugar (ver figura 4.6). El proceso constructivo influye en forma importante en el comportamiento de los pilotes, los prefabricados se hincan en el terreno, generalmente por impacto, produciendo el desplazamiento del suelo para dar paso al pilote, esto provoca una perturbación del suelo que altera sus propiedades mecánicas. Los pilotes colados en el lugar requieren una perforación previa que no implica desplazamiento del suelo y por tanto produce una menor perturbación de las propiedades de éste. Una ventaja de los pilotes prefabricados es que su hincado constituye de hecho una prueba.

carga que asegura una capacidad mínima una vez colocados en su lugar, sin embargo, no existe garantía de que el pilote vuelva a soportar la carga que se aplicó durante su hincado.



**Figura 4.6.** Pilotes hincados y pilotes colados en perforación previa.

La figura 4.7 muestra algunos de los tipos más comunes de pilote. En cuanto al material, éstos suelen ser de madera, de sección circular, de acero, en general de sección tubular o en H, o de concreto reforzado o presforzado de sección circular, triangular, cuadrada o poligonal. Los pilotes de madera se usan donde abunda este material y generalmente como pilotes de fricción. Su duración puede ser indefinida si se utilizan en terreno exento de variaciones importantes de humedad, por ejemplo, si se encuentran en el agua o en un terreno saturado sin cambios en el nivel freático; sin embargo, su duración puede no exceder de pocos años si se someten a ciclos continuos de humedecimiento y secado.

Los pilotes de acero tienen la ventaja sobre los de concreto de que, por su menor peso y por sus paredes delgadas (secciones tubulares o en H), facilitan el hincado por el efecto de cuchilla de sus paredes. Por otra parte, una vez instalados, se forma en sus extremos un tapón de suelo que asegura un efecto de punta similar al que se tiene en una sección cerrada. La corrosión no es crítica si los pilotes de acero están hincados en un suelo inalterado sin variaciones en el nivel de agua; de lo contrario requieren una protección anticorrosiva.



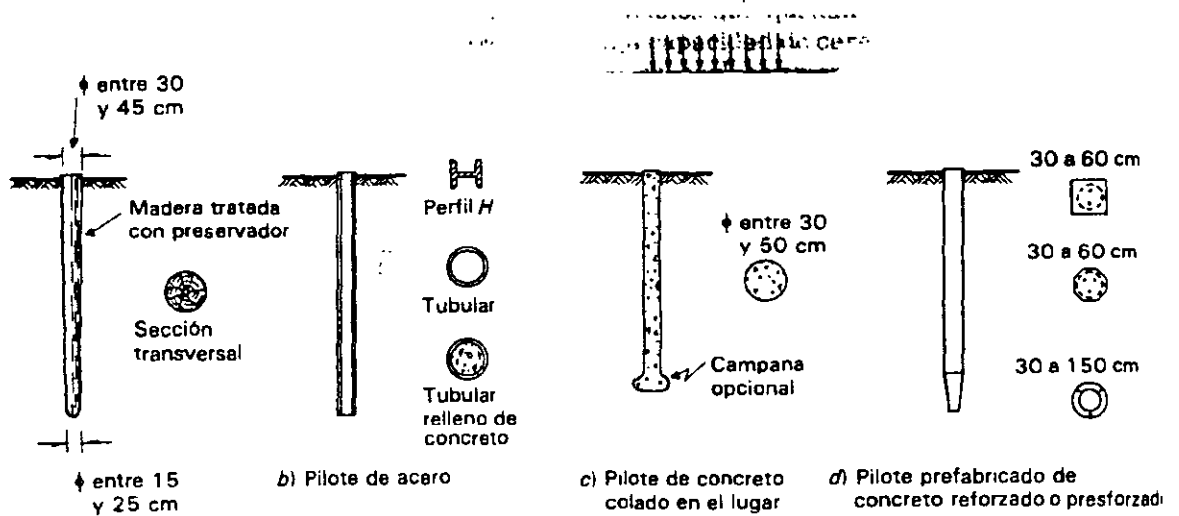


Figura 4.7. Tipos más comunes de pilotes.

Los pilotes de concreto garantizan un mejor desempeño en lo referente a durabilidad ante condiciones agresivas. Los prefabricados en planta suelen ser presforzados, ya que así requieren menor sección y refuerzo para soportar las solicitaciones por manejo e hincado.

Las pilas son colocadas en el lugar en una excavación previa; existen diversos métodos de excavación que incluyen el hincado previo de un cilindro que forma después la pared exterior de la pila.

Los pilotes pueden ser inclinados cuando se utilizan para tomar cargas horizontales importantes y suelen colocarse en grupos debajo de una zapata, o cabezal, o de una losa de cimentación.

Aunque la función más común de los pilotes es la de transmitir cargas de compresión a los estratos resistentes del suelo, en ocasiones se emplean también para tomar tensiones. Tal es el caso de una estructura ligera enterrada abajo del nivel freático y que recibe por empuje hidrostático una subpresión mayor que su propio peso (ver figura 4 8); se colocan pilotes para que en su trabajo por fricción equilibren las fuerzas que tienden a hacer emerger la estructura. En caso de construcciones muy esbeltas, es probable que las cargas laterales de sismo o viento provoquen momentos de volteo que impliquen la aparición de tensiones en los pilotes de uno de los extremos de la base de la estructura (ver figura 4 8) y que este efecto rija la longitud necesaria del pilote.

La distribución de las cargas de la estructura a los pilotes se realiza por medio de elementos auxiliares de cimentación, como zapatas, dados o losas continuas. Cuando no es posible contar con una cimentación continua que abarque toda el área de la construcción, la transferencia de carga se hace a través de zapatas aisladas dados o contratrabes, debajo de las cuales se coloca el número de pilotes necesarios para resistir la carga transmitida por la columna correspondiente. Los pilotes se distribuyen bajo la zapata respetando los requisitos de espaciamiento y separación mínima del borde.

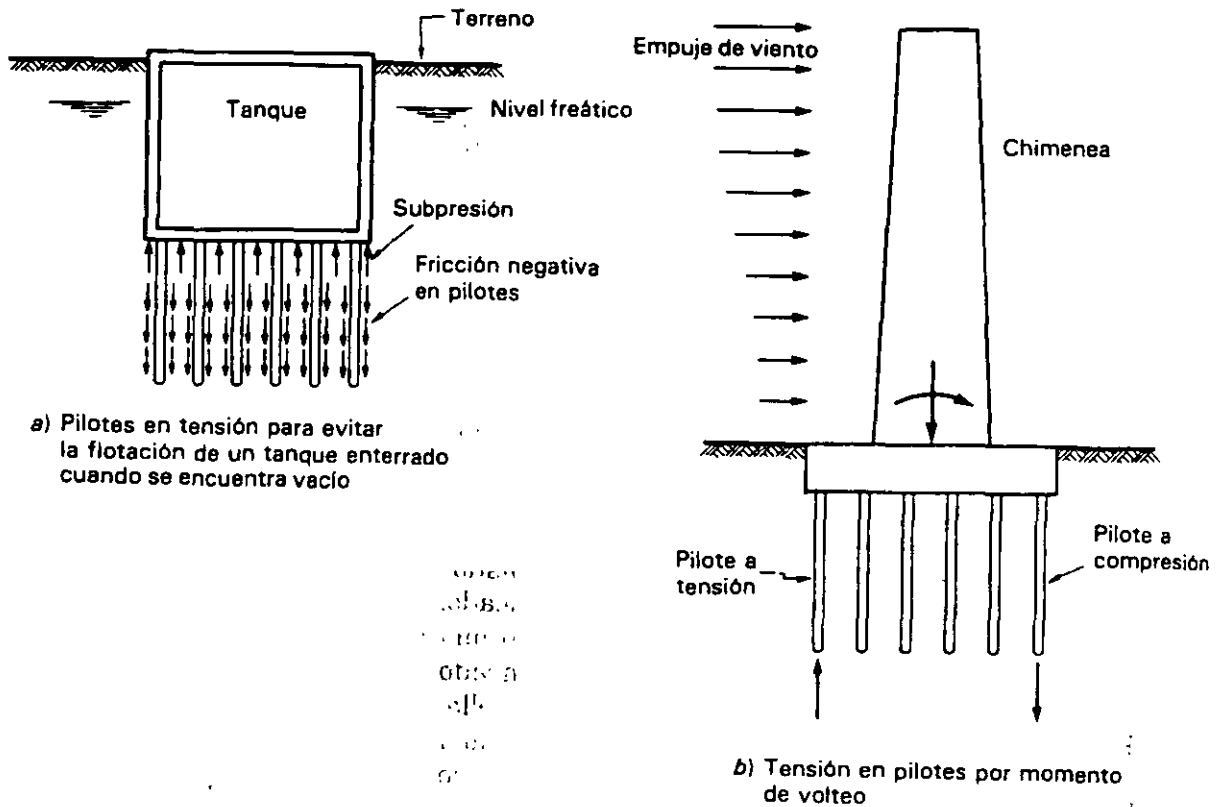
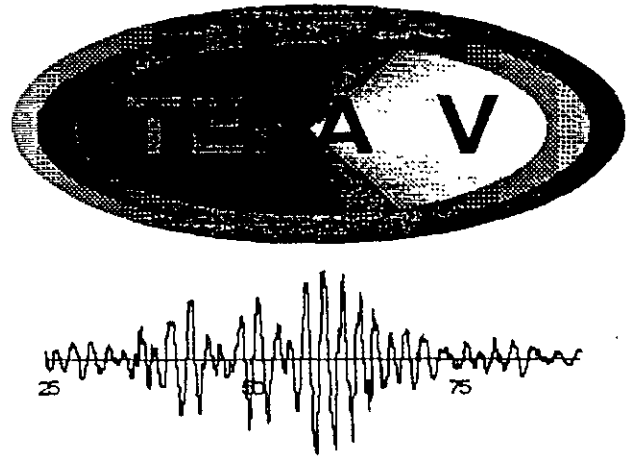


Figura 4.8. Ejemplos de trabajo en tensión de pilotes.

#### 4.8 Aspectos constructivos de la cimentación y protección a colindancias

La construcción de una losa de cimentación implica la excavación total del suelo bajo la construcción hasta cierto nivel. Con ello se está liberando el suelo subyacente de la carga de material excavado, de manera que, si la construcción de la cimentación y de la edificación se hace con la suficiente rapidez y con las debidas precauciones, la parte del peso de ésta (que iguala al del material excavado) no producirá incremento de esfuerzos ni hundimientos en el subsuelo. En los suelos saturados y poco permeables, como las arcillas de la cuenca del Valle de México, se aprovecha este principio para realizar cimentaciones flotantes, o por sustitución en que una cimentación de tipo cajón se coloca a una profundidad tal que sustituye totalmente o, en algunos casos, sólo parcialmente el peso del subsuelo.

Uno de los factores importantes en definir el sistema de cimentación son los problemas de excavación, bombeo o compactación que pueden presentarse; especialmente en lo que respecta al efecto que estas operaciones tienen en las construcciones existentes. Influye, además, de manera preponderante la disponibilidad de equipo y la experiencia local en los diferentes tipos de cimentación.



## EFFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS CONSTRUCCIONES

### 5.1 Introducción

El efecto de los sismos sobre las estructuras depende principalmente de las características dinámicas tanto de las estructuras como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, como de uno a otro, también dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras.

### 5.2 Características dinámicas.

Las características de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante el sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo y la frecuencia al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo. En general, en terrenos firmes la frecuencia es más alta que en terrenos blandos, lo que indica que el número de ciclos de oscilación del terreno por unidad de tiempo es mayor, sintiéndose el movimiento mucho más violento y rápido que en los terrenos blandos donde es más lento, pero los desplazamientos y la duración total suelen ser mucho mayores en el terreno blando.

Por otro lado, las características dinámicas de las estructuras no son fáciles de estimar correctamente, debido a las incertidumbres existentes en la determinación de las propiedades elástico-geométricas de los elementos que forman la estructura, a la variación de las propiedades al presentarse comportamiento inelástico durante el sismo, así como a incertidumbres en cuanto a la colaboración a la resistencia y rigidez de elementos no estructurales, que suelen participar en la respuesta sísmica debido a que es difícil desligarlos adecuadamente de la estructura; también es poco frecuente incluir la participación de la cimentación y del suelo circundante en la determinación de las propiedades dinámicas de una estructura.

Se define como rigidez lateral o de entrepiso a la oposición de la estructura a ser deformada entre un nivel y otro por las cargas horizontales aplicadas en cada nivel. Puede hablarse también de rigidez angular, que será la oposición de un nudo de una estructura o del extremo de un elemento estructural a girar al ser sometido a un momento flexionante; o de rigidez lineal, que será la oposición al desplazamiento relativo de un extremo de un miembro estructural con respecto a su otro extremo (ver figura 5.1)

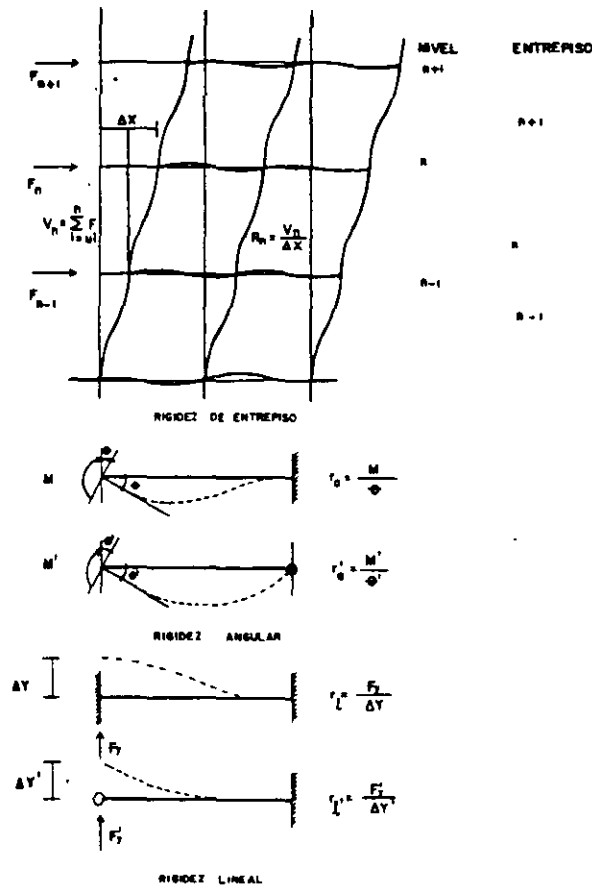


Figura 5.1. Rigidez de entrepiso, angular o lineal.

La rigidez, tanto de entrepiso como angular o la lineal, depende del tamaño de la sección transversal de los elementos estructurales, con la que se calculan las propiedades geométricas: áreas y momentos de inercia; de su longitud, de la forma en que están conectados a otros elementos y del material con que están hechos, lo que define las propiedades elásticas como módulo de elasticidad, módulo de Poisson y módulo de cortante.

La rigidez es una propiedad diferente a la resistencia. Hay elementos estructurales en que existe compatibilidad entre resistencia y rigidez, pero hay otros en que la rigidez es mucho mayor que la resistencia, como es el caso de los muros de mampostería. Asimismo, las propiedades elásticas del acero están mejor definidas que las del concreto reforzado o la mampostería.

Cuando el nivel de esfuerzos a que están trabajando los materiales es bajo, su comportamiento puede ser cercano al elástico, esto es, habrá proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones pero,

a medida que los esfuerzos crecen, el comportamiento deja de ser elástico, alcanzándose lo que se conoce como comportamiento no lineal o inelástico (ver figura 5.2).

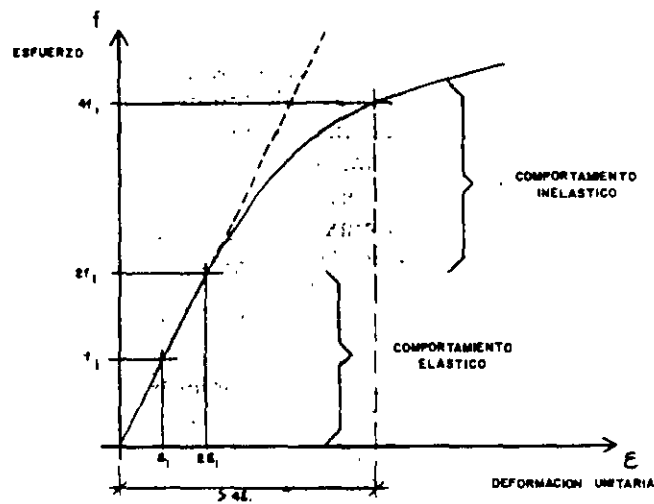


Figura 5.2. Comportamiento elástico e inelástico de los materiales.

Debido a lo anterior, en general se elaboran modelos matemáticos elásticos muy simplificados de las estructuras, pues, aún con ayuda de las computadoras, el problema real dista de ser manejable. Entre las características más importantes que pueden obtenerse de los modelos están los periodos oscilación en cada uno de los distintos modos en que pueden vibrar y las formas de estos modos, entendiéndose por periodo el tiempo que tarda en ocurrir una oscilación completa (ver figura 5.3).

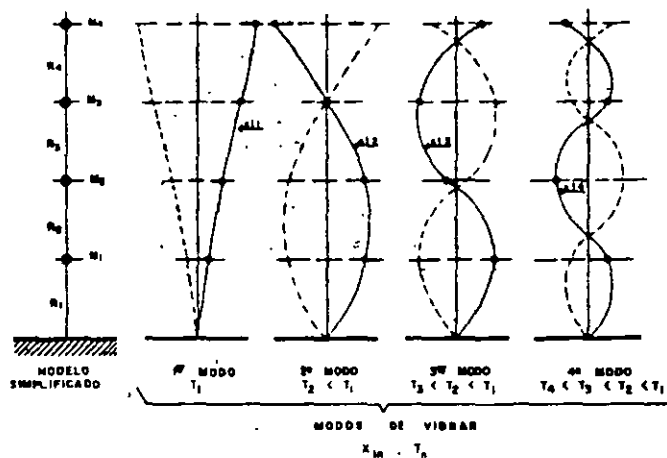


Figura 5.3. Modelo simplificado de un edificio y modos de vibrar.

Otras características importantes de las que depende la respuesta de la estructura son el amortiguamiento y la ductilidad que pueden desarrollarse. El amortiguamiento es una propiedad intrínseca de los materiales empleados, pero depende también de la forma en que se conecten los

miembros estructurales y no estructurales. Valores de amortiguamiento relativamente pequeños reducen considerablemente la respuesta sísmica de las estructuras.

Se conoce como amortiguamiento crítico el que tiene una estructura cuando, al separarla de su posición y soltarla no oscila sino que regresa a la posición de equilibrio, las estructuras suelen tener amortiguamiento del orden de 3 a 10% del crítico, siendo menor el de las estructuras metálicas, soldadas y sin recubrir, y mayor el de las estructuras de mampostería, con gran número de juntas. Puede aumentar algo al someter a las estructuras a grandes deformaciones. También puede aumentarse colocando amortiguadores de diseño especial.

La ductilidad de las estructuras es la propiedad de soportar grandes deformaciones inelásticas sin fallar ni reducir su capacidad de carga. Depende en gran medida de los materiales empleados y de los cuidados que se tienen al diseñarlas. Es una propiedad muy deseable en las estructuras situadas en zonas sísmicas.

### 5.3 Espectros de respuesta.

Conocidos los acelerogramas de temblores intensos es posible estimar la respuesta de modelos simples en función del tiempo y, por consiguiente, la respuesta máxima que puede ocurrir en un instante dado. Esto puede hacerse considerando que el comportamiento de la estructura será elástico en todo el evento o bien que se incursionará en el intervalo de comportamiento inelástico a partir de un cierto valor de la respuesta.

La gráfica que relaciona las respuestas máximas de distintas estructuras sometidas a una misma excitación con sus periodos de oscilación recibe el nombre de espectro de respuesta (ver figura 5.4). Según el tipo de comportamiento que se haya considerado se tendrán espectros de respuesta elástico o espectros de respuesta inelásticos.

Normalmente estos espectros se obtienen suponiendo que las estructuras tienen distintos valores del porcentaje de amortiguamiento crítico, pues, como se dijo antes, un pequeño valor de éste es suficiente para reducir considerablemente la respuesta. Los valores empleados normalmente en cálculos de este tipo son 0, 2, 5, 10 y 20% del amortiguamiento crítico (ver figura 5.5)

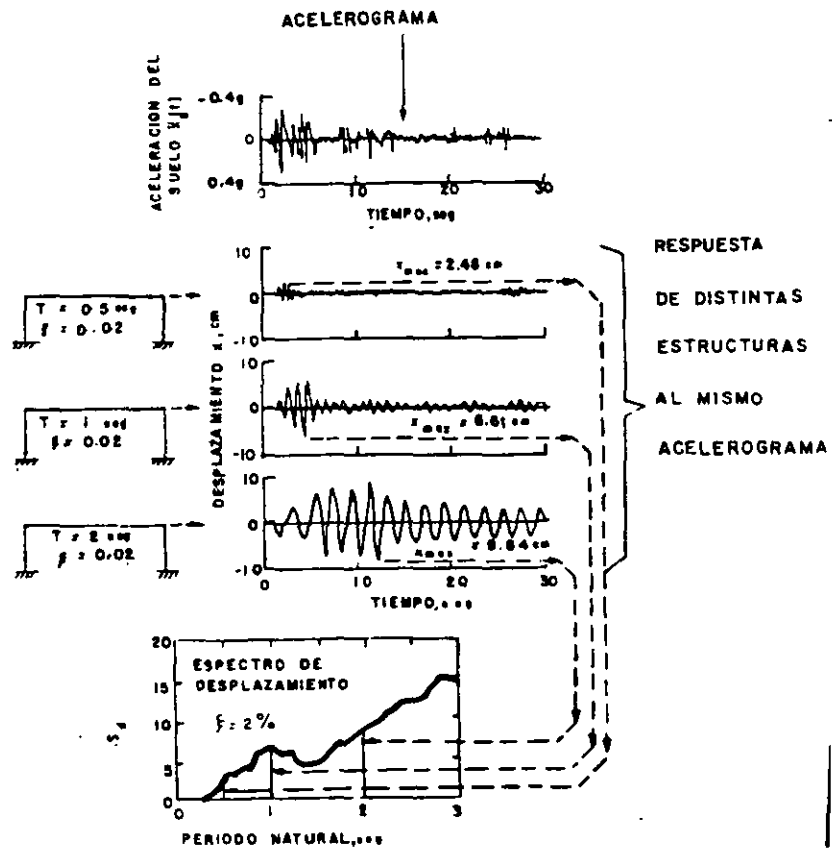


Figura 5.4. Construcción de un espectro de respuesta.

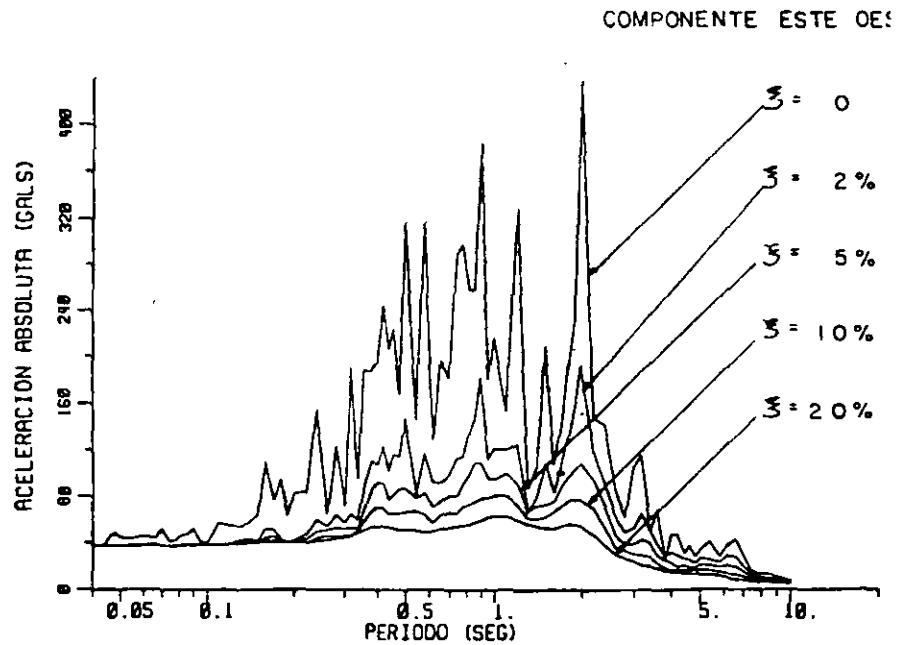


Figura 5.5. Espectros de respuesta para la componente N-S. Registro De C.U.

El tipo de terreno en que se haya obtenido el acelerograma es muy importante, pues las características dinámicas de la excitación varían en función de esto. Como ya se indicó en suelos firmes las vibraciones son rápidas, mientras que en suelos blandos las oscilaciones son de menor frecuencia, esto es, su periodo es relativamente más largo. Esto modifica la forma de los espectros de respuesta.

Las respuestas que suelen calcularse son desplazamientos, velocidades o aceleraciones, pues a partir de ellas se puede calcular cualquier efecto que se desee conocer en la estructura como, por ejemplo, momentos de volteo en la base, fuerzas cortantes en cualquier nivel, esfuerzos en alguna sección, etc.

Normalmente los acelerogramas tienen periodos que varían dentro de una banda de valores relativamente ancha, sin embargo, en cierto tipo de suelo y bajo condiciones especiales puede haber algún periodo dominante en particular, como ocurrió en el sismo del 19 de septiembre de 1985, en el acelerograma obtenido en el centro SCOP, en el que se observa un periodo muy definido de dos segundos de duración. Esta situación conduce al problema dinámico conocido como resonancia, que consiste en una amplificación excesiva de la respuesta de aquellas estructuras que tienen algún periodo de oscilación muy parecido al de la excitación, lo que puede llevarlas al colapso total, sobre todo cuando la duración del evento es grande.

Es muy fácil demostrar por medio de una mesa vibradora, en la que se coloquen modelos de estructuras con diferentes periodos de oscilación, que la respuesta de uno de ellos se puede amplificar considerablemente moviendo la mesa con un periodo igual al de ese modelo, observándose que los otros no sufren mayores oscilaciones. Al cambiar el periodo de la oscilación, se excitará algún otro modelo, y así sucesivamente.

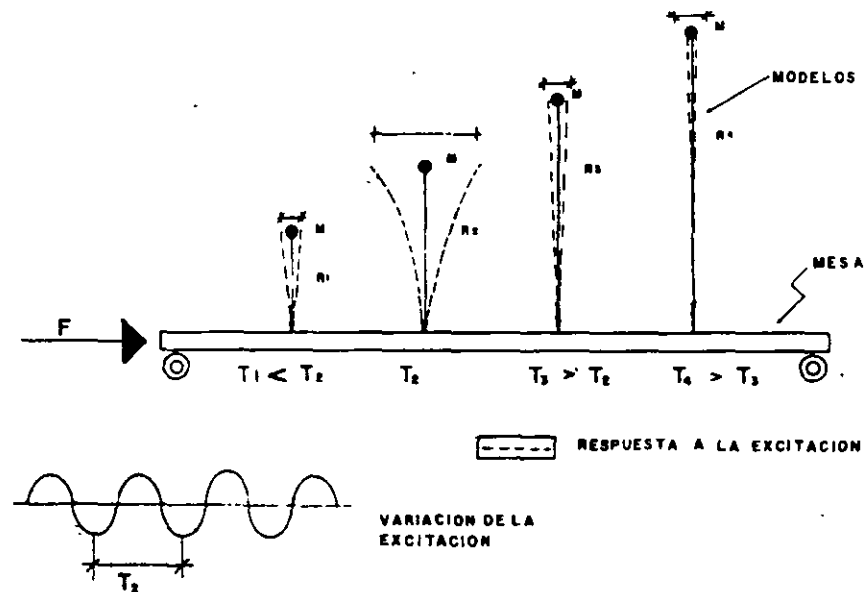


Figura 5.6. Demostración de la resonancia.



## 5.4 Criterios de diseño sísmico adoptados en el RCDF.

Los criterios de diseño por sismo (filosofía de diseño sísmico) adoptados hasta ahora por la mayor parte de los reglamentos de construcción de los países que tienen problemas sísmicos establecen la necesidad de diseñar las estructuras para resistir:

*Sin daños, para sismos de baja intensidad, de ocurrencia relativamente frecuente.*

*Prevenir daños estructurales y minimizar daños no estructurales que pudieran ocurrir en sacudidas ocasionales de intensidad media y*

*Evitar el colapso o daños serios en caso de sacudidas del terreno de intensidad extrema, pero de probabilidad de ocurrencia muy baja, permitiendo daños no estructurales y aún estructurales en este caso. Esto obedece, a motivos económicos, considerando muy baja la probabilidad de que se presente un sismo muy intenso, igual o mayor que el propuesto para diseño, durante la vida útil de la estructura.*

Sin embargo, se reconoce que, *los datos estadísticos actuales no permiten desarrollar correctamente estos criterios de diseño*, lo cual fue claramente demostrado con el sismo de septiembre de 1985 que rebasó ampliamente las previsiones que se tenían para diseño.

En los criterios en vigor se aprovecha la propiedad de ductilidad de las estructuras, la que también es útil para compensar la subestimación del máximo sismo que puede presentarse en un lugar, por falta de información adecuada, como ocurrió en el sismo de 1985.

En los reglamentos se proponen usualmente valores máximos para diseño, estimados con base en la información estadística de que se disponga, considerando que las estructuras tienen comportamiento elástico. Suelen proponerse espectros para diseño, obtenidos como una envolvente de espectros de respuesta de distintos temblores, escalados a una cierta intensidad. Para el cálculo de las fuerzas equivalentes al sismo se permite reducir por ductilidad los valores máximos antes mencionados, dependiendo del tipo de estructura, ya sea de marcos rígidos, muros de carga y rigidez, o combinación de estos sistemas, de la regularidad de la estructura, de los materiales con que está hecha y de los cuidados que se tengan en el detallado y construcción.

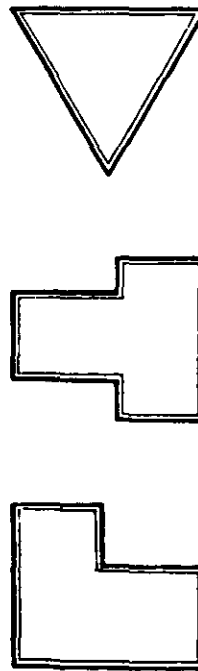
## 5.5 Recomendaciones sobre estructuración.

Con base en la experiencia obtenida en muchos temblores ocurridos en distintas partes del mundo para lograr un mejor comportamiento sísmico, se ha elaborado una serie de recomendaciones sobre estructuración entre las más importantes están las siguientes (ref. 4, 5, 6 y 7).

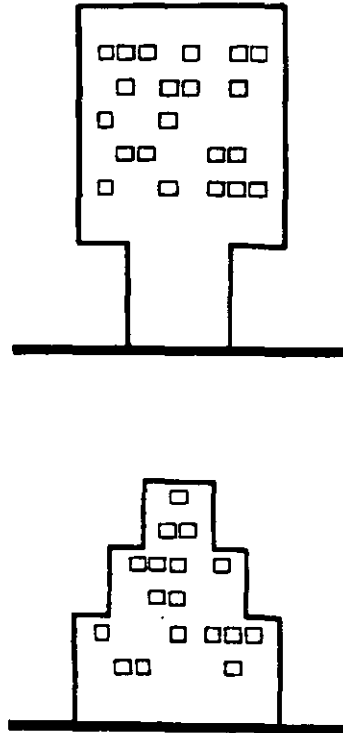
- A) Poco peso.
- B) Sencillez, simetría y regularidad tanto en planta como en elevación.
- C) Plantas poco alargadas
- D) Uniformidad en la distribución de resistencia, rigidez y ductilidad.

- E) Hiperestaticidad y líneas escalonadas de defensa estructural.
- F) Formación de articulaciones plásticas en elementos horizontales antes que los verticales.
- G) Propiedades dinámicas adecuadas al terreno en que se desplantará la estructura.
- H) Congruencia entre lo proyectado y lo construido.

Se recomienda que las estructuras sean ligeras pues las fuerzas debidas al sismo surgen como consecuencia de la inercia de las masas a desplazarse, por lo que, entre menos pesen, menores serán los efectos de los sismos en ellas. Conviene también que sean sencillas, para que los modelos matemáticos sean realistas, pues una estructura muy compleja, mezclando distintos tipos de sistemas estructurales y materiales, no es fácil de modelar; que sean simétricas para reducir efectos de torsión, por lo que se debe evitar las plantas en forma de L, T, C y triangulares (ver figura 5.7); que no sean muy alargadas en planta, ni en elevación, para reducir la posibilidad de que el movimiento de un extremo del edificio sea diferente al del otro extremo, lo que causaría efectos usualmente no previstos; en elevación, para reducir los efectos de volteo, que encarecen considerablemente las cimentaciones. Se deben evitar los remetimientos en elevación (ver figura 5.8), pues los cambios bruscos en masa o rigidez propician amplificaciones dinámicas importantes (chicoteo), que suelen provocar daños graves. Lo mismo puede decirse con respecto a cambios en la forma de la planta, debiendo limitarse la extensión de apéndices que sobresalgan, como en el caso de formas simétricas en cruz o en H.



*Figura 5.7. Plantas irregulares de edificios.*



**Figura 5.8.** Elevaciones irregulares de edificios.

Conviene que la resistencia y la rigidez de la estructura estén repartidas uniformemente, sin concentrarse en unos cuantos elementos resistentes, o con variaciones grandes en los claros entre columnas o en las dimensiones de las trabes y de las columnas. Entre mayor hiperestaticidad tiene una estructura, es mayor el número de secciones estructurales que deben fallar antes de que la estructura colapse; asimismo, si se planea que haya elementos que fallen antes que otros, se pueden dar la posibilidad de evitar grandes daños a toda la estructura. Estos elementos deben colocarse adecuadamente para que su recuperación (reparación) sea sencilla. El problema de satisfacer esta condición es que se requiere analizar varias etapas del comportamiento, para verificar que los elementos estructurales que van quedando son capaces de soportar el sismo sin colapsar.

Se debe buscar una estructuración a base de columnas fuertes - vigas débiles para lograr mecanismos que pueden evitar más fácilmente el colapso de la estructura ya que el comportamiento sísmico de las trabes, es mucho mejor que el de las columnas.

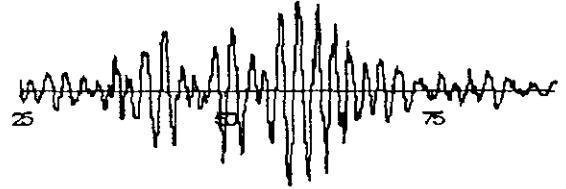
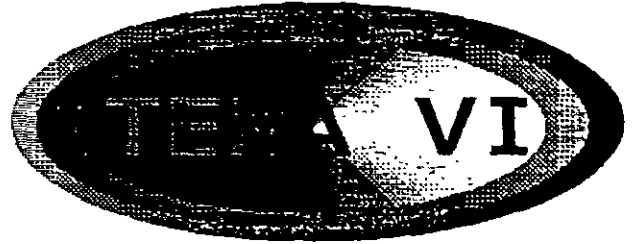
Se recomienda también buscar que las propiedades dinámicas de la estructura sean congruentes con las del suelo en que está desplazada; en general se dice que en suelos firmes se comportan mejor las estructuras flexibles y en suelos blandos las estructuras rígidas. Lo que trata de evitarse con esta recomendación es la posible resonancia por coincidencia de las propiedades dinámicas de la estructura y del suelo, como la observada en algunos casos durante el sismo del 19 de septiembre de 1985.

Finalmente, es recomendable también que lo que se construye sea congruente con lo que proyecta; en muchas ocasiones, al proyectar una estructura se decide no aprovechar la colaboración

de muros de relleno, debido a la posibilidad de que sean eliminados para dejar libertad en la distribución de espacios en el proyecto arquitectónico de los distintos niveles; sin embargo, suele no detallarse adecuadamente la forma en que estos muros deben construirse, desligados de la estructura, para permitir que ésta se deforme sin recargarse en ellos, pues si lo hace les transmitirá buena parte de la fuerza sísmica que debía absorber, debido a que los muros, sobre todo cuando son de mampostería, tienen una rigidez intrínseca bastante alta en su plano, aunque su resistencia no sea compatible con esa rigidez, como se mencionó antes. Si los muros de relleno colaboran con la estructura para resistir los efectos sísmicos sin haber sido calculados para absorber la fuerza que les corresponde en función de su rigidez, el comportamiento de la estructura será muy distinto al supuesto en el proyecto estructural, pudiendo presentarse muchos daños.

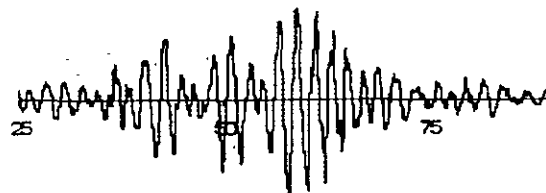
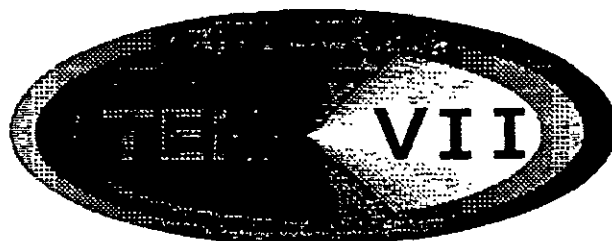
En algunos casos la colaboración de los muros no estructurales evita el colapso de estructuras subdiseñadas, si su colocación es relativamente simétrica y tiene continuidad de un piso a otro. Pero cuando su colocación es asimétrica, como ocurre en los muros de colindancia de edificios en esquina o cuando son discontinuos, como ocurren en edificios de departamentos en que la planta baja o algunos otros niveles no tienen muros porque se destinan a estacionamiento o comercios, la colaboración de los muros de relleno puede ser causa de daños muy graves o aún de colapso total de la estructura, al propiciar efectos torsionantes importantes en el primer caso o una condición de piso "suave" en el segundo.

El cambio de cargas, propiciada por un cambio en el uso de la construcción, con respecto al proyecto suele ser también causa de daños importantes en las estructuras. Usualmente un edificio diseñado para resistir el efecto combinado de cargas verticales y cargas de sismo puede soportar sin problemas sobrecargas verticales importantes mientras no tiemble; pero, si existe sobrecarga al momento de un sismo, los efectos de este se verán doblemente amplificados, por lo que pueden ocurrir daños importantes o colapsos parciales o totales.



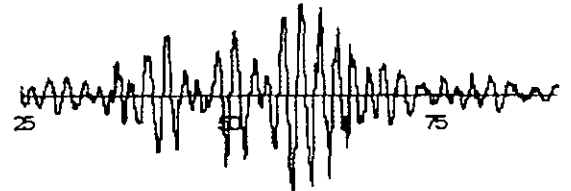
## **APLICACIÓN DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES EN LA PROTECCIÓN CIVIL**

(Ver archivo y presentación en disco compacto)



**NORMAS TÉCNICAS  
COMPLEMENTARIAS**

**(Ver archivo en disco compacto)**



## EVALUACIÓN RÁPIDA DE INMUEBLES

### 8.1. Introducción

A raíz de un sismo es indispensable conocer el estado de seguridad estructural que guardan las construcciones, en un principio, una inspección y revisión rápida puede proporcionar información que permita a los usuarios y autoridades tomar acciones concernientes a salvaguardar la integridad física de los primeros y prevenir efectos secundarios que afecten a terceros. El objetivo es la inspección y revisión rápida de edificaciones en una zona de la ciudad previamente determinada para identificar las edificaciones con seguridad aceptable y las que requieren pasar a una *Evaluación Detallada*.

Para lo anterior es necesario integrar un equipo de evaluación formado por dos personas relacionadas con aspectos estructurales de la construcción de edificios como ingenieros civiles o arquitectos, con el fin de poder reconocer con facilidad daños estructurales o situaciones no usuales. Lo anterior se debe a la existencia de una gran diversidad de construcciones en su mayoría con características estructurales similares pero que su estructura se encuentra, en la mayoría de los casos, cubierta por acabados o elementos de fachada, lo que hace que ésta sea difícil de identificar, muchas veces a simple vista, por lo que, es conveniente una preparación previa de aquellas personas que van a realizar tal inspección.

Uno de los inconvenientes que tiene este tipo de evaluación es que se basa en un juicio de carácter subjetivo realizado por las personas que realizan la inspección.

### 8.2 Procedimiento de Evaluación Rápida

El procedimiento de *Evaluación Rápida* se basa en observar detalladamente las condiciones de daño o aspectos de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación clasifique como *habitable, seguridad en duda o insegura*.

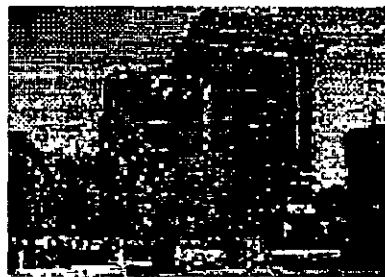
Los inspectores deben primeramente identificar el tipo de estructura y a sus elementos para revisar las evidencias de fallas en la estructura como: derrumbe parcial, inclinación, daño severo en elementos estructurales y no estructurales, así como las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como insegura. La revisión de la edificación en la mayoría de los casos es exterior con el objeto de reducir el tiempo de ejecución de esta evaluación.

En la tabla 8.1 se indican los criterios básicos con los que se debe revisar la edificación.

*Tabla 8.1. Criterios básicos para la evaluación rápida*

CONDICIÓN	AVISO
1.- Derrumbe total o parcial de edificaciones, edificación separada con respecto a su cimentación o falla de ésta. Hundimientos provocados por el sismo o cualquier otro tipo de evento.	Insegura
2.- La edificación o cualquiera de sus pisos se encuentra <b>apreciablemente</b> inclinada	Insegura
3 - Daños <b>importantes</b> en elementos estructurales (columnas, vigas, muros losas, etc.).	Insegura
4.- Daño severo en muros no estructurales, escaleras o cubos de ascensores.	Insegura
5.- Grietas <b>grandes</b> en el terreno, movimiento masivo del suelo.	Insegura
6.- Elementos de fachada, vidrios, chimeneas u otros elementos en peligro de caer.	Área insegura
7.- Presencia de otros tipos de riesgo (p. ej., derrames tóxicos, peligro de contaminación, líneas de gas rotas, líneas de emergencia caídas).	Área insegura

En las fotografías 8.1 a 8.7 se presentan algunos casos ilustrativos de los criterios para la *Evaluación Rápida*.



*Foto 8.1. Criterio 1. Derrumbe total o parcial.*





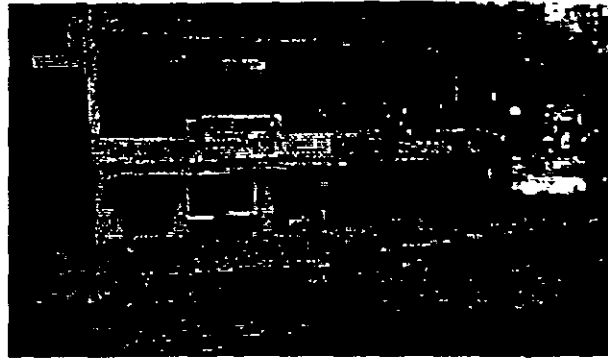
*Foto 8.2. Edificio desplomado. Criterio 2. La edificación, o cualquiera de sus pisos, se encuentra apreciablemente inclinada.*



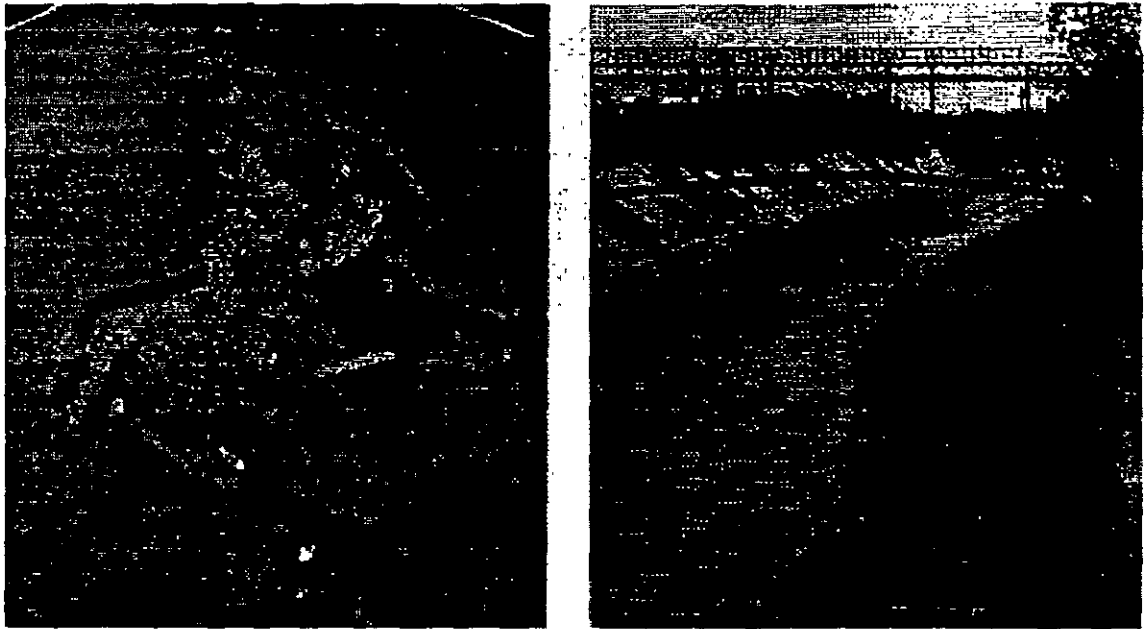
*Foto 8.3. Criterio 3. Daños en elementos estructurales (columnas, vigas, muros, losas, etc.).*



*Foto 8.4. Criterio 4. Daño severo en muros no estructurales.*

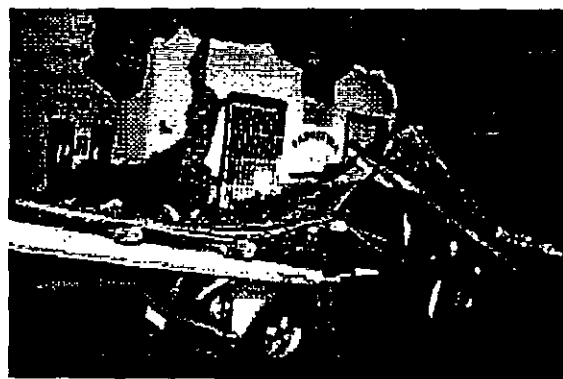


*Foto 8.5. Asentamiento.*



*Foto 8.6. Asentamientos. Grietas en el terreno.*

*Criterio 5. Grietas grandes en el terreno, movimiento masivo del suelo (Fotos 8 5 y 8 6).*



*Foto 8.7. Criterio 6. Elementos de fachadas u otros elementos caídos y en peligro de caer.*

### 8.3 Clasificación del estado de la edificación.

Las edificaciones con seguridad aceptable son clasificadas como *habitables*. Las estructuras que no pueden ser clasificadas claramente dentro de las categorías de *habitables* o *insegura* se las debe clasificar en la categoría de *seguridad en duda*. Esta se debe emplear cuando existen dudas concernientes a la condición de seguridad estructural existente. En los casos de peligro de caída, volteo de objetos u otros peligros, la zona afectada se debe clasificar como *área insegura*.

Las edificaciones clasificadas con *cuidado* o *insegura* deben ser sometidas a la evaluación posterior denominada *Evaluación Detallada*. Este requisito y el tipo de inspección necesaria (estructural, geotécnica, eléctrica, otra) deben ser señalados en la forma de inspección.

### 8.4 Pasos a seguir en la Evaluación Rápida.

Se sugiere la siguiente secuencia en la realización de la inspección:

- 1- Examinar detalladamente el exterior de la estructura con objeto de detectar la presencia de grietas, desplomes, rotura de tuberías recubrimientos a punto de caer o flojos.
- 2- Observar el suelo alrededor de la estructura, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, desplazamiento de talud o expansión del terreno.
- 3- Entrar en la edificación cuando ésta no pueda ser observada adecuadamente desde el exterior, cuando haya dudas o se tenga conocimiento de problemas como caída de cielos rasos o plafones, aplanados, recubrimientos, muros o elementos estructurales dañados etc. No se debe entrar en edificaciones obviamente inseguras (derrumbes parciales, desplomes visibles o muy dañada).
- 4- Evaluar la estructura de acuerdo con los siete criterios básicos de la tabla 8.1. Se debe recordar que el peligro de derrumbe puede presentarse por el mal estado de edificaciones vecinas. Debe revisarse si las salidas de la edificación son seguras y no se encuentran obstruidas.
- 5- Llenar la *Forma para inspección postsísmica – Evaluación Rápida* (ver figura 8.1). En dicha forma se anota la información básica que ayuda a identificar las edificaciones que se evalúa, su ubicación, el estado en que se encuentra y las conclusiones de esta evaluación. La *zonificación* propuesta de la ciudad para efectuar la evaluación que se menciona corresponde a la división de la ciudad realizada por las autoridades para ejecutar esta inspección postsísmica.
- 6- Clasificar la edificación de acuerdo con los resultados de la evaluación. Llenar los avisos para evaluación e indicar en ellos si la revisión fue *exterior e interior* o si se realizó en el *exterior* únicamente (ver figuras 8.2 a 8.4). Colocar avisos de resultados de la evaluación en cada una de las entradas.
- 7- En su caso explicar verbalmente el significado de *seguridad en duda e insegura* a los ocupantes de la edificación y avisar que deben desocuparla inmediatamente. También se debe restringir acceso a las áreas designadas como inseguras, colocando algún tipo de barreras, por ejemplo cintas de algún color vivo que lleven la inscripción *PELIGRO*.

**Forma para inspección postsísmica. Evaluación rápida.**

**Identificación del edificio**

Zonificación propuesta de la ciudad para efectuar la evaluación \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Colonia: \_\_\_\_\_

Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azoteas y mezanines) \_\_\_\_\_

Sótanos      Si       No       Núm \_\_\_\_\_      Desconocido

Uso    Casa habitación     Departamentos     Comercios     Oficinas públicas

          Oficinas privadas     Industrias     Estacionamientos     Bodegas

          Educación     Recreativo     Otro: \_\_\_\_\_

Información adicional \_\_\_\_\_

---

**Instrucciones**

Revisar la edificación para las condiciones señaladas abajo. Con un *Si* a cualesquiera de las preguntas 1,2,3,4,5, marcar la edificación como *Insegura*. Con un *Si* a las preguntas 6 o 7 marcar *Área Insegura* y colocar barreras alrededor de la zona en peligro. Si en esta evaluación existen dudas se debe marcar *Seguridad en duda*.

**Estado de la edificación**

	Si	No	Existen dudas
1.- Derrumbe total o parcial, edificación separada de su cimentación o falla de ésta. Hundimiento.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.- Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.- Daño en miembros estructurales (columnas, vigas, muros, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Daño severo en muros no estructurales, escaleras, etc.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Grietas, movimiento del suelo o deslizamiento de talud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.- Pretiles, balcones ú otros elementos en peligro de caer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.- Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*Figura 8.1. Forma para evaluación rápida*

<b>Clasificación global</b>	
<b>Habitable</b> <input type="radio"/>	
Inspección exterior únicamente <input type="radio"/>	
Inspección interior y exterior <input type="radio"/>	
<b>Seguridad en duda</b> <input type="radio"/>	
<b>Insegura</b> <input type="radio"/>	
<b>Inspectores (Indicar profesión)</b>	
1.- _____	
2.- _____	
3.- _____	
<b>Fecha de inspección</b> _____	
<b>Recomendaciones</b>	
<input type="radio"/> No se requiere revisión futura	
<input type="radio"/> Es necesaria evaluación detallada (señalar) Estructural <input type="radio"/> Geotécnica <input type="radio"/> Otra _____	
_____	
<input type="radio"/> Área insegura (colocar barreras en las siguientes áreas) _____	
_____	
<input type="radio"/> Otros (remover elementos en peligro de caer, apuntalar, etc.) _____	
_____	
<b>Comentarios</b>	
Explicar los motivos principales de la clasificación _____	
_____	

Figura 8.2. Forma para evaluación rápida (continuación)

<b>H A B I T A B L E</b>	
(Evaluación rápida)	
Esta edificación ha sido inspeccionada y se puede ocupar. Favor de informar a las autoridades cualquier condición insegura.	
Comentarios: _____	
Dirección: _____	
Inspectores: _____	
Se efectuó revisión en el interior    Sí <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____	

*Figura 8.3. Aviso de "Habitable" para evaluación rápida.*

<b>SEGURIDAD EN DUDA</b>	
(Evaluación rápida)	
Esta edificación se encuentra dañada y su seguridad está en duda. Prohibida la entrada a personas no autorizadas. Entre únicamente por emergencia y bajo su propio riesgo.	
Comentarios: _____	
Dirección: _____	
Inspectores: _____	
Se efectuó revisión en el interior    Sí <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____	

*Figura 8.4. Aviso de "Seguridad en duda" para evaluación rápida.*

<b>I N S E G U R A</b>			
(Evaluación rápida)			
Esta edificación se encuentra seriamente dañada; es insegura. Peligro de lesiones o muerte. No entrar u ocupar.			
Comentarios: _____			
_____			
Dirección: _____			
Inspectores: _____			
Se efectuó revisión en el interior    Sí <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Fecha _____			

*Figura 8.5. Aviso de "Insegura" para evaluación rápida.*

### 8.5 Equipo para la evaluación

Para los procedimientos de evaluación *Rápida* se recomienda contar con el siguiente equipo.

a) Equipo básico para la evaluación:

- Plano de la zona por inspeccionar.
- Manual de *Evaluación Postsísmica* de la seguridad estructural de edificaciones.
- Formas de inspección, avisos de clasificación, grapas o cinta adhesiva.
- Cintas con la inscripción *PELIGRO* para evitar el acceso a áreas clasificadas como inseguras.
- Libreta de notas, pluma o lápiz.
- Linterna, lámpara y baterías extras.
- Cámara fotográfica, flash y rollo.
- Medidor de grietas.
- Cinta de medida.
- Nombres y números telefónicos de las oficinas de emergencia.
- Nivel de albañil, destornillador o cincel ligero.
- Calculadora (opcional)
- Gemelos (opcional)
- Plomada (opcional)

b) Artículos personales básicos

- Identificación personal.
- Identificación oficial
- Casco de seguridad.
- Botas.

## **8.6 Ejemplos de aplicación de la evaluación rápida**

Los ejemplos desarrollados en la exposición de este material tuvieron el propósito de mostrar la aplicación de la evaluación de seguridad postsísmica de acuerdo a los lineamientos anteriormente mencionados.



## Referencias

1 Mosser, F. "Geología del relleno cuaternario de la cuenca de México", Memorias del Simposio El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México, pp 1-13, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D. F. 1978.

2 Del Castillo, R. "Ciudad de México", Memorias del Simposio El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México, pp 15-50, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México D. F., 1978.

3 Jaime, A. Reséndiz D. Y Romo, M. F. "El Subsuelo del Valle de México; Propiedades dinámicas y zonificación, Facultad de Ingeniería e Instituto de Ingeniería, UNAM 1987.

4 Building Configuration & Seismic Design. Cristopher Arnold and Robert Reitherman, John Wiley. Traducido al español por Limusa con el título "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios", 1987.

5 Earthquake Resistant Design. A Manual for Engineers and Architects. David Dowrick, John Wiley, traducido al español por Limusa, con el título "Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos". 1984.

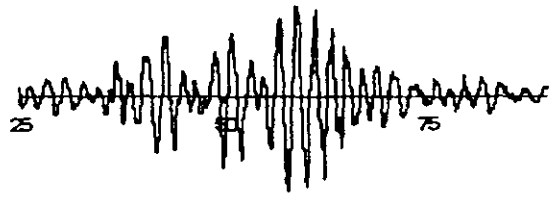
6 Manual de Diseño Sísmico de Edificios. Enrique Bazán y Roberto Meli. Editorial Limusa, 1985.

7 Estructuras de Concreto Reforzado. R. Park y T. Paulay. Editorial Limusa, 1979.

8 Diseño Estructural. Meli Piralla. 2<sup>da</sup>. Ed. Editorial Limusa. México 2000.

9 Manual de Evaluación Postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. México 2000.

10 Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985. Fundación ICA, A. C. Editorial Limusa. México 1988.



## LECTURAS RECOMENDADAS



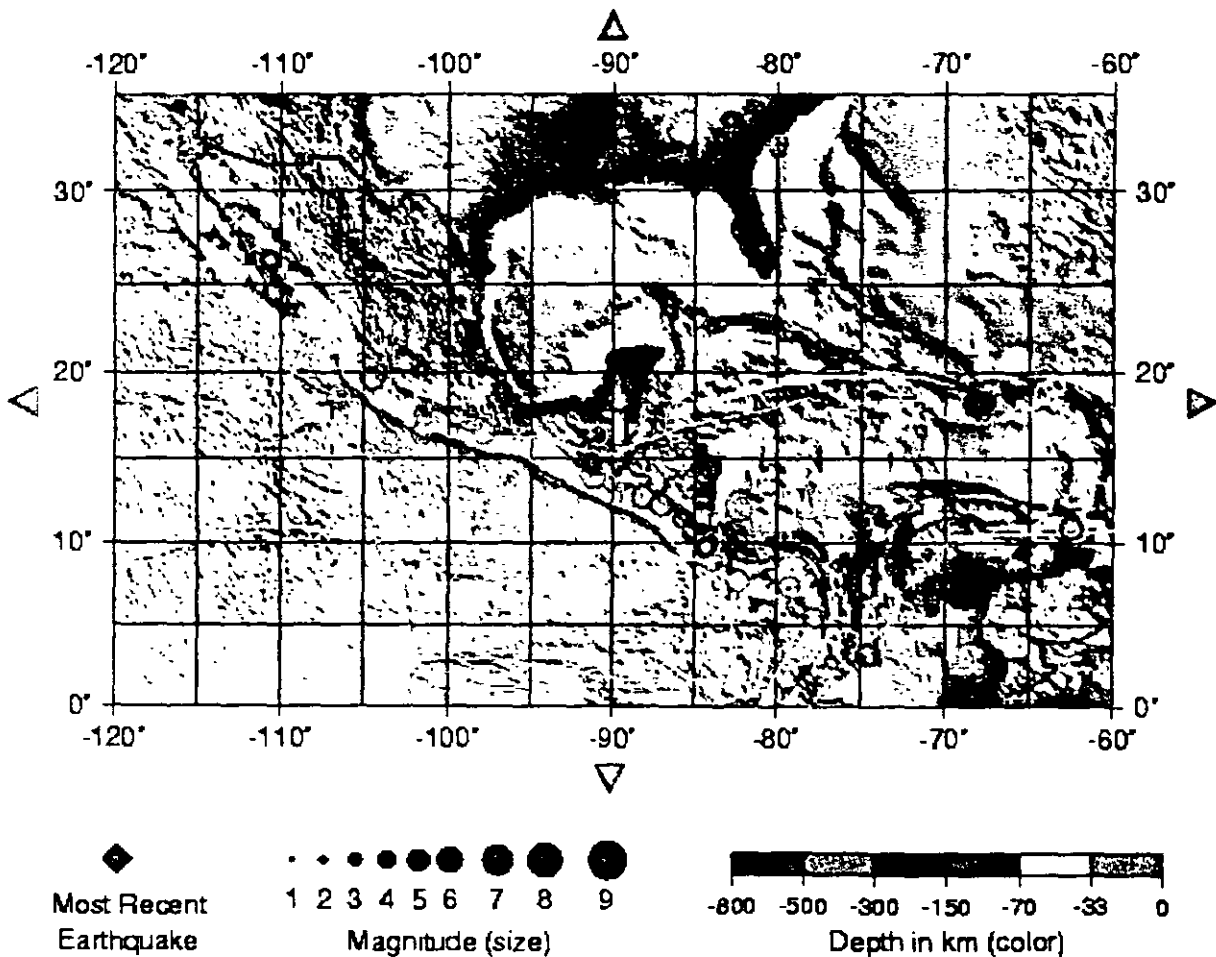
Earthquake Hazards Program

National Earthquake Information Center  
World Data Center for Seismology, Denver

# Current Seismicity for Mexico - Central America - Caribbean

Updated as of Tue Mar 25 06:08:14 UTC 2003.

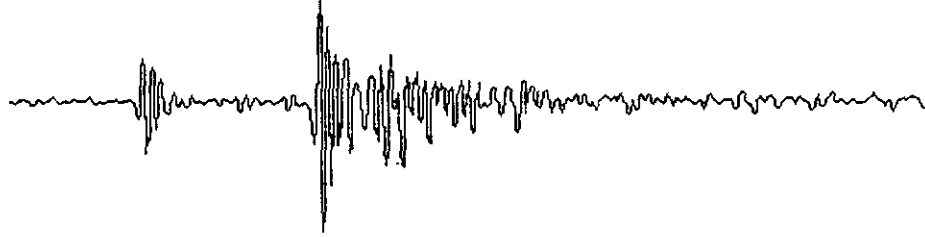
GUATEMALA 03/03/22 08:06.18 4.2M



*Plate boundaries in yellow.*

*Open circles: Earthquake Activity in the last 30 days.*

# SERVICIO SISMOLOGICO NACIONAL



## ¿ QUE HACER ANTE UN SISMO ?

La República Mexicana se encuentra en la zona conocida, popularmente como el cinturón de fuego del Pacífico, cuyo nombre se debe al alto grado de sismicidad y volcanismo presentes. Estas manifestaciones son consecuencia de la interacción entre dos placas tectónicas, en el caso de México la placa de Cocos y la Norteamericana, aquélla penetrando bajo ésta en un fenómeno conocido como subucción.

Aproximadamente el 70% de la actividad sísmica que afecta el territorio nacional se originan frente a las costas de Guerrero y Oaxaca. Por su cercanía, las ondas de estos sismos alcanzan fácilmente el centro del país que es la región más poblada y de mayor actividad económica.

La ciencia actual no ha encontrado la manera de predecir un sismo, por lo que no se puede saber por adelantado cuando ocurrirá uno de importancia. Aún así existen ciertas medidas básicas de seguridad que se pueden adoptar antes, durante y después de un sismo con el fin de reducir al mínimo los daños personales y patrimoniales.

ANTES	DURANTE	DESPUES
<p>1.-Platique en el hogar acerca de los sismos y otros posibles desastres y formule un plan de protección civil.</p> <p>2.- Participe y en su caso, organice programas de preparación para futuros sismos que incluyan simulacros de evacuación</p>	<p>SI USTED SE ENCUENTRA... BAJO TECHO (EN EL HOGAR LA ESCUELA O EL CENTRO DE TRABAJO)</p> <p>1.- Conserve la calma y tranquilice a las personas de su alrededor.</p> <p>2.- Si tiene oportunidad de salir rápidamente del inmueble hágalo</p>	<p>1.- Efectúe con cuidado una completa verificación de los posibles daños de la casa.</p> <p>2.- NO hacer uso del inmueble si presenta daños visibles.</p> <p>3.- NO encienda cerillos, velas, aparatos de flama</p>

<p>simulacros de evacuación.</p> <p>3.- Cumpla las normas de construcción y uso del suelo establecidas.</p> <p>4.- Recorra a técnicos y especialistas para la construcción o reparación de su vivienda , de este modo tendrá mayor seguridad ante un sismo.</p> <p>5.- Ubique y revise periódicamente, que se encuentren en buen estado las instalaciones de GAS, AGUA, y SISTEMA ELECTRICO. Use accesorios con conexiones flexibles y aprenda a desconectarlos.</p> <p>6.- Fije a la pared repisas, cuadros armarios, estantes, espejos y libreros. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de éstos, además asegure al techo las lámparas y candiles.</p> <p>7.- Tenga a la mano los números telefónicos de emergencia, un botiquín, de ser posible un radio portatil y una linterna con pilas.</p> <p>8.- Porte siempre una identificación.</p>	<p>inmediatamenmte, pero en orden. <b>RECUERDE: NO grite, NO corra, NO empuje, y dirijase a una zona segura.</b></p> <p>3.- NO utilice los elevadores.</p> <p>4.- Aléjese de libreros, vitrinas, estantes u otros muebles que puedan deslizarse o caerse, así como de las ventanas , espejos y tragaluces,</p> <p>5.- En caso de encontrarse lejos de una salida, ubíquese debajo de una mesa o escritorio resistente, que no sea de vidrio, cúbrase con ambas manos la cabeza y colóquelas junto a las rodillas. En su caso, dirijase a alguna esquina, columna o bajo del marco de una puerta.</p> <p>6.- Una vez terminado el sismo desaloje el inmueble y recuerde: <b>NO grite, NO corra, NO empuje.</b></p> <p><b>EN LUGARES DONDE HAY MUCHA GENTE.</b></p> <p>1.- Si se encuentra en un cine, tienda o cualquier lugar muy congestionado y no tiene una salida muy próxima, quédese en su lugar, cúbrase la cabeza con ambas manos colocándolas junto a las rodillas.</p> <p>2.- Si tiene oportunidad localice un lugar seguro para protegerse,</p> <p>3.- Si está próximo a una salida desaloje con calma el inmueble.</p>	<p>abierta o aparatos eléctricos, hasta asegurarse de que no haya fuga de gas.</p> <p>4.- En caso de fugas de agua o gas, repórtelas inmediatamente.</p> <p>5.- Compruebe si hay incendios o peligro de incendio y repórtelo a los bomberos.</p> <p>6.- Verifique si hay lesionados y busque ayuda médica de ser necesaria.</p> <p>7.- Evite pisar o tocar cuaquier cable suelto o caído.</p> <p>8.- Limpie inmediatamnete líquidos derramados como medicinas, materiales inflamables o tóxicos.</p> <p>9.-No coma ni beba nada contenido en recipientes abiertos que hayan tenido contacto con vidrios rotos.</p> <p>10.-No use el teléfono excepto para llamadas de emergencias; encienda la radio para enterarse de los daños y recibir información. Colabore con las autoridades.</p> <p>11.- Esté preparado para</p>
---	--	---

	<p><b>EN UN EDIFICIO ALTO</b></p> <p>1.- Protéjase debajo de una mesa, escritorio resistente, marco de una puerta, junto a una columna o esquina.</p> <p>2.- NO se precipite hacia la salida NI utilice elevadores.</p> <p><b>EN EL AUTOMOVIL.</b></p> <p>1.- En cuanto pueda trate de pararse en un lugar abierto y permanezca en el automovil; NO se estacione junto a postes, edificios u otros elementos que presenten riesgos, NI obstruya señalamientos de seguridad.</p> <p>2.- Si va en la carretera maneje hacia algún lugar alejado de puentes o vías elevadas y permanezca en su vehículo.</p> <p><b>EN LA CALLE</b></p> <p>1.- Aléjese de edificios , muros, postes, cables y otros objetos que puedan caerse. Evite pararse sobre coladeras o registros.</p> <p>2.- De ser posible vaya a una área abierta lejos de peligros y quédese ahí hasta que termine de temblar.</p>	<p>replicas). Las replicas, generalmente son mas leves que la sacudida principal. pero pueden ocasionar daños adicionales.</p> <p>12.-No propague rumores.</p> <p>13.-Aléjese de los edificios dañados.</p> <p>14.-Verifique los roperos, estantes y alacenas, abralos cuidadosamente, ya que le pueden caer los objetos encima.</p> <p>15.- En caso de quedar atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.</p>
--	---	---

(Fuente: SISMO GUIA, Instituto de Geofísica, SSN; Edición: Graciela Solache Ramirez)

# SISMO EN MEXICO: CUANDO EL OLVIDO SE VUELVE MIEDO

Paulino Sabugal Fernández

**Información Científica y Tecnológica** entrevistó a Carlos Valdés González, doctor en geofísica, con especialización en sismología por la Universidad de Wisconsin-Madison, investigador asociado C de tiempo completo del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y jefe del Servicio Sismológico Nacional desde 1973 (*corrección: desde 1993 hasta 1996*). Ha sido, además, responsable de la instalación y operación de diversas redes sismológicas en el país, también ha desarrollado líneas de investigación respecto a la sismicidad y su origen volcánico, en lo referente a temblores de magnitudes pequeñas con orientación específica a entender los procesos tectónicos que los generan y que gobiernan los grandes sismos, así como en cuanto a la evaluación y mitigación del riesgo sísmico. En diciembre de 1994, recibió el Premio al Mérito Civil, otorgado por el gobierno del estado de Puebla, por su destacada participación y apoyo al Programa de Protección Civil para la población que habita en la zona aledaña al volcán Popocatepetl

*Doctor Carlos Valdés, el propósito de esta entrevista es contribuir a través de nuestra revista, a disipar algunas dudas que en la actualidad se presentan con mucha frecuencia entre la población respecto de las recientes actividades sísmicas en nuestro país. Así la primera pregunta es ¿está temblando más hoy en día?*

En cuanto al número de temblores, no. Si comparamos 1995 con 1993, veremos que en aquel año registramos, catalogamos y clasificamos 920 sismos en la República Mexicana. En 1994, esa cifra era cercana a los 615, todos mayores de magnitud 3 en la escala de Richter. Para 1995, hasta el mes de junio, llevábamos registrados únicamente 157 sismos; pensábamos que la crisis también nos había afectado en cuanto a sismicidad, pero en el mes de septiembre ocurrieron 150 sismos. Aun así, sumando los 157 primeros y agregando los 150 posteriores, más otros cuantos, todavía no alcanzábamos la cifra de 400.

Claro que el año antepasado difícilmente sentimos alguno de ellos, aunque en 1993 ocurrió uno que causó un poco de alarma en la zona centro, y que tuvo su epicentro en las costas del estado de Chiapas, con magnitud 7.1. El problema que se presentó el año pasado es que hubo una serie de sismos que sí se sintieron. Y es que pensamos que sólo tiembla cuando nos percatamos, lo cual no es necesariamente cierto. La preocupación, claro está, es bien fundada: hubo un sismo el 14 de septiembre de 1995, después, el 9 de octubre se registró otro en Colima; ocurrió una réplica de ése el día 12 y, con posterioridad, se produjo uno más el 20 de octubre en Chiapas. Pero esto no es nuevo, en 1928, ocurrieron seis sismos mayores de magnitud 7 en nuestro país y, de hecho, cinco de ellos, fueron de más de 7.5. En 1908 había sucedido lo mismo,

*Desgraciadamente, septiembre está muy tristemente arraigado en la mente de los mexicanos;*

Sobre todo debido a que se cumplían diez años de que ocurrió aquel sismo. En ese sentido, hay una anécdota interesante: una de las tribus del estado de Washington, en los Estados Unidos, en la costa del Pacífico, que es también una zona de alta sismicidad, según cuentan las leyendas, celebraba una ceremonia especial una vez al año, en la cual instalaba una plataforma de madera suspendida con lianas atadas a postes muy altos; sobre esta plataforma los indios ponían el tipi ceremonial. Los miembros principales de la tribu permanecían sentados cuando entraba el sacerdote, quien sí se sostenía de un madero afianzado a esta plataforma. Al momento en que él entraba, comenzaban a mover desde fuera la plataforma y, como estaba suspendida por lianas -esencialmente era un columpio-, toda la gente rodaba y caía. La finalidad de esa ceremonia era recordar que vivían en una zona sísmica, por lo que debían estar preparados. Si nosotros la viéramos desde ese punto de vista, tales recordatorios nos servirían para afianzar la que todos debemos saber: vivimos en un país con alta sismicidad. Es un hecho, y es importante reconocer que no es que los sismos estén aumentando en número o en magnitud; si los comparamos con los que ya han acaecido, podremos darnos cuenta de que es esencialmente el mismo tipo de sismicidad que teníamos hace 100 años, hace mil años, y podemos hablar hasta de hace más de un millón de años. El proceso que genera los sismos, no sólo en nuestro país sino en el mundo, es muy antiguo, tiene que ver con la constitución de la Tierra, con que ésta permanezca viva. Si no hubiera sismos tampoco habría volcanes ni atmósfera. Lo que genera toda esta actividad es que la parte interna de la Tierra todavía está sumamente caliente: una de las formas en que se manifiesta esta radiación de calor es haciendo que se mueva poco a poco el material hacia la superficie y que desplace la que es la corteza o la cáscara del planeta. Irónicamente, lo único que podría hacer que dejara de haber sismos y volcanes sería apagar ese interior de la Tierra, pero, entonces, tampoco habría atmósfera ni vida. Otra razón muy importante por la cual nos preocupan un poco más los sismos es porque ahora los medios de comunicación nos permiten saber con una brevedad impresionante cualquier noticia al respecto, por ejemplo, que se produjo un temblor que devastó una ciudad en Turquía u otra en Japón,

*Y eso nos da la sensación de que hay más sismos.*

Sí. Aunque, de hecho, los números que manejamos, desde 1900 a la fecha, nos dicen que hemos tenido 85 ú 86 sismos, agregándolos más recientes, mayores de magnitud en nuestro país. Ya son sismos muy respetables, y esa cifra, si se realiza un promedio, aunque no se vale hacer promedios porque la actividad no es tan regular, nos daría un valor aproximado de un sismo mayor de magnitud 7 cada año y dos o tres meses, o cada año y un mes. Si por otra parte, analizamos los datos posteriores a 1985, tendremos que hasta después de ocho años se presenta otro sismo que rebasa los 7 grados de magnitud, que sería el caso del que se registró en 1993 en Chiapas; el siguiente año no ocurre ninguno y, en cambio, en 1995 se producen varios. Y, antes del sismo de 1985 ¿qué había ocurrido?; en 1979, hubo uno de magnitud 7.6 en las costas de Guerrero, muy cerca de Petatlán y de Zihuatanejo, que fue el que derribó el edificio de la Universidad Iberoamericana, y, un año antes, se había registrado otro cuyo epicentro se encontraba muy cerca de Puerto Escondido, Oaxaca, de magnitud 7.8. Podemos continuar retrocediendo de esa manera. Cuando puntualizamos, la gente dice " Ah, sí, sí me acuerdo de ése", y nos percatamos de que hay gran cantidad de sismos. Todo mundo sabe, por ejemplo, del sismo que derribó el Ángel de la



Independencia, pero poca gente tiene presente el que se registró en 1972 en Orizaba, esta vez no del lado del Pacífico, sino del Golfo, también mayor de magnitud 7.

*¿Los epicentros son los mismos siempre? Porque con mucha frecuencia se habla de Guerrero o de Oaxaca, pero ahora ocurrió en Chiapas, y más hacia el norte, en Colima.*

Si vemos en un mapa los sismos mayores de magnitud 3 para un periodo de 20 años, en el cual hemos registrado 26 mil sismos, entre 1974 y 1994, la gran mayoría de ellos ocurrió desde las costas del estado de Michoacán hasta Chiapas, incluyendo a Guatemala y continuando hasta lo que es Panamá, pero se concentró principalmente en nuestro país, así como en la parte central del Golfo y de nuevo hacia el oeste, en donde se inicia la falla de San Andrés. Estos fueron sismos pequeños. Si analizamos ahora un mapa que refleje exclusivamente la presencia de sismos mayores de magnitud 7, lo que aparentemente se podía observar en el mapa anterior, que era que para el caso de Colima y de Jalisco existía muy poca sismicidad, deja de ser una apreciación correcta. Los sismos de magnitud 7 se ven así más parejos.

*Otra duda frecuente es si los temblores son trepidatorios u oscilatorios.*

Es una pregunta muy común, y la respuesta es todavía más interesante: siempre se producen los dos. El movimiento del suelo es complejo; tiene una tendencia a subir, bajar y oscilar en diferente forma. El problema es que si nos encontramos en la parte alta de un edificio, éste, primordialmente, tendrá oscilaciones; si dicha construcción empieza a brincar, mal negocio. La misma forma del edificio genera que éste oscile, y una persona que se encuentre en él, dirá: "yo sentí que el movimiento era oscilatorio"; en cambio, otra que se encuentre en el suelo, en un campo libre, puede más fácilmente sentir que también el suelo sube y baja, se mueve hacia un lado, pero que, de manera primordial, sube y baja; entonces la persona que está en el campo libre dirá, "yo sentí que fue trepidatorio" y las dos tendrán la razón. ¿Cómo lo sabemos? , porque medimos el movimiento del suelo en tres componentes, tenemos sensores que miden el desplazamiento vertical, y otros, que son horizontales, los ponemos uno en dirección norte-sur y el otro este-oeste, de tal manera que podemos reproducir y ver con claridad cuál es el comportamiento del suelo.

*¿Por qué México es considerado como zona sísmica?*

Es zona sísmica porque con frecuencia ocurren en ella temblores. Por ejemplo, una zona asísmica, por su poca recurrencia de sismos, sería la Península de Yucatán, o diversas regiones del norte de la República Mexicana, pero, claro, en el primer caso, a lo que se enfrentan es a los huracanes, y, en el segundo, a las enormes sequías, entonces uno se plantea la interrogante "¿me voy a vivir allá?" Casi en cada lugar existen diferentes tipos de riesgos geológicos a los cuales hay que hacer frente. La gente pregunta cómo se clasificaría a México, comparado con otros países, en cuestión de sismos. En realidad, es difícil hacer esa comparación, pero ¿qué pasa si tomamos Japón a la misma escala y lo ponemos encima del mapa sísmico de nuestro país? Resulta que Japón tiene una extensión territorial mucho menor que la de México y que cabe perfectamente en lo que es nuestra zona sísmica. Esto equivaldría a que todos los mexicanos nos fuéramos a vivir a las franjas de la costa; ahí a cada rato sentiríamos un movimiento telúrico leve, y esto no implica, de forma necesaria,

que los japoneses sean más listos y que por esa razón estén mejor preparados, simplemente, si sienten un temblor y otro y otro, pues se preparan. Para ellos resulta obvio que viven en una zona sísmica. Aquí no nos resulta tan claro porque nos encontramos a una distancia cercana a los 320 kilómetros en dirección de la costa del Pacífico, y dicha distancia conforma una zona de atenuación, que nos resguarda de sentir todos esos temblores pequeños, pero no lo hace de los sismos grandes como el de 1985, el del Ángel, y el de 1979; mas como éstos son menos frecuentes y como suceden cada determinado número de años, rápidamente se nos olvidan. En este caso, podemos decir que México es un país con una zona sísmica importante. Sí, sí lo es.

*Va a seguir temblando, entonces.*

Va a seguir temblando siempre. La razón por la cual tiembla se debe al movimiento de las placas tectónicas y continuará ocurriendo dentro de 10, 15, 20, 100 años, incluso hasta dentro de un millón de años. La gente pregunta "¿es cierto que la Península de Baja California se separa?" La Península de Baja California, en efecto, salió del costado de nuestro país hace 60 millones de años. En la parte de en medio es una de esas zonas en donde se mueve el material hacia la superficie y se va separando parte de la corteza terrestre. En otros lugares, esa corteza se regresa al interior, en las llamadas zonas de subducción. Baja California se separa a una velocidad muy lenta, cercana a los cinco centímetros por año: si nosotros quisiéramos cruzar una habitación a esa velocidad nos tardaríamos 10 ó 15 años, pero, como decía, esto ha sucedido a lo largo de 60 millones de años, por eso se explica que tenga esa separación, y ésta va a continuar. La gente dice "es que se va a ir al mar"; no, eso no sucederá. Considero, pues, que es importante reconocer que vivimos en un país en el que tiembla; si lo hacemos, creo que habremos dado un paso muy importante.

*¿Cree que lo reconocemos más ahora que antes?*

Espero que estos recordatorios nos ayuden poco a poco a aceptarlo. Es muy comprensible que mucha gente tenga temor, sobre todo después de lo sucedido en 1985; para ella recordar es revivir muchas cosas tristes a las que no quisiera volver a enfrentarse, pero debemos afrontar que vivimos en un país en el que prevalece esta situación. En la época de lluvias, cuando cotidianamente caía un aguacero, pues siempre llevábamos con nosotros un paraguas o un impermeable, nos preparábamos, porque era muy evidente a lo que nos arriesgábamos si no lo hacíamos. En el caso de los sismos no es tan claro, pero todos estos recordatorios deberían influir y conducirnos a reflexionar: "sé que tiembla en Guerrero, al igual que aquí y en muchos otros lados; sé que se siente de tal manera y que debo prepararme." Gran parte de esta preparación se llevó a cabo después de 1985, la gente tenía a la mano agua, víveres, ropa, tarjetas de identificación, lámparas, radio de baterías, entre otras cosas. Ahora lo único que hay en abundancia es agua, y no por los sismos, sino debido a que nadie quiere beber el agua de la ciudad y porque la venden embotellada por todos lados. Yo sugeriría que, si todo mundo se acuerda de la fecha de su cumpleaños, en ese día revise que las cosas que son necesarias en este tipo de situaciones se encuentren en orden, ya que si celebra un año más de vida, lo menos que puede hacer es prepararse un poco mejor para garantizar que esa vida no se vea truncada por no haber tomado precauciones.

*Los simulacros han funcionado bien en las escuelas. con la participación de niños y maestros, ¿no es así?*

Me da la impresión de que, en realidad, las personas más preparadas son los niños. A mí me pasó algo muy curioso Con mi hija de nueve años, en uno de estos temblores; le pregunté ¿sintieron el temblor en la escuela? y me contestó: " Ah, yo pensé que era otro simulacro". Ese es el punto crítico, cuando ya no distinguen si fue simulacro o si fue temblor. Cuando tengamos ese tipo de capacitación, estaremos del otro lado, y eso es tarea de cada uno de nosotros. Si las personas no saben qué hacer, mi sugerencia es que utilicen el sentido común. Ellas determinan: "lo bueno es que yo ya vi que como vivo en el tercer o cuarto piso, me tardo menos de 50 segundos en salir a la calle, entonces sí debo hacerlo", pero me pregunto si emplearían el mismo tiempo si salieran con todos los demás vecinos. Lo importante sería averiguar si han podido realizar un simulacro colectivo.

¿ Qué sucedería si esto ocurriera también por la noche? Además, con eso de que cada día aumentan los robos a casas habitación, con certeza existen en ellas una serie de candados y chapas, por lo que cada quien debería tener a la mano las llaves, por ejemplo, colgándolas muy cerca de la puerta de salida. Si todo esto no se ha contemplado, lo único que puede pasar es que el éxodo se transforme en un atolladero, y que se presenten probabilidades de que haya heridos a la entrada de la puerta por ese tipo de situaciones. Hay que realizar, asimismo, simulacros familiares. Cuando una familia está en casa, por la noche, y dice "vamos a hacer ahorita un simulacro" y apaga las luces, para simular una condición real, y los niños, así como los adultos saben qué hacer, conocen de antemano en donde están, por ejemplo, las linternas; cuando todo ello está previsto, lo realizan en forma mecánica y les resulta de gran ayuda.

En casa existen muchos objetos pesados; las televisiones que antes eran muebles muy grandes de madera, ahora son extremadamente angostas, altas y, por lo general, se colocan en el borde de las mesas o de los libreros; si dicho aparato se viene abajo y se rompe el cinescopio debido a que está al vacío, los vidrios saldrán disparados y alcanzarán cierta distancia, de esta manera, si ocurre un sismo por la noche y se sale corriendo de la habitación, descalzo, se puede tener la certeza de que quien intente hacerlo no alcanzará a llegar a la puerta. Entonces, uno se pregunta ¿cómo resolver una situación semejante? No es necesario encadenar la televisión; con un alambre ligero atado a una clavo en la pared, por un lado, y, por el otro, al aparato, se podrá evitar la caída del televisor. En realidad, el vaivén es el que lo hace caer, y no se necesita un cable que lo sostenga en vilo, simplemente un alambre que lo mantenga en la posición que tiene, y a la hora que vibre, pues que lo haga con todo y librero. La gente que tiene hijos pequeños, debería hacer el ejercicio de acostarse en la cama del niño y mirar hacia arriba, si se percata de que hay gran cantidad de objetos y juguetes puede tener la seguridad de que esos objetos son los que van a caer sobre la cabeza del pequeño.

Muchas personas dicen: "quiero que alguien revise mi casa", pues lo pueden hacer ellas mismas. Deben verificar cuidadosamente las paredes para ver si hay grietas; si es así, tomarles medidas, ponerles una pequeña marca, para que cuando se registre un nuevo sismo ya, estén enteradas de que dicha grieta era anterior al sismo: en cuestión. Si ésta no existía, ya se sabe que hay una grieta nueva y efíque parte del edificio o de la casa está. De esta

manera sé puede llevar un control de tal tipo de comportamiento. 'Si en la vivienda hay una zona en la; cual las cosas registran mayor vibración, quizá se trate: de un centro de ampliación debido a la misma estructura de la casa o del edificio; eso puede observarse, por ejemplo, cuando hay una lámpara que, vez tras vez, al menor movimiento, se cae; estoy hablando de un punto en el cual dicha vibración se da con mayor fuerza, entonces hay que tener cuidado con ese tipo de lugares. Por todo lo anterior, me parece que realmente quien está más capacitado para diseñar un verdadero plan de acción es uno mismo. No hay que esperar que en un folleto se nos explique todo; esas publicaciones son muy generales, y, finalmente, cada persona es quien debe ajustar su propio plan de acción.

*¿Las pruebas nucleares francesas tuvieron que ver con los sismos recientes ?*

Es una pregunta importante, porque tenemos entendido que las pruebas nucleares son explosiones muy grandes que liberan gran cantidad de energía, pero hay que referirnos, en realidad, primero a la física: un sismo de magnitud 5 libera la misma energía que, por ejemplo, la bomba atómica de Hiroshima o Nagasaki, o es un poco menor que las pruebas que se llevan a cabo en Mururoa. ¿ Cuántos sismos de esa magnitud tenemos al año? , ¿y a la semana? Se registra, aproximadamente, uno a la semana, por lo que se libera gran cantidad de energía en forma de sismos y éstos -con una magnitud de cinco grados Richter- difícilmente se sienten. Entonces, si se considera el sismo ocurrido en Colima en 1995, cuya magnitud fue de 7.5, y se convierte su energía a un equivalente en bombas atómicas, se obtendría una cifra cercana a mil 500 bombas atómicas. Así, la pregunta que habría que plantear sería ¿qué mecanismo que se encuentra aproximadamente a cinco mil kilómetros de distancia puede generar, siendo uno solo, mil quinientas veces más que lo que yo ocasioné en este lugar? Para mí, el único lugar en donde puede ocurrir eso es en la Bolsa de Valores: compro la acción adecuada, ésta va a la alza y me toca mil quinientas veces lo que invertí, de otra forma es difícil plantearlo. Además, existe registro de actividad sísmica desde los inicios de este siglo, y las pruebas nucleares comenzaron en 1945, ¿y los sismos de antes, a quién se los achacamos? Por otra parte, Las Vegas se encuentra a sólo 50 kilómetros de distancia de donde los americanos realizaban sus pruebas nucleares, el Nevada Test Site; ahí llevaron a cabo cientos de ellas. No hay que olvidar que tanto ellos como los rusos tenían el liderazgo en esta materia, ¿si hubieran pensado que estaban causando grandes daños, no hubieran detenido dichas pruebas desde hace muchísimos años? No continúan con ellas, porque ellos mismos se impusieron una moratoria. Los norteamericanos tienen la falla de San Andrés muy cerca y jamás se escuchó que se indujera un sismo en dicha falla que se encuentra a mucho menor distancia (que Mururoa de México), 200 ó 300 kilómetros del sitio de pruebas. En el único caso en que se registró vibración de edificios fue cuando los estadounidenses realizaron una de las mayores pruebas que se haya permitido llevar a cabo dentro de su territorio, la prueba Boxcar, en 1962; para producirla se detonó el equivalente a un millón doscientas mil toneladas de TNT (dinamita), inmensa cantidad de explosivos que puso a vibrar los edificios entre 10 y 12 segundos. A cualquier persona de la zona centro de nuestro país a la que le preguntamos que durante cuánto tiempo sintió el sismo de Colima, respondió: "pues, 30, 40 ó 50 segundos", mucho, pero mucho más tiempo que el que había hecho vibrar los edificios la superbomba detonada en Nevada; por tanto, con fundamento en ello, la energía que liberan las bombas, aun cuando es muy grande, es poca si se compara con la que liberan nuestros sismos. Es importante reconocer esto, porque, con toda honestidad, pareceríamos tontos

ante los franceses si decimos que, por las pruebas nucleares que realizan, son ellos quienes están ocasionando los sismos, cuando resulta evidente que vivimos en un país altamente sísmico y que los movimientos telúricos obedecen a otras causas.

De manera independiente, me parece muy importante hacerles saber que no estamos de acuerdo en que se realicen este tipo de pruebas, debido a la radioactividad que generan; eso sí puede provocar problemas de fuga de radiación, y se contaminaría el mar o la atmósfera. Además, el sitio en donde las realizan, el Océano Pacífico, tiene una costa con México; bastante listos los franceses, a su territorio lo bañan las aguas del Océano Atlántico que está de por medio de donde llevan a cabo las pruebas, ¿por qué no detonan sus cargas en Francia o en el Mediterráneo? La contaminación radioactiva sí es un punto crítico, y debemos llamarles la atención respecto a ello, pues contaminan la atmósfera, y los vientos pueden traer consigo la radiación, o contaminan el agua del mar y, en algún momento, las corrientes marítimas llegarán o podrán llegar a nuestras costas, pero, de ahí a decir que ellos son los culpables de los sismos... Semejante aseveración lo único que puede ocasionar es que los franceses nos demanden y nos tilden de tontos; afirmarían: "ustedes no saben absolutamente nada de lo que ocurre en su país". Lo que también es importante, hay que mencionarlo, y es el único punto a favor que reconozco a los franceses, es que tuvieron la delicadeza de informar que iban a realizar las pruebas; hay otro país, China, que no anuncia las pruebas que hace, continúa llevándolas a cabo sin manifestarlo. Entonces, si nos estamos yendo contra Francia con tanto fervor, pues deberíamos hacerlo también contra China, y con mayor firmeza, puesto que este país ni siquiera avisa.

### *¿Cómo opera el Servicio Sismológico a su cargo?*

El Servicio tiene como finalidad mantener una red de cobertura nacional con objeto de detectar, clasificar, registrar y dar la localización y la magnitud de los sismos que ocurren en el país, y también de conservar dicha información, porque, a partir de ella, se elaboran infinidad de estudios más detallados. Algo que nos causa una serie de problemas es que la gente cree que los cálculos que se llevan a cabo para determinar la localización y la magnitud del temblor son automáticos, o que con sólo apretar un botón se obtienen los datos. Esto no es así. Son cálculos complicados, que requieren de un manejo especializado de la información. Los medios de comunicación no nos ayudan cuando dicen ". es que primero se reportó en los Estados Unidos...". La Unión Americana mantiene la red mundial, de la cual nosotros también formamos parte con algunas de las estaciones; así, ellos determinan una localización, de manera muy preliminar y automática, al igual que la magnitud, porque en todas las estaciones mundiales tienen más posibilidades de hacerlo. Hay coincidencia en los datos sólo hasta que reciben la información de nuestras estaciones, en ese momento, integran la información y emiten un boletín final. El serio problema que se presenta es que hoy día mucha gente tiene acceso a la información sobre la localización preliminar y afirma: "Colorado reporta que el sismo fue de tal magnitud", pero en Colorado, con una red tan general, no pueden tener la misma certeza acerca de los datos que la que poseemos nosotros con una red particular y adecuada a nuestro país, además de que aquí se manejan equipos complejos, en muchos casos aún más avanzados que con los que cuentan allá.

La gente puede sentir el sismo y nos pregunta: "¿cómo es que desconocen la localización?" Hay un proceso en el que nosotros afinamos nuestras mediciones para dar el epicentro definitivo: cuando se obtiene la magnitud y la localización ya no se modifica, porque es la final. ¿Por qué es importante ser tan precisos?, porque nos interesa saber qué tan cerca están las poblaciones, por lo que ésta tiene que ser lo más exacta posible, al igual que la magnitud, ya que ello permitirá determinar si hubo o no daños. Sucedió en el caso de Colima el año pasado; cuando se obtuvo la localización, dijimos, "abusados!", el epicentro está muy cercano a Manzanillo, la magnitud fue muy elevada, lo más probable es que se hayan registrado daños. Al principio, leímos y escuchamos "no reportan daños"; insistimos en que se comunicaran a Manzanillo, y veíamos que no se lograba la comunicación, mal negocio. En cambio, el movimiento que se registró en Chiapas, en ese mismo año, tuvo otro proceso; una vez que se tenía la localización, se afirmó: "fue un sismo fuerte, pero profundo", y eso evitó que generara muchos perjuicios, aun cuando hubo una cantidad de casas que se vinieron abajo. A una profundidad de 120 kilómetros, las ondas sísmicas se atenúan; además, otro factor todavía más importante, en el que la gente ya no pensó, es que un sismo a esa profundidad no tiene réplicas, como no sucedió en el caso de Colima, en donde la gente se asustó mucho después del jueves y de las otras réplicas: estaba trabajando, removiendo los escombros para buscar sobrevivientes y, de repente, ocurre un nuevo movimiento y se vienen abajo las casas que habían quedado resentidas. En el caso de Chiapas podíamos haber garantizado que no iba a haber réplica alguna -y yo le apuesto mi cargo-, ¿por qué?, porque a esa profundidad, debido a la presión litostática, presión de las rocas, de inmediato se vuelve a sellar el rompimiento -de haber existido un fracturamiento- y la fractura queda de nuevo casi soldada. En cambio, cuando el movimiento que se registra es muy superficial, existe la posibilidad de reacomodo, es decir, es como una gran cicatriz que de repente duele y pica, lo que significa que se está reajustando el tejido. Las réplicas son un proceso de reacomodo y de reajuste; en cambio, cuando el sismo es profundo resulta como una herida penetrante.

*¿Cómo hacen ustedes para saber que una réplica es tal y no un nuevo sismo?*

Primero, por la magnitud; se requiere que el sismo de que se trate tenga una magnitud considerable, arriba de 7, y después vendría la réplica. La definición de una réplica es que tiene que ser un sismo muy cercano a la zona epicentral grande, tanto en localización geográfica como en tiempo; se trata, pues, del proceso de reacomodo que mencioné hace un momento. Sólo estos sismos costeros, que se producen en la zona de subducción, isómeros, son los que pueden generar réplicas; en contrapartida, un sismo profundo difícilmente las genera. Por ejemplo, al final del mes de noviembre, todavía registrábamos de vez en cuando réplicas relacionadas con el temblor del 14 de septiembre pasado que ocurrió en las costas de Guerrero; en la referente al de Colima, también las hubo, aunque fueron muy pequeñas y disminuyó su frecuencia.

*¿Cuántas personas están colaborando en este Servicio?*

A cargo del Servicio, que es el puesto que desempeño como investigador, está un académico; hay tres letrados de guardia, que se van rotando de semana en semana, quienes se encargan de procesar la sismicidad que se registra y de hacer los reportes y los cargos; yo superviso todas las labores. Se cuenta con personal secretarial de apoyo, así

como con un grupo de instrumentación, en el que participan seis ingenieros, quienes tienen a su cargo el mantenimiento constante de las estaciones y la adecuación del equipo; ellos también se ocupan de diseñar nuevo equipo, ya que en el servicio no sólo utilizamos tecnología comprada, sino que, asimismo, desarrollamos la propia, hacemos lo que los japoneses: desbaratamos los sensores y los volvemos a elaborar, porque creemos que es importante, además de que tenemos la capacidad para hacerlo. En las estaciones autónomas, las originales, contamos con personal: en Veracruz hay una persona que se hace cargo de la estación; en Oaxaca, también; de igual manera, en la Estación de Tacubaya. Algunas personas suponen que esa es la estación principal porque está ubicada en la ciudad de México, pero no necesariamente la que tenga más registros sísmicos es la más importante; ahí en alguna época estuvo alojado el Servicio Sismológico Nacional; ahora, la Central, en realidad, es ésta. En Manzanillo, donde les fue como en feria, son dos señoras las que se hacen cargo, y lo que resulta interesante es que el personal de esta estación es uno de los más antiguos. Hay personas que han estado al frente de una estación por cerca de 48 años, trabajando para la UNAM, y para ellas esta labor es ya una tradición familiar. Tenemos el caso de la estación de Yucatán; el abuelo del actual encargado se hizo cargo de ella, después, siguió su padre, luego, llegó él, y ahora es su hijo quien realiza el trabajo, por lo que, a lo largo de tantos años, ya la consideran como patrimonio familiar, saben arreglar los instrumentos, la cuidan.

Ahora bien, es difícil establecer una cifra exacta del personal que labora con nosotros, porque trabajamos con diferentes redes; por ejemplo, tenemos la red telemétrica convencional, conformada por cerca de 28 estaciones que trabajan mediante este tipo de transmisión, a través de microondas o de enlaces satelitales, y acabamos de instalar, en septiembre, una red denominada de banda ancha con equipos sumamente avanzados de tecnología de punta, varios de ellos con transmisión satelital, y estamos en el proceso de integrar ambas redes. Pero también tenemos una serie de subredes, como la Red del Valle de México, otra que monitorea parte del estado de Guerrero, y varias más en diferentes lugares. Contamos, asimismo, con una serie de estaciones que fueron las primeras que se instalaron cuando se fundó el Servicio Sismológico Nacional, en 1910, para celebrar el aniversario de las fiestas del centenario de la Independencia: el observatorio principal, que era el de Tacubaya, la estación de Oaxaca, la de Veracruz, la de Manzanillo, la de Mazatlán, la de Yucatán y la de Guadalajara. En esa época se introdujo tecnología que, para aquellos años, era de punta; conservamos un aparato, allá abajo, que aún funcionaba en Mazatlán, y somos el único país que mantiene todavía este tipo de máquinas, porque sus registros siguen siendo muy importantes, es decir, el equipo es el mismo, las características del terreno no han cambiado, y podemos comparar el tipo de sismos que se registraban antes y ahora. Tenemos enormes acervos de información, y sabemos que desde aquel entonces se podían proporcionar localizaciones. En la estación de Zacatecas, por ejemplo, sucedió una historia muy interesante; hay que recordar que las primeras estaciones estaban conformadas por casetas, como la de Tacubaya -que eran unas habitaciones impresionantes, amplísimas, un cuarto dentro de otro cuarto, para mantener las condiciones de temperatura y evitar la variación de viento-, y el equipo que en ellas había, contenía gran cantidad de metal. Cuenta la gente de allá, que en épocas de la Revolución llegó Pancho Villa a la estación y al percatarse de la cantidad de equipo que había, exclamó "no, pues aquí hay mucho metal, agarren estas máquinas y hagan balas de cañón", por lo que la estación de

" Zacatecas fue empleada para otro fin, y hasta ahora estamos instalando ahí una nueva, con tecnología de punta.

*Un lugar común es decir que ahí viene el sismo grandote". ¿Es cierto eso?*

La razón y el fundamento de quienes afirman eso es: "bueno, es que en la costa de Guerrero tiembla con demasiada frecuencia", en lo que se conoce como la Brecha de Guerrero. Cabría preguntarse más bien por qué dicen que ocurrirá un sismo grande, igual que el de 1985 o mayor, en el tramo que va más o menos de Acapulco a Zihuatanejo, segmento de aproximadamente 200 kilómetros. Entre 1899 y 1911, ocurrieron cuatro sismos mayores de magnitud siete: uno de 7.5, otro de 7.6, uno más de 7.7 y uno de 7.8; si se produjeron cuatro temblores en esa zona, y el último fue en 1911, ¿cuál es la razón para pensar que un proceso que se generó en cuatro fracturamientos se unifique ahora y se vuelva uno sólo? No existe ninguna. En realidad, deberíamos estar preparados para cualquier sismo, ya sea uno de 7.5, de 7.8 o de 8.1, como en el caso del ocurrido en 1985, porque ¿acaso sólo hay que prepararse para el más grande?, ¿los de menor intensidad, qué no cuentan?. Lo adecuado es estar preparados, ¿por qué?, pues, debido a que en nuestro país siempre se registrarán temblores, y aceptarlo es un avance.

*Las consejas populares de que si el cielo está "aborregado " va a temblar; de que si hizo mucho calor temblará, ¿ tienen alguna base científica ?*

No, hemos elaborado gran cantidad de estadísticas en función de eso. Hemos conjuntado los sismos por hora y nos percatamos de que en realidad el factor tiempo nada tiene que ver; hemos repetido esta misma operación por meses para ver si en determinado mes se registra un sismo, y se llegó a la conclusión de que tiembla cuando se le pega la gana a la Tierra, cuando en cierta zona ya se acumuló suficiente energía. La gente recuerda que el cielo estaba aborregado el día que tembló, pero, si cotidianamente se anotan los cambios que se registran se verá que todos los días habrá una característica diferente. Desde la época de los aztecas existían registros de grandes sismos en sus códices, y se sabe que en la ciudad de México han ocurrido ocho sismos en los últimos 600 años, a los cuales nosotros denominamos con efectos máximos, es decir similares al de 1985. Con esta información, debe quedar claro que en nuestra ciudad ese tipo de fenómenos ocurren, de vez en cuando, una vez en la vida de cada persona. Lo más lógico y adecuado es prepararse.

*El comportamiento animal ante los sismos ¿ tiene base científica ?*

El comportamiento animal sí tiene base científica y está en función de que, en primera instancia, la capacidad auditiva de la gran mayoría de los animales es mucho más aguda que la del ser humano; el rango de restricción auditiva en los humanos es cercano a los 15 y 20 mil Hertz; la capacidad auditiva de los perros se incrementa hasta 80 mil, y la de otro tipo de animales es incluso mayor. ¿ Qué sucede si tomo por ejemplo un lápiz, empiezo a doblarlo y lo pongo cerca de mi oído ? , escucharé cómo comienza a fracturarse poco a poco; lo mismo pasa cuando se somete la roca a un gran esfuerzo, debido a que la energía que en algún momento generará un sismo se está acumulando, por tanto se producirán fraccionamientos a nivel inter granular, es decir, del tamaño de un grano, de esos granitos que vemos en la arena. Nosotros no escucharemos esas fracturaciones, pero los animales



tienen mayor posibilidad de oírlas, primero, porque están más cerca del suelo y, además, debido a que son sonidos de muy alta frecuencia que los molesta; de ahí que se pueda observar algunas veces un comportamiento extraño en el animal. Si aún viviéramos en cavernas y durmiéramos con el oído pegado al suelo, escucharíamos que la tierra produce gran cantidad de sonidos que en la actualidad no percibimos, pues cubrimos el suelo con concreto o con asfalto; simplemente hemos puesto sobre ella un colchón a fin de no escuchar los ruidos que genera. Ahora, el que los animales se percaten de sonidos extraños en las entrañas de la tierra tampoco es una regla; no sucede con todos los sismos. Hay algunos que, debido a que la distribución de esfuerzos se encuentra en la superficie, sí provocan cierto comportamiento extraño en el animal, puesto que los percibe, pero tenemos otros que son más profundos y en los cuales aun cuando se registra un cambio de esfuerzos de gran magnitud, éste no alcanza a llegar a la superficie, pues el propio espesor de la roca evita la transmisión de tal tipo de ondas. Todo ello no puede tomarse al pie de la letra, porque ¿qué tal si un día al perro le duele el estómago y anda todo inquieto, y uno presupone inmediatamente que va a temblar? Por supuesto, estas son algunas herramientas, pero ante todo existe una explicación física para su acción. De hecho, nosotros podemos sentir determinados sismos -aquellos que tienen un tipo de frecuencia particular de liberación de energía- en el vientre; se reflejan exactamente en nuestro estómago y en nuestros intestinos: la gente siente de inmediato un mareo tremendo, y esto no es nada excepcional, es el tipo de vibración, es la respuesta a la frecuencia. Lo mismo sucede, por ejemplo, en los conciertos, en donde se siente que todo vibra porque nos están haciendo vibrar los huesos y la cabeza, debido a una onda en particular. Hay una explicación física para todo ello, no es magia.

---

*La presente entrevista se realizó los primeros días del mes de noviembre de 1995, por lo que cuando en ella se hace referencia a las posteriores réplicas de los temblores acaecidos en los meses de septiembre y octubre pasados, hay que situarlas en el tiempo.*

**Información Científica y Tecnológica, Enero, 1996 Vol. 18 Núm. 232 CONACYT**

## Earthquakes with 1,000 or More Deaths from 1900

Date UTC	Location	Deaths	Magnitude	Comments
1902 Apr 19	Guatemala 14 N 91 W	2,000	7.5	
1902 Dec 16	Turkestan 40.8 N 72.6 E	4,500	6.4	
1903 Apr 19	Turkey 39.1 N 42.4 E	1,700		
1903 Apr 28	Turkey 39.1 N 42.5 E	2,200	6.3	
1905 Apr 4	India, Kangra 33.0 N 76.0 E	19,000	8.6	
1905 Sep 8	Italy, Calabria 39.4 N 16.4 E	2,500	7.9	
1906 Jan 31	Colombia 1 N 81.5 W	1,000	8.9	
1906 Mar 16	Formosa, Kagi (Taiwan) 23.6 N 120.5 E	1,300	7.1	
1906 Aug 17	Chile, Santiago 33 S 72 W	20,000	8.6	
1907 Jan 14	Jamaica, Kingston 18.2 N 76.7 W	1,600	6.5	
1907 Oct 21	Central Asia 38 N 69 E	12,000	8.1	
1908 Dec 28	Italy, Messina 38 N 15.5 E	70,000 to 100,000	7.5	Deaths from earthquake and tsunami.
1909 Jan 23	Iran 33.4 N 49.1 E	5,500	7.3	
1912 Aug 9	Marmara Sea 40.5 N 27 E	1,950	7.8	
1915 Jan 13	Italy, Avezzano 42 N 13.5 E	29,980	7.5	
1917 Jan 21	Indonesia, Bali 8.0 S 115.4 E	15,000		

1917 Jul 30	China 28.0 N 104.0 E	1,800	6.5
1918 Feb 13	China, Kwangtung (Guangdong) 23.5 N 117.0 E	10,000	7.3
1920 Dec 16	China, Gansu 35.8 N 105.7 E	200,000	8.6 Major fractures, landslides.
1923 Mar 24	China 31.3 N 100.8 E	5,000	7.3
1923 May 25	Iran 35.3 N 59.2 E	2,200	5.7
1923 Sep 1	Japan, Kwanto Tokyo-Yokohama 35.0 N 139.5 E	143,000	8.3 Great Tokyo fire.
1925 Mar 16	China, Yunnan 25.5 N 100.3 E	5,000	7.1 Talifu almost completely destroyed.
1927 Mar 7	Japan, Tango 35.8 N 134.8 E	3,020	7.9
1927 May 22	China, near Xining 36.8 N 102.8 E	200,000	8.3 Large fractures.
1929 May 1	Iran 38 N 58 E	3,300	7.4
1930 May 6	Iran 38.0 N 44.5 E	2,500	7.2
1930 Jul 23	Italy 41.1 N 15.4 E	1,430	6.5
1931 Mar 31	Nicaragua 13.2 N 85.7 W	2,400	5.6
1932 Dec 25	China, Gansu 39.7 N 97.0 E	70,000	7.6
1933 Mar 2	Japan, Sanriku 39.0 N 143.0 E	2,990	8.9
1933 Aug 25	China 32.0 N 103.7 E	10,000	7.4
1934 Jan 15	India, Bihar-Nepal 26.6 N 86.8 E	10,700	8.4
1935 Anr	Formosa	3,280	7.1

20	24.0 N 121.0 E		
1935 May 30	Pakistan, Quetta 29.6 N 66.5 E	30,000 to 60,000	7.5 Quetta almost completely destroyed.
1935 Jul 16	Taiwan 24.4 N 120.7 E	2,700	6.5
1939 Jan 25	Chile, Chillan 36.2 S 72.2 W	28,000	8.3
1939 Dec 26	Turkey, Erzincan 39.6 N 38 E	30,000	8.0
1940 Nov 10	Romania 45.8 N 26.8 E	1,000	7.3
1942 Nov 26	Turkey 40.5 N 34.0 E	4,000	7.6
1942 Dec 20	Turkey, Erbaa 40.9 N 36.5 E	3,000	7.3 Some reports of 1,000 killed.
1943 Sep 10	Japan, Tottori 35.6 N 134.2 E	1,190	7.4
1943 Nov 26	Turkey 41.0 N 33.7 E	4,000	7.6
1944 Jan 15	Argentina, San Juan 31.6 S 68.5 W	5,000	7.8 Reports of as many as 8,000 killed.
1944 Feb 1	Turkey 41.4 N 32.7 E	2,800	7.4 Reports of as many as 5,000 killed.
1944 Dec 7	Japan, Tonankai 33.7 N 136.2 E	1,000	8.3
1945 Jan 12	Japan Mikawa 34.8 N 137.0 E	1,900	7.1
1945 Nov 27	Iran 25.0 N 60.5 E	4,000	8.2
1946 May 31	Turkey 39.5 N 41.5 E	1,300	6.0
1946 Nov 10	Peru, Ancash 8.3 S 77.8 W	1,400	7.3 Landslides, great destruction.
1946 Dec 20	Japan, Tonankai 32.5 N 134.5 E	1,330	8.4

1948 Jun 28	Japan, Fukui 36.1 N 136.2 E	5,390	7.3
1948 Oct 5	USSR (Turkmenistan, Ashgabat) 38.0 N 58.3 E	110,000	7.3
1949 Aug 5	Ecuador, Ambato 1.2 S 78.5 E	6,000	6.8 Large landslides, topographical changes.
1950 Aug 15	India, Assam, Tibet 28.7 N 96.6 E	1,530	8.7 Great topographical changes, landslides, floods.
1954 Sep 9	Algeria, Orleansville 36 N 1.6 E	1,250	6.8
1957 Jun 27	USSR (Russia) 56.3 N 116.5 E	1,200	
1957 Jul 2	Iran 36.2 N 52.7 E	1,200	7.4
1957 Dec 13	Iran 34.4 N 47.6 E	1,130	7.3
1960 Feb 29	Morocco, Agadir 30 N 9 W	10,000 to 15,000	5.9 Occurred at shallow depth just under city.
1960 May 22	Chile 39.5 S 74.5 W	4,000 to 5,000	9.5* Tsunami, volcanic activity, floods.
1962 Sep 1	Iran, Qazvin 35.6 N 49.9 E	12,230	7.3
1963 Jul 26	Yugoslavia, Skopje 42.1 N 21.4 E	1,100	6.0 Occurred at shallow depth just under city.
1966 Aug 19	Turkey, Varto 39.2 N 41.7 E	2,520	7.1
1968 Aug 31	Iran 34.0 N 59.0 E	12,000 to 20,000	7.3
1969 Jul 25	Eastern China 21.6 N 111.9 E	3,000	5.9

1970 Jan 4	Yunnan Province, China 24.1 N 102.5 E	10,000	7.5	
1970 Mar 28	Turkey, Gediz 39.2 N 29.5 E	1,100	7.3	
1970 May 31	Peru 9.2 S 78.8 W	66,000	7.8	\$530,000 damage, great rock slide, floods.
1972 Apr 10	Iran, southern 28.4 N 52.8 E	5,054	7.1	
1972 Dec 23	Nicaragua, Managua 12.4 N 86.1 W	5,000	6.2	
1974 May 10	China 28.2 N 104.0 E	20,000	6.8	
1974 Dec 28	Pakistan 35.0 N 72.8 E	5,300	6.2	
1975 Feb 4	China 40.6 N 122.5 E	10,000	7.4	
1975 Sep 6	Turkey 38.5 N 40.7 E	2,300	6.7	
1976 Feb 4	Guatemala 15.3 N 89.1 W	23,000	7.5	
1976 May 6	Italy, northeastern 46.4 N 13.3 E	1,000	6.5	
1976 Jun 25	West Irian (New Guinea) 4.6 S 140.1 E	422	7.1	5,000 to 9,000 missing and presumed dead.
1976 Jul 27	China, Tangshan 39.6 N 118.0 E	255,000 (official)	8.0	Estimated death toll as high as 655,000.
1976 Aug 16	Philippines, Mindanao 6.3 N 124.0 E	8,000	7.9	
1976 Nov 24	Northwest Iran-USSR border 39.1 N 44.0 E	5,000	7.3	Deaths estimated.
1977 Mar 4	Romania 45.8 N 26.8 E	1,500	7.2	

1978 Sep 16	Iran 33.2 N 57.4 E	15,000	7.8	
1980 Oct 10	Algeria, El Asnam (formerly Orleansville) 36.1 N 1.4 E	3,500	7.7	
1980 Nov 23	Italy, southern 40.9 N 15.3 E	3,000	7.2	
1981 Jun 11	Iran, southern 29.9 N 57.7 E	3,000	6.9	
1981 Jul 28	Iran, southern 30.0 N 57.8 E	1,500	7.3	
1982 Dec 13	Western Arabian Peninsula 14.7 N 44.4 E	2,800	6.0	
1983 Oct 30	Turkey 40.3 N 42.2 E	1,342	6.9	
1985 Sep 19	Mexico, Michoacan 18.2 N 102.5 W	9,500 (official)	8.1	Estimated death toll as high as 30,000.
1986 Oct 10	El Salvador 13.8 N 89.2 W	1,000+	5.5	
1987 Mar 6	Colombia-Ecuador 0.2 N 77.8 W	1,000+	7.0	
1988 Aug 20	Nepal-India border region 26.8 N 86.6 E	1,450	6.6	
1988 Dec 7	Turkey-USSR border region 41.0 N 44.2 E	25,000	7.0	
1990 Jun 20	Western Iran 37.0 N 49.4 E	40,000 to 50,000	7.7	Landslides.
1990 Jul 16	Luzon, Philippine Islands 15.7 N 121.2 E	1,621	7.8	Landslides, subsidence, and sandblows.
1991 Oct 19	Northern India 30.8 N 78.8 E	2,000	7.0	

1992 Dec 12	Flores Region, Indonesia 8.5 S 121.9 E	2,500	7.5	Tsunami ran inland 300 meters; wave height 25 meters.
1993 Sep 29	Southern India 18.1 N 76.5 E	9,748	6.3	
1995 Jan 16	Japan, Near S. Coast of Western Honshu 34.6 N 135 E	5,502	6.9	Landslide, liquifaction.
1995 May 27	Sakhalin Island 52.6 N 142.8 E	1,989	7.5	
1997 May 10	Northern Iran 33.9 N 59.7 E	1,560	7.5	4,460 injured, 60,000 homeless.
1998 Feb 04	Afghanistan- Tajikistan Border Region 37.1 N 70.1 E	2,323	6.1	818 injured, 8,094 houses destroyed, 6,725 livestock killed.
1998 May 30	Afghanistan- Tajikistan Border Region 37.1 N 70.1 E	4,000	6.9	Many thousands injured and homeless.
1998 Jul 17	Papua New Guinea, Near N. Coast 2.96 S 141.9 E	2,183	7.1	Thousands injured, about 9,500 homeless and about 500 missing as a result of a tsunami with maximum wave heights estimated at 10 meters.
1999 Jan 25	Colombia 4.46 N 75.82 W	1,185	6.3	Over 700 missing and presumed killed, over 4,750 injured and about 250,000 homeless.
1999 Aug 17	Turkey 40.7 N 30.0 E	17,118	7.4	At least 50,000 injured, thousands homeless. Damage estimate at 3 to 6.5 billion USD.
1999 Sep 20	Taiwan 23.7 N 121.0 E	2,297	7.6	Over 8,700 injured, over 600,000 homeless. Damage estimate at 14 billion USD.
2001 Jan 26	India 23.3 N 70.3 E	20,023	7.7	166,836 injured, 600,000 homeless.
2002 Mar 25	Hindu Kush Region, Afghanistan 35.9 N 69.2 E	1,000	6.1	4,000 injured, 1,500 houses destroyed in the Nahrin area. Approximately 20,000 people homeless.



## Magnitudes of Significant Earthquakes

Date	Time‡	Place	Lat.	Long.	Fatalities	M	M <sub>x</sub> † (M reference)	
January 23, 1556		Shensi, China	34.5	109.7	830,000	~8		
August 17, 1668		Anatolia, Turkey	40.0	36.0	8,000	~8		
January 26, 1700		Cascadia subduction zone from No CA to Vancouver Is.				~9	M (Sataki et al, 1996)	
November 1, 1755	10:16	Lisbon, Portugal	36.0	-11.0	70,000	~8.7	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
February 28, 1780		Iran	38.0	46.2	200,000			
December 16, 1811	8:00	New Madrid, MO	36.6	-89.6		~8.1	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
January 23, 1812	15:00	New Madrid, MO	36.6	-89.6		~7.8	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
February 7, 1812	9:45	New Madrid, MO	36.6	-89.6		~8	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
June 1, 1823	22:00HST	South flank of Kilauea, HI	19.3	-155		~7	M <sub>i</sub> (Klein and Wright, 2000)	
June 10, 1836	15:30	S San Francisco Bay region, CA				~6.5	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
June 1838	P.M.	San Francisco Peninsula, CA		37.27	-123.23	0	~6.8	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)
January 5, 1843	2:45	Marked Tree, AR	35.5	-90.5		~6.3	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
January 9, 1857 Stein and Hanks, 1998)	8:20PST	Fort Tejon, CA (San Andreas fault from Parkfield to Wrightwood)				1	~7.9	M (Grant and Sieh, 1993;
December 16, 1857	21:00	Naples, Italy	40.3	16.0	11,000	~6.9	M <sub>i</sub>	
October 8, 1865	20:46	San Jose, Ca	37.21	121.86		~6.5	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
April 2, 1868	15:40HST	Hilea, SE Hawaii, HI	19.2	-155.5	77	~7.9	M <sub>i</sub> (Klein and Wright, 2000)	
October 21, 1868	15:53	Hayward fault, CA	37.7	-122.1	30	~6.8	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
February 19, 1871	22:05HST	Molokai, HI	21.2	-156.9		~6.8	M <sub>i</sub> (Klein and Wright, 2000)	
March 26, 1872	10:30	Owens Valley, CA	36.5	-118.0	27	7.6	M (Beanland and Clark, 1994)	
December 14, 1872	21:40PST	N Cascades, WA	28.8	-121.4		~7.3	M <sub>i</sub> (Malone and Bor, 1979; Rogers et al., 1983)	
November 23, 1873	5:00	CA-OR coast	42.2	-124.2		~7.3	M <sub>i</sub> (Bakun, 2000)	
August 31, 1886	21:51L	Charleston, SC	32.9	-80.0	60	~7.3	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
April 24, 1890	11:36	Corralitos, CA	36.96	121.78		~6.3	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
October 28, 1891	06:38L	Mino-Owari, Japan	35.6	136.6	7,273	~8	M <sub>s</sub>	
April 19, 1892	10:50	Winters, CA	38.5	-121.82	1	~6.4	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
April 21, 1892	17:43	Winters, CA	38.59	-121.96		~6.4	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
October 31, 1895	11:08	Charleston, MO	37	-89.4		~6.6	M <sub>i</sub> (Johnston, 1996)	
June 15, 1896	19:32	Sanriku, Japan	39.5	144		~8.5	M	
June 12, 1897	11:06	Assam, India	26.0	91.0	1,500	~8.3		
June 20, 1897	20:14	Calaveras fault, CA	37	-121.55		~6.3	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
March 31, 1898	7:43	Mare Island, Ca	38.11	122.36		~6.3	M <sub>i</sub> (Bakun, 1999)	
April 15, 1898	7:07	Mendocino County, CA	39.3	-123.9		~6.8	M <sub>i</sub> (Bakun, 2000)	
September 4, 1899	0:22	Cape Yakataga, AK	60	-142		7.9	M <sub>s</sub>	
September 10, 1899	21:41	Yakutat Bay, AK	60	-142		8.0	M <sub>s</sub>	
October 9, 1900	12:28	Kodiak Is., AK	57.09	-153.48		7.7	M <sub>s</sub>	

December 20, 1946	19:19	Nankaido, Japan	32.5	134.5	1,330	8.1	M
October 16, 1947	2:09	Fairbanks, AK	64.2	-148.3		7.2	M
April 13, 1949	11:55PST	Olympia, WA	47.1	-122.7	8	7.1	ML (Baker and Langston, 1987)
August 21, 1949 1954)	20:01PST	Queen Charlotte Is., B.C., Canada	53.62	-133.27		8.1	MS (Gutenberg and Richter,
August 15, 1950	14:09	Assam-Tibet	28.5	96.5	1,526	8.6	M
August 21, 1951	00:57HST	Kona, HI	19.5	-155.95		6.9	M <sub>s</sub> (Klein and Wright, 2000)
July 21, 1952	4:52PST	Kern County, CA	35	119	12	7.3	M (Stein and Hanks, 1998)
November 4, 1952	16:58	Kamchatka, Russia	52.75	159.50		9.0	M
March 29, 1954	6:17:00	Spain	37.0	-3.5		7.9	M
July 6, 1954	11:13	Rainbow Mtn, NV	39.42	-118.53	6.2	6.2	M (Ellsworth, 1990)
August 24, 1954	5:51	Stillwater, NV	39.58	-118.45	6.6	6.6	M (Ellsworth, 1990)
December 16, 1954	11:07	Fairview Peak, NV	39.32	-118.2	7.2	7.2	M (Ellsworth, 1990)
December 16, 1954	11:11	Dixie Valley, NV	39.5	-118	7	7	M (Ellsworth, 1990)
October 24, 1955	4:10	Concord, CA	38.0	-122.1		5.4	ML (Bolt and Miller, 1975)
March 9, 1957	14:22	Andreanof Is., AK	51.57	-175.34		9.1	M
December 4, 1957	3:37	Gobi-Altai, Mongolia	45.22	99.23	30	8.1	M
April 7, 1958	15:30	Huslia, AK	65.94	-156.37		7.3	M
July 10, 1958	6:16	Fairweather, AK	58.51	-136.13		7.7	M
August 18, 1959	6:37	Hebgen Lake, MT	44.60	-110.64	28	7.3	M (Dosier, 1985)
February 29, 1960	11:41L	Agadir, Morocco	30.5	-9.3	10,000	5.7	M
May 22, 1960	19:11	Chile	-38.26	-72.15	5,700	9.5	M
March 28, 1964	3:36	Prince William Sound, AK	61.02	-147.65	125	9.2	M
June 16, 1964	13:01L	Niigata, Japan	38.44	139.23	26	7.5	M
February 4, 1965	5:01	Rat Is., AK	51.23	-178.52		8.7	M
April 29, 1965	07:28PST	Seattle-Tacoma, WA	47.32	-122.33	7	6.5	M <sub>L</sub> (Algermissen and Harding, 1965)
June 28, 1966	4:26	Parkfield, CA	35.9	120.9		6.1	M (Tsai and Aki, 1969)
September 12, 1966	16:41	Truckee, CA	39.42	-120.15		5.9	M (Tsai and Aki, 1970)
December 10, 1967	22:51	Koyna, India	17.54	73.84		6.3	M (Langston, 1976)
October 2, 1969	4:56	Santa Rosa, CA	38.5	-122.7		5.6	M <sub>L</sub> (Bolt and Miller, 1975)
October 2, 1969	6:19	Santa Rosa, CA	38.5	-122.7		5.7	M <sub>L</sub> (Bolt and Miller, 1975)
May 31, 1970	20:23	Peru	-9.25	-78.84	66,000	7.9	
July 31, 1970	17:08	Columbia	-1.49	-72.55		8.0	
February 9, 1971	6:01PST	San Fernando, CA	34.4	-118.4	58	6.7	M (Heaton, 1982)
February 4, 1975	19:01:07L	Haicheng, China	40.67	122.83	10,000	7.0	M (Cipar, 1979)
August 1, 1975	20:20	Oroville, CA	39.50	-121.40		5.8	M
November 29, 1975	04:47HST	South flank of Kilauea, HI	19.45	-155.03	2	7.2	M <sub>s</sub> (Klein and Wright, 2000)
February 4, 1976	9:01	Guatemala	15.30	-89.14	23,000	7.5	M
July 27, 1976	19:42	Tangshan, China	39.60	117.89	255,000*	7.5	M
August 6, 1979	17:05	Coyote Lake, CA	37.1	-121.5		5.7	M (Ellsworth, 1990)
October 15, 1979	15:16PST	Imperial Valley, CA	32.6	-115.3		6.4	M (Hartzell and Heaton, 1983)

January 24, 1980	19:00	Livermore, CA	37.8	-121.8		5.8	M (Bolt et al., 1981)
May 25, 1980	16:33	Mammoth Lakes, CA	37.6	-118.9		6.2	M (Ellsworth, 1990)
May 25, 1980	16:49	Mammoth Lakes, CA	37.6	-118.9		5.9	M <sub>L</sub> (Ellsworth, 1990)
May 25, 1980	19:44	Mammoth Lakes, CA	37.5	-118.8		5.9	M (Ellsworth, 1990)
May 27, 1980	14:50	Mammoth Lakes, CA	37.5	-118.8		5.9	M (Ellsworth, 1990)
November 8, 1980	10:27	Gorda Plate, CA	41.11	-124.30		7.4	M (Ellsworth, 1990)
May 2, 1983	23:42	Coalinga, CA	36.24	-120.27		6.5	M (Ellsworth, 1990)
October 28, 1983	06:06PST	Borah Peak, ID	44.09	-113.80	2	7.0	M (PDE Monthly Listing)
November 16, 1983	06:13HST	Kaoiki, HI	19.46	155.39		6.7	M (PDE Monthly Listing)
April 24, 1984	21:15	Morgan Hill, CA	37.31	-121.70		6.2	M (PDE Monthly Listing)
November 23, 1984	18:08	Round Valley, CA	37.5	-118.6		5.8	M (Ellsworth, 1990)
September 19, 1985	13:17	Michoacan, Mexico	18.19	-102.37	9,500	8.0	M (PDE Monthly Listing)
December 23, 1985	5:16	Nahanni, NW Terr, Canada	62.16	-124.31		6.8	M (Wetmiller et al., 1988)
May 7, 1986	22:47	Andreanof Is., AK	51.56	-174.81		8.0	M (PDE Monthly Listing)
July 8, 1986	2:20PST	North Palm Springs, CA	34	-116.6		6.1	M (Hartzell, 1989)
July 21, 1986	14:42	Chalfant, CA	37.50	-118.45		6.4	M (Ellsworth, 1990)
October 1, 1987	7:42PST	Whittier Narrows, CA	34.1	-118.1	8	5.9	M (Hartzell and Iida, 1990)
November 30, 1987	19:23	Gulf of Alaska	58.86	-142.91		7.9	M (PDE Monthly Listing)
January 22, 1988	0:35	Tennant Creek, Australia #1	-19.87	133.80		6.3	M (Choy and Bowman, 1990)
January 22, 1988	3:57	Tennant Creek, Australia #2	-19.87	133.85		6.4	M (Choy and Bowman, 1990)
January 22, 1988	12:04	Tennant Creek, Australia #3	-19.89	133.86		6.6	M (Choy and Bowman, 1990)
March 6, 1988	22:35	Gulf of Alaska	57.26	-142.75		7.8	M (PDE Monthly Listing)
November 25, 1988	23:46	Saguenay, Quebec, Canada	48.07	-71.27		5.9	M (Boatwright and Choy, 1992)
December 7, 1988	7:41	Spitak, Armenia	40.92	44.12	25,000	6.8	M (PDE Monthly Listing)
October 17, 1989	17:04PST	Loma Prieta, CA	37.11	-121.77	63	6.9	M (Wald et al., 1991)
December 25, 1989	14:24	Ungava, Quebec, Canada	60.04	-73.54		6.0	M (Bent, 1994)
June 28, 1991	7:43PST	Sierra Madre, CA	34.25	-117.95	1	5.6	M (Wald et al., 1991)
August 17, 1991	19:29	Honeydew, CA	40.2	-124.3		6.3	M (PDE Monthly Listing)
April 23, 1992	4:50	Joshua Tree, CA	33.96	-116.32		6.1	M (Hauksson et al., 1993)
April 25, 1992	18:06	Cape Mendocino, CA	40.35	-124.06		7.2	M (PDE Monthly Listing)
April 26, 1992	7:41	Offshore, Cape Mendocino, CA	40.5	-124.6		6.5	M (Oppenheimer et al., 1993)
April 26, 1992	11:18	Offshore, Cape Mendocino, CA	40.4	-124.5		6.7	M (Oppenheimer et al., 1993)
June 28, 1992	4:57PST	Landers, CA	34.22	-116.43	1	7.3	M (Sieh et al. 1993)
June 29, 1992	10:14	Little Skull Mtn, NV	36.705	-116.293		5.7	M (Walter, 1993)
September 2, 1992	0:16	Nicaragua	11.72	-87.39	116	7.7	M (PDE Monthly Listing)
September 29, 1993	22:25	Latur-Killari, India	18.08	76.49	9,748	6.2	M (PDE Monthly Listing)
January 17, 1994	12:30PST	Northridge, CA	34.21	-118.54	57	6.7	M (PDE Monthly Listing)
June 9, 1994	0:33	Bolivia	-13.88	-67.52	5	8.2	M (PDE Monthly Listing)
September 1, 1994	15:15	Cape Mendocino, CA	40.38	-125.78		7.1	M (PDE Monthly Listing)
January 16, 1995	20:46	Kobe, Japan	34.58	135.02	5,502	6.9	M (PDE Monthly Listing)
May 21, 1997	22:51	Jabalpur, India	23.10	80.12	38	5.8	M (Singh et al., 1999)

March 3, 1901	7:45	Parkfield, CA	35.9	-120.9		6.4	M <sub>S</sub> (Abe, 1988)
August 27, 1904	21:56	Fairbanks, AK	64.66	-148.08		7.3	M <sub>S</sub>
<b>July 9, 1905</b>	<b>9:40</b>	<b>Mongolia</b>	<b>49.0</b>	<b>99.0</b>		<b>8.4</b>	<b>M</b>
January 31, 1906	15:36	Colombia-Ecuador	1.0	-81.5	1,000	8.8	M
April 18, 1906 (Bakun, 1999)	13:12	San Francisco, CA (San Andreas fault from Cape Mendocino to San Juan Bautista)					700-800 7.8 M
August 17, 1906	0:40	Valparaiso, Chile	-33.0	-72.0	20,000	8.2	M
December 28, 1908	4:20	Messina, Italy	38.3	15.6	70,000	7.2	M <sub>S</sub>
July 1, 1911	22:00	Calaveras fault, CA	37.39	-121.8		6.5	M <sub>S</sub>
October 3, 1915	10:03	Pleasant Valley, NV	40.5	-117.5		7.1	M (Stover and Coffman, 1993)
December 6, 1918	00:41PST	Vancouver Is., B.C., Canada	49.62	-125.92		7.0	M <sub>L</sub> (Gutenberg and Richter, 1954; Rogers, 1983)
December 16, 1920	12:05	Ningxia-Kansu, China	36.78	105.35	200,000	8.6	M <sub>S</sub>
January 31, 1922	13:17	offshore, Cape Mendocino, CA		41.0	-125.5		7.3 M <sub>G-R</sub> (Ellsworth, 1990)
March 10, 1922	11:21	Parkfield, CA	35.9	120.9		6.1	M (Bakun and McEvilly, 1984)
January 22, 1923	9:04	offshore, Cape Mendocino, CA		40.5	-124.5		7.2 M <sub>G-R</sub> (Ellsworth, 1990)
September 1, 1923	2:58	Kanto, Japan	35.65	138.82	143,000	7.9	M
March 1, 1925	2:19	Charlevoix, Quebec, Canada		47.76	-69.84		6.3 M (Bent, 1992)
June 27, 1925	18:21 MST	Clarkston Valley, MT	46.32	-111.52		6.6	M (Dosier, 1989)
June 29, 1925	6:42PST	Santa Barbara, CA	34.3	-119.8	13	6.3	M <sub>L</sub> (Richter, 1958)
October 22, 1926	12:35	Monterey Bay, CA	36.6	-122.4		6.1	M <sub>G-R</sub> (Ellsworth, 1990)
October 22, 1926	13:35	Monterey Bay, CA	36.6	-122.4		6.1	M <sub>G-R</sub> (Ellsworth, 1990)
March 7, 1927	18:27L	Tango, Japan	35.84	134.91	3,020	7.6	M <sub>S</sub>
May 22, 1927	22:32	Tsinghai, China	37.42	102.32	200,000	7.9	M <sub>S</sub>
November 4, 1927	5:49PST	offshore Lompoc, CA	34.7	-120.8		7.1	M (Stein and Hanks, 1998)
November 18, 1929	20:32	Grand Banks, Nova Scotia, Canada	44.69	-56.01		7.3	M (Bent, 1995)
December 21, 1932	6:10	Cedar Mountain, NV	38.52	-118.00		7.2	M
March 2, 1933	17:30	Sanriku, Japan	39.25	144.50	2,990	8.4	M
March 10, 1933	17:54PST	Long Beach, CA	33.6	-118	115	6.4	M (Hauksson & Gross, 1991)
November 20, 1933	23:21	Baffin Bay, Canada	73.00	-69.98		7.4	M (Stein et al. 1979)
January 15, 1934	8:43	Bihar, India	27.55	87.09	10,700	8.1	M (Chen and Molnar, 1977)
June 8, 1934	4:47	Parkfield, CA	35.9	-120.9		6.1	M (Bakun and McEvilly, 1984)
November 1, 1935	6:03	Timiskaming, Quebec, Canada	48.89	-79.00		6.2	M (Bent, 1996)
July 22, 1937	17:09	Salcha, AK	64.67	-147.80		7.3	M <sub>S</sub>
January 22, 1938	22:03HST	Maui, HI	21.00	-156.20		6.8	M <sub>S</sub> (Klein and Wright, 2000)
November 10, 1938	20:18	Shumagin Islands, AK	55.34	-158.44		8.2	M
December 26, 1939	23:57	Erzincan, Turkey	39.78	39.50	32,700	7.8	M <sub>S</sub>
May 18, 1940	20:37PST	Imperial Valley, CA	32.8	-115.6	9	6.9	M (Ellsworth, 1990)
December 7, 1944	4:35	Tonankai, Japan	33.75	136.00	1,223	8.1	M
April 1, 1946	12:29	Unimak Is., AK	52.8	-162.5		7.3	M <sub>S</sub> (Stover and Coffman, 1993)
June 23, 1946 1954: Rogers, 1983)	9:13PST	Vancouver Island, B.C., Canada	49.8	-125.3		7.3	M <sub>L</sub> (Gutenberg and Richter,

July 17, 1998	8:49	New Guinea	-3.01	142.50	2,183	7.0	M (PDE Monthly Listing)
August 17, 1999	0:01	Izmit, Turkey	40.75	29.86	15,637	7.6	M (PDE Monthly Listing)
September 20, 1999	17:47	Chi-Chi, Taiwan	23.77	120.98	2,400	7.7	M (PDE Monthly Listing)
October 16, 1999	2:47PST	Hector Mine, CA	34.59	-116.27		7.2	M (PDE Monthly Listing)
November 12, 1999	16:57	Duzce, Turkey	40.76	31.16	894	7.2	M (PDE Monthly Listing)
September 3, 2000	1:36PDT	Napa, CA	38.38	-122.41		5.0	M (BRK)
January 13, 2001	17:33	El Salvador	13.05	-88.66	844	7.7	M (PDE Monthly Listing)
January 26, 2001	03:16	Gujarat, India	23.42	70.23	20,085	7.7	M (PDE Monthly Listing)
February 28, 2001	11:54PST	Olympia, WA	47.15	-122.73		6.8	M (QED)
June 23, 2001	20:33	Coastal Peru	-16.26	-73.64	75	8.4	M (QED)

†  $M_{G-R}$  = Gutenberg and Richter's (1954) magnitude,  $M_S$  = 20-sec surface-wave magnitude,  $M$  = moment magnitude (Hanks and Kanamori, 1979), and  $M_I$  is an intensity magnitude,  $M_L$  is local magnitude (Richter, 1935).

‡ GMT unless otherwise noted. L = Local time on 24 hour clock.

\* Fatalities estimated as high as 655,000.

## References

- Abe, K., 1988, Magnitudes and origin times from Milne seismograph data: Earthquakes in China and California, 1898-1912 in Lee, W. H. K, Meyers, H., and Shimizaki, K., eds., Historical seismograms and earthquakes of the world: San Diego, Calif., Academic Press, p.37-50.
- Algermissen, S.T. and S. Harding, 1965, Preliminary Seismological Report, in US Coast and Geodetic Survey, 1965, The Puget Sound, Washington earthquake of April 29, 1965: US Coast and Geodetic Survey, p 1-26.
- Baker, G.E. and C.A. Langston, 1987, Source parameters of the 1949 magnitude 7.1 south Puget Sound, Washington earthquake as determined from long-period body waves and strong motions: Seismol. Soc. Am. Bull. v 77 no 5, p. 1530-1557.
- Bakun, W.H., 1999, Seismic Activity of the San Francisco Bay region, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 764-784.
- Bakun, W.H., 2000, Seismicity of California's north coast, Bull. Seism. Soc. Amer, in press.
- Bakun, W. H. and T. V. McEvilly, 1984, Recurrence models and Parkfield, California, earthquakes, J. Geophys. Res., 89, p. 3051-3058.
- Bolt, B. A. and R. D. Miller, 1975, Catalog of Earthquakes in Northern California and Adjoining Areas: 1 January 1910 - 31 December 1972, Seismographic Stations, University of California, Berkeley, 1-567.
- Bolt, B. A., T. V. McEvilly, and R. A. Uhrhammer, 1981, The Livermore Valley, California, sequence of January 1980, Bull. Seismol. Soc. Am., 71, pp. 451-463.
- Beanland, S., and M. M. Clark, 1994, The Owens valley fault zone, eastern California, and surface rupture associated with the 1872 earthquake; U. S. Geol. Surv Bull. 1982, 29pp.
- Bent, A.L., 1992, A re-examination of the 1925 Charlevoix, Quebec, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 2097-2113.
- Bent, A.L., 1994, The 1989 (Ms6.3) Ungava, Quebec, earthquake: a complex intraplate event, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 1075-1088.
- Bent, A.L., 1995, A complex double-couple source mechanism for the Ms7.2 1929 Grand Banks earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 1003-1020.
- Bent, A.L., 1996, An improved source mechanism for the 1935 Timiskaming, Quebec earthquake from regional waveforms, Pure Appl. Geophys., 146, 5-20.
- Boatwright, J. and Choy, G.L., 1992, Acceleration source spectra anticipated for large earthquakes in northeastern North America, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 660-682.
- BRK, University of California Seismographic Stations, Berkeley
- Chen, W.-P. and Molnar, P., 1977, Seismic moments of major earthquakes and the average rate of slip in central Asia, J. Geophys. Res., 82, 2945-2969.
- Choy, G.L. and Bowman, J.R., 1990, Rupture process of a multiple main shock sequence: analysis of teleseismic, local and field observations of the Tennant Creek, Australia earthquakes of January 22, 1988, J. Geophys. Res., 95, 6867-6882.
- Cipar, J., 1979, Source processes of the Haicheng, China earthquake from observations of P' and S waves: Seismol. Soc. Am. Bull., v. 69, p. 1903-1916.
- Dosier D.I., 1985, Source parameters and faulting processes of the 1959 Hebgen Lake, Montana, earthquake sequence, J. Geophys. Res. 90, 4537-4555.

- Dosier, D.I., 1989, Source parameters of Montana earthquakes (1925-1964) and tectonic deformation in the northern intermountain seismic belt, *Bull. Seism. Soc. Am.* 79, 31-50.
- Ellsworth, W. L., 1990, Earthquake history, 1769-1989, chap. 6 of Wallace, R. F., ed., *The San Andreas fault system, California: U. S. Geological Survey Professional Paper 1515*, p.153-188.
- Grant, L.B. and K.E. Sieh, 1993, Stratigraphic evidence for seven meters of dextral slip on the San Andreas fault during the 1857 earthquake in the Carrizo Plain, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 619-635.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter, 1954, *Seismicity of the earth and associated phenomena*; 2nd ed: Princeton Univ. Press, 310 pp.
- Hanks, T. C., and H. Kanamori, 1979, A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, 84, 2348-2350.
- Hanks, T.C., J. A. Hileman, and W. Thatcher, 1975, Seismic moments of the larger earthquakes of the southern California region, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, pp. 1131-1139.
- Hartzell, S. H., 1989, Comparison of waveform inversion results for the rupture history of finite fault; application to the 1986 North Palm Springs, California, earthquake, *J. Geophys. Res.* 94, 7515-7534.
- Hartzell, S. H., & Iida, M., 1990, Source complexity of the 1987 Whittier Narrows, California, earthquake from the inversion of strong motion records, *J. Geophys. Res.* 95, 12,475-12,485.
- Hartzell, S. H. and T. H. Heaton, 1983, Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1553-1583.
- Hauksson, E., & Gross, S., 1991, Source parameters of the 1933 Long Beach earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 81-98.
- Hauksson, E., L. M. Jones, K. Hutton, and D. Eberhart-Phillips, 1993, The 1992 Landers earthquake sequence: seismological observations, *J. Geophys. Res.*, 98, 19,835-19,858.
- Heaton, T. H., 1982, The 1971 San Fernando earthquake: a double event?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 72, 2037-2062.
- Johnston, A., 1996, Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions – III. New Madrid 1811-1812, Charleston 1886, and Lisbon 1755, *Geophys. J. Int.* 126, 314-344.
- Klein, F.W. and T.L. Wright, 2000, *Catalog of Hawaiian earthquakes, 1823-1959*, USGS Prof. Paper 1623.
- Langston, C.A., 1976, A body wave inversion of the Koyna, India earthquake of December 10, 1967 and some implications for body wave focal mechanisms, *J. Geophys. Res.*, 81, 2517-2529.
- Malone, S.D. and S. Bor, 1979, Attenuation patterns in the Pacific northwest based on intensity data and the location of the 1872 north Cascades earthquake: *Seismol. Soc. Am. Bull.* 69, p. 531-546.
- Oppenheimer, D. H., G.C. Beroza, G.A. Carver, L. Dengler, J. P. Eaton, L. Gee, F.I. Gonzalez, A.S. Jayko, W.H. Li, M. Lisowski, M. Magee, G. A. Marshall, M. Murray, R. McPherson, B. Romanowicz, K. Satake, R.W. Simpson, P.G. Somerville, R.S. Stein, and D. Valentine, 1993, The Cape Mendocino, California, earthquakes of April 1992, subduction at the triple junction, *Science*, 261, 433-438.
- PDE (Preliminary Determination of Epicenters) Monthly Listing, U.S. Geol. Surv., Golden, CO.
- Qamar, A. and M.C. Stickney, 1983, *Montana Earthquakes 1869-1979: Historical Seismicity and Earthquake Hazard*, Montana Bureau of Mines and Geology, Memoir 51, 80 pp.
- QED (Quick Epicenter Determinations), U.S. Geol. Surv., Golden, CO.
- Richins, W.D., J.C. Pechman, R.B. Smith, C.J. Langer, S.K. Goter, J.E. Zollweg, and J.J. King, 1987, The 1983 Borah Peak, Idaho earthquake and its aftershocks: *Bull. Seismol. Soc. Am.* 77, 697-723.
- Richter, C.F., 1935, An instrumental earthquake magnitude scale: *Bull. Seismol. Soc. Am.* 25, 1-32
- Richter, C.F., 1958, *Elementary Seismology*: W.H. Freeman and Co., San Francisco, CA, 768 pp.
- Rogers, G.C., 1983, *Seismotectonics of British Columbia*: University of British Columbia Doctor of Philosophy Thesis, 247 pp.
- Sataki, K., K. Shimazaki, Y. Tsuji, and K. Ueda, 1996, Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700, *Nature* 379, 246-249.
- Sieh, K.E., 1978, Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 68, 1421-1448.
- Sieh, K., Jones, L. M., Hauksson, E., Hudnut, K., Eberhart-Phillips, D., Heaton, T., Hough, S., Hutton, K., Kanamori, H., Lilje, A., Lindvall, S., McGill, S. F., Mori, J., Rubin, C., Spotila, J., Stock, J., Thio, H. K., Treiman, J., Wernicke, B., & Zachariasen, J., 1993, Near-field Investigations of the Landers Earthquake Sequence, April-July, 1992, *Science* 260, 171-175.

- Singh, S.K., Ordaz, M., Dattatrayam, R.S., and Gupta, H.K., 1999, A spectral analysis of the 21 May 1997, Jabalpur India, earthquake ( $M=5.8$ ) and estimation of ground motion from future earthquakes in the Indian shield region, *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 1620-1630.
- Stein, R.S. and T.C. Hanks, 1998,  $M \geq 6$  earthquakes in southern California during the twentieth century: no evidence for a seismicity or moment deficit, *Bull. Seismol. Soc. Am.* Bull. 88, p. 635-652.
- Stein, S., Sleep, N.H., Geller, R.J., Wang, S.-C., and Kroeger, G.C., 1979, Earthquakes along the passive margin of eastern Canada, *Geophys. Res. Lett.* 6, 537-540.
- Stover, D.W., ed, 1987, United States earthquakes, 1983: US Geological Survey Bulletin 1698, 196 pp.
- Stover, C.W., and J.L. Coffman, 1993, Seismicity of the United States, 1568-1989 (Revised), US Geol. Surv. Prof. Pap. 1527, 418pp.
- Tsai, Y.B., and K. Aki, 1969, Simultaneous determination of the seismic moment and attenuation of seismic surface waves, *Bull. Seism. Soc. Amer.* 59, 275-287.
- Tsai, Y.B., and K. Aki, 1970, Source mechanism of the Truckee, California, earthquake of September 12, 1966, *Bull. Seism. Soc. Amer.* 60, 1199-1208.
- Wald, D. J., 1992, Strong motion and broadband teleseismic analysis of the 1991 Sierra Madre, California, earthquake, *J. Geophys. Res.*, 97, 11,033-11,046.
- Wald, D. W., D. V. Helmberger and T. H. Heaton, 1991, Rupture model of the 1989 Loma Prieta earthquake from the inversion of strong-motion and broadband teleseismic data, *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 1540-1572.
- Walter, W.R., 1993, Source parameters of the June 29, 1992 Little Skull Mountain earthquake from complete regional waveforms at a single station, *Geophys. Res. Lett.* 20, 403-406.
- Wetmiller, R.J., Horner, R.B., Hasegawa, H.S., North, R.G., Lamontagne, M., Weichert, D.H., and Evans, S.G., 1988, An analysis of the 1985 Nahanni earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78, 590-616.