

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA  
EDIFICACIONES UBICADAS EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD**

**Tesis para optar por el Grado de  
INGENIERO CIVIL**

SINODALES:

ING. OCTAVIO FEDERICO ALVAREZ LOZANO

M.I. GUSTAVO CARLOS ARGIL CARRILES

ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO

M.I. AGUSTÍN DEMENEGHI COLINA

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

RAFAEL SAMANO IBAÑEZ. (52 935 637)

Ciudad Universitaria, Octubre 2009

**AGRADECIMIENTOS:**

Hoy, a la distancia de dos generaciones cuando debí haber conquistado este título, expreso mi profundo agradecimiento a todos aquellos que han apoyado mi pasión en el ejercicio profesional de la Ingeniería Civil, puesta al servicio de la comunidad y de mi país. Gracias, muchas gracias por su estímulo, por su confianza, sus exigencias y su fidelidad de amigos.

**Maestros y amigos Ingenieros:**

Sabro Higashida  
 Guillermo Salazar Polanco  
 Antonio Miguel Saad  
 Jaime Torres Herrera  
 Federico Dovalí Ramos  
 Alfredo Grisi Urroz  
 Francisco Torres Ruiz  
 Antonio Hidalgo Castro  
 Sergio de los Santos Vázquez

**Funcionarios y Jefes:**

Oswaldo Cravioto Cisneros  
 Guillermo Rossell de la Lama  
 Jesús Aguirre Cárdenas  
 Xavier Cortes Rocha  
 Oswaldo Cravioto Hoyo  
 Ernesto Velasco León  
 José Reygadas Valdés  
 Guillermo Kramer Hempes

**Familiares y amigos asociados:**

Porfirio Camarena Castro  
 Julia Ibáñez Vda de Sámano  
 Samuel Herrera Matalón  
 Rodolfo Sámano Ibáñez  
 Jacobo Saul Behar  
 Yolanda Sámano de Villanueva  
 Francisco Moreno Villar



**RECONOCIMIENTOS:**

A partir de 1955 iniciamos un ejercicio profesional en el que siempre han privado la responsabilidad y la amistad, habiendo brillado de igual manera la capacidad y la pasión, a aquellos que me han acompañado en este largo camino, mi más noble y profundo reconocimiento. Me han aceptado afectuosamente en los momentos de angustia y en los del éxito compartido, Gracias

**Ingenieros Civiles:**

Ernesto Franco Ibáñez  
Carlos López Santibáñez  
Alvaro Fernando Mejía Hernández  
José Luis Sámano Ibáñez  
Luis Francisco Torres Ruiz  
Laurentino Déciga Casas  
José Pedro Casanova Padilla

**Arquitectos:**

Eduardo Gallegos Chaul  
Jorge Lizán Pérez  
Luis Alfonso Rodríguez Salmón  
Ricardo Espíriti  
Truett C. Wagley  
Francisco González Varela  
Armando Grajales Alencaster  
Raúl Sánchez Mora

**Colaboradores:**

Gabriel Calderón Sánchez  
María Eugenia Reyes  
Virginia Ulaje  
Alberto Reyes Guerrero  
José Luis Guarneros  
Jossie Gordero  
Concepción Ortiz Vizcain  
Ana Carolina Rojas  
Leticia Martínez, Emma  
David Tejero  
William Penna



---

**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA EDIFICACIONES UBICADAS EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD**

|  |    |
|--|----|
| <i>Introducción</i> .....  | 5  |
| <i>I.- Objetivos y alcance</i> .....   | 7  |
| <i>II.- El origen de los sismos. La Tectónica. La falla del Pacífico. Efectos.</i> .....   | 9  |
| 2.1 <i>Forma de medición y duración. Antecedentes.</i> .....   | 10 |
| 2.2 <i>Intensidad y Magnitud. Instrumentación.</i> .....   | 11 |
| <i>III.- Los suelos y su clasificación.</i> .....  | 13 |
| 3.1 <i>Clasificación general de los suelos</i> .....   | 14 |
| 3.2 <i>La influencia del contenido de agua en el comportamiento y estabilidad del suelo</i> .....  | 14 |
| <i>IV.- El suelo en el Valle de México. Singularidad. Evolución y deterioro en el Siglo XXI.</i> .....   | 15 |
| 4.1 <i>Zonificación en la Cuenca del Valle.</i> .....  | 15 |
| 4.2 <i>Estratificación y sus efectos.</i> .....  | 16 |
| 4.3 <i>Deterioro del suelo. Su asentamiento.</i> .....   | 17 |
| <i>V.- La relación suelo-edificio. Conjunto cimentación-superestructura</i> .....  | 18 |
| 5.1 <i>Analogías y efectos</i> .....   | 19 |
| 5.2 <i>Marco de referencia</i> .....   | 20 |
| 5.3 <i>Investigación internacional</i> .....   | 21 |
| <i>VI.- Evaluación de los efectos del Terremoto en las estructuras dañadas. Estudios de caso.</i> .....  | 22 |
| 6.1 <i>Evaluación de frecuencia de fallas.</i> .....   | 27 |
| 6.2 <i>Criterios de reestructuración.</i> .....  | 29 |
| 6.3 <i>Soluciones aplicadas en la reestructuración.</i> .....  | 34 |
| 6.4 <i>Detección de fallas en suelo.</i> .....   | 34 |
| 6.5 <i>Golpes entre edificios de diferentes alturas.</i> .....   | 37 |
| <i>VII.- Diagnóstico con criterio estructural de ubicación.</i> .....  | 39 |
| 7.1 <i>Torsión en edificios altos</i> .....  | 39 |
| 7.2 <i>Simetría en la estructura.</i> .....  | 41 |
| 7.3 <i>Efecto de la relación de esbeltez.</i> .....  | 42 |
| 7.4 <i>Cambios bruscos en la geometría general</i> .....   | 42 |
| <i>VIII.- Conclusiones y Recomendaciones.</i> .....  | 43 |
| 8.1 <i>Estructuras rígidas vs. Estructuras flexibles</i> .....   | 44 |
| <i>Criterios de Construcción relativos a la geometría general de las edificaciones</i><br><i>y su influencia en el comportamiento estructural en caso de sismos.</i> ..... | 40 |
| <i>IX.- Bibliografía.</i> .....  | 46 |



## I.- INTRODUCCIÓN.

El acontecimiento de los sismos más destructivos registrados en el área de la ciudad de México en el siglo XX, tuvieron efecto los días 19 y 20 de septiembre de 1985, aunque otros diez sismos se han registrado en México con graves intensidades y daños. Organizaciones nacionales e internacionales tanto de carácter académico, como del sector público y empresas de la construcción realizaron investigaciones que permitieron en corto plazo, contar con un diagnóstico de los efectos de los sismos y una evaluación de los daños causados a los diferentes tipos de estructuras, particularmente aquellas que por su proceso de construcción, su altura y su ubicación, provocaron las fallas más catastróficas, los daños más graves y los efectos más sensibles.

Me pareció necesario evaluar sistemáticamente, las estructuras que debido a su método constructivo, altura y uso, resultaron las más afectadas, así como estudiar aquellas que resultaron ilesas ante dichos fenómenos sísmicos. El alcance de esta investigación, al analizar cada uno de los aspectos que más claramente causaron daños para la vida y los bienes de los habitantes del valle de México, es llegar a enunciar las *recomendaciones* que considero deben destacarse a diseñadores, constructores y usuarios de las edificaciones requeridas por el crecimiento de la megalópolis.

Los ingenieros civiles en sus diversas especialidades diseñamos y construimos las estructuras y edificaciones que apoyadas en el inestable suelo del Valle, proporcionan vivienda, educación, trabajo, abasto, transporte y descanso en edificaciones que deben ser seguras y trascendentes. Hemos creado en conjunto la ciudad actual y concebimos hoy la ciudad futura, por lo que esta investigación pretende prevenir a diseñadores y constructores de estos espacios, los riesgos en que vivimos los habitantes de la actual megalópolis, sitio geográfico del islote del águila y la serpiente, del imperio de Tláloc y Huitzilopochtli, laguna de la nueva fe transmitida a sangre y fuego; a la vez la región más transparente, vigilada por los magníficos volcanes testigos de nuestro crecer, impulsados por la necesidad, sin más cobijo que la pobreza y sin más límite que el delirio, el de la grandeza.

No me atrevería, después de 50 años de ejercicio profesional a disertar sobre los suelos y su relación biunívoca con los edificios construidos por el hombre. Estoy obligado a incluir en mi análisis conceptos más profundos, explicar accesiblemente el concepto de suelo, a escuchar las voces y los mitos de aquellos fenómenos inexplicables pero reales; a distinguir las voces dulce y salada del suelo de este valle que es para nuestras disciplinas apoyo y firmeza y que es a la vez, incógnita y amenaza.

De las entrañas de este subsuelo obtuvimos por siglos el agua potable... nunca más.

Sobre las aguas seculares flotaban canoas y trajineras con flores y alimentos para hombres y dioses... nunca más.

Sobre estas islas e islotes se desarrolló la más poderosa cultura del Nuevo Mundo amparada por dos vigías de cumbres siempre nevadas... nunca más.

Este imperio cobró tributos hasta lejanas latitudes. Esparció cultura, saber, economía y temor... nunca más.

Hoy debemos clamar como Nezahualcóyotl su mensaje de realidad y poesía... debemos gritar como Cuitláhuac las amenazas que se ciernen sobre este valle, antes que dejarle consumir por las nuevas viruelas del siglo XXI.



Deberemos morir como el último, como Cuauhtémoc, luchando por mantener el honor, la cultura y el espíritu.

Nuestra ciudad vive tan desprotegida como entonces, esperando la mítica llegada del hombre-dios salvador, dispuesta a entregar a sus doncellas envueltas en mantos deslumbrantes de oro, plata y belleza, cediendo nuevos tesoros, nuestros valores, aturdidos por los falsos espejismos del omnipotente oro verde.

*Nueva conquista está en proceso. Arrollador gigante imperio cierne su poder a nuestro derredor. Es hora de levantarnos, que despierten nuestros muertos, que se eleven audaces los clamores y al fin volvamos al camino de la grandeza inextinguible.*





## I. OBJETIVOS Y ALCANCES.

La experiencia obtenida a lo largo de mis años de ejercicio profesional, me permiten exponer de manera breve y objetiva, diferentes observaciones que a través de su estudio metodológico, su análisis exhaustivo y el enunciado de las conclusiones, me permitan a través de un proceso de investigación científico, lograr el objetivo de enunciar las bases de nuestras recomendaciones para construir los edificios ubicados en esta zona de alta sismicidad, identificada como Área Metropolitana de la Ciudad de México o Cuenca del Valle de México, sobre la que se encuentran y han realizado las mayores inversiones de carácter inmobiliario, industrial y económico en la República Mexicana, zona que es hoy al mismo tiempo el área urbana más densa del mundo, albergue de nuestra riqueza histórica y monumental.

Es al mismo tiempo, valle cerrado de gran peligrosidad en cuanto a la presencia de riesgos desastrosos como: vulcanología, terremotos y temblores, carencia de agua potable, suministro deficitario de energía eléctrica, inundaciones de aguas negras, hundimientos del suelo por la ruptura de la estructura resistente del subsuelo debido a su deshidratación constante, la pérdida de la salud debido al alto índices de contaminación del aire y al estrés provocado por graves problemas de la urbe sin perspectivas de solución, la propagación de plagas por el manejo ineficiente de los desechos sólidos y líquidos, que conducen a la mutación de los microorganismos en este ambiente contaminado, creando la aparición de nuevos virus y bacterias que debido a estas mutaciones, aparecen por primera vez en las realidades de la patología humana del planeta.

El ámbito de mi formación y ejercicio profesionales coincide hoy con una de las disciplinas del conocimiento más destacadas en nuestro país: la ingeniería civil. He visto crecer las empresas constructoras mexicanas, apoyadas por aquellos que han tenido fe en nuestro país, que tuvieron voluntad de éxito, quiénes también tuvieron la decisión de recuperar de manos extranjeras, el control de la construcción nacional. Pasamos de nombres foráneos a crear nuestras empresas nacionales y con temor, cincuenta años después soy testigo de una reconquista iniciada no por los extranjeros sino por los propios mexicanos.

Soy testigo de la ambición y oportunismo con los que intentan los capitales internacionales, mediante tecnología, robots y computadoras, adueñarse de la construcción mexicana. Los dioses cambian sus nombres. Su color es verde, sus voces traicioneras.

***Objetivo** de esta investigación y del conocimiento objetivo de estas vivencias en nuestro laboratorio, el más grande del mundo y buscando los aspectos que debemos descubrir más allá de lo visible, enunciaré **recomendaciones** para prevenir la vida, para salvaguardar el futuro, para ayudar a la perennidad de las obras que proyectadas espacialmente por los arquitectos, son diseñadas estructuralmente y construidas por los ingenieros civiles. He ahí el binomio secreto: la consulta a tiempo, el saber bien oportuno, el diálogo preventivo y no la discusión de remedios.*

Varios libros e investigaciones publicadas entre 1985 y 2008, tratan sobre la forma de las estructuras y el diseño sísmico de los edificios, sin embargo, considero que este documento dedicado a fijar “**recomendaciones de construcción para edificaciones ubicadas en zonas de alta sismicidad**”, específicamente en el territorio del valle de México, nunca estará de sobra, sobre todo cuando pretende llegar a detalles de construcción para emplearse en las edificaciones adecuadas al diseño sísmico resistente, destacando la legislación actualizada en el Reglamento y Normas Complementarias del D.F. y la normatividad y recomendaciones de las

Naciones Unidas a través de su Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator y dedicado especialmente a los estudiantes de ingeniería civil, construcción, arquitectura, urbanismo, medio ambiente y planeación urbana.

Pretendo ser objetivo en las propuestas, darles su fundamento científico, apoyarlas metodológicamente pero dejando siempre en manos del especialista de diseño estructural, esa responsabilidad.

Este documento pretende ***sintetizar las experiencias*** que el ejercicio de la ingeniería civil, en sus disciplinas de la mecánica de los suelos, en la mecánica de las rocas, el diseño de cimentaciones, las soluciones estructurales y construcción para diferentes tipos de edificaciones, puedan servir como una base normativa a los diseñadores urbanos, a los arquitectos responsables de la geometría de las estructuras de las edificaciones, destinadas a los diferentes usos que requiere la vida social en nuestra comunidad (viviendas, oficinas, mercados, industrias, escuelas, hospitales, comunicaciones, servicios etc.) y a aquellos funcionarios responsables del destino y uso del suelo, dado que debe existir una congruencia entre lo que denominamos la “vocación del suelo” y su uso real autorizado.

Al mismo tiempo los fenómenos de crecimiento urbano, las invasiones y la tolerancia de las autoridades al “urbanismo espontáneo” va haciendo cada vez más difícil la regulación del suelo y el desarrollo de los sistemas de prevención de desastres en la cuenca del valle de la ciudad más populosa del planeta.

Esta investigación no pretende recomendar métodos de análisis y diseño estructural, no pretende hacer recomendaciones limitativas a la creación técnico-científica, como tampoco orientar el diseño urbano y arquitectónico a formas y espacios estructuralmente estables.

*El objetivo fundamental es concientizar a funcionarios públicos, planificadores, constructores y promotores inmobiliarios, arquitectos, urbanistas, ecologistas e ingenieros civiles a trabajar en equipo, para dar nacimiento en conjunto, a una **tecnología integral** que en forma innovadora penetre las aulas universitarias y alimente el saber de los constructores que seguirán creando las ciudades sustentables de nuestro país en el futuro cercano.*





## II. ORIGEN DE LOS SISMOS: LA TECTÓNICA.

Como es de nuestro conocimiento al planeta tierra está conformado por un enorme núcleo que mantiene actividad ígnea en el seno de un material compuesto por diferentes elementos que denominamos magma. Esta actividad se desarrolla con la presencia de altas temperaturas, muy altas presiones y explosiones que mantienen en convulsión permanente las capas cercanas a la corteza terrestre.

En un alto horno, después de lograr la fundición a alta temperatura del material metálico, al vaciarlo en los crisoles, al contacto con el medio ambiente, se va formando una especie de nata compuesta por idéntico material cuya temperatura se ha reducido al contacto con el aire, costra a la que llamamos escoria; este fenómeno en el planeta ha desarrollado a través del tiempo una costra sobre su manto en actividad, relativamente muy delgada en relación con las dimensiones del planeta. Esta costra la denominamos corteza terrestre y su espesor conocido es de aproximadamente 100 kilómetros, que en relación con el radio de la tierra de 6,600 kilómetros es de apenas el 1.5%.

Durante el siglo XX se estudió sistemáticamente el comportamiento de la corteza, habiéndose llegado a establecer en la segunda mitad del siglo, una nueva ciencia denominada "**la tectónica de placas**", cuyo desarrollo ha permitido establecer que los cien kilómetros superficiales del planeta, comprenden la corteza continental y oceánica y parte del manto superior, formando la litósfera, la cual dividida en placas que se mueven como los trozos rígidos de esa costra o cascarón esférico, unos con respecto a otros. Este movimiento relativo origina montañas, valles y su proceso es conocido como tectonismo. La velocidad y dirección de las interacciones entre las placas cambian y pueden ser *divergentes*, *convergentes* o *transcurrentes*.

Son *divergentes* cuando las placas se alejan una de otra, produciendo huecos por los cuales asciende material ardiente, el cual se solidifica formando una nueva corteza de tipo oceánico.

Los minerales del material del manto se enfrían y permanecen con su carga eléctrica según el campo magnético terrestre. Estos campos magnéticos se usan en bandas con diferentes polaridades lo cual permite conocer la historia de la corteza.

El movimiento es *convergente* cuando las placas se acercan una a otra y se origina porque la tierra no está creciendo sino que se crea nueva corteza, quiere decir que la corteza antigua debe estar siendo destruida en algún sitio, lo que ocurre continuamente las llamadas fosas o trincheras oceánicas donde el fondo del mar se introduce sobre una continental o bajo otra placa oceánica, regresando al manto, en un proceso que hoy conocemos con el nombre de subducción. Una gran cantidad de sismos ocurren a lo largo de la zona de subducción.

El movimiento relativo *transcurrente* se presenta ante un fenómeno de corrimiento o desplazamiento paralelo a las fallas. En el caso de México y una vez establecidas la composición de las placas debido a la certeza con la que se trabaja actualmente con la tectónica, se puede mencionar que existe una trinchera oceánica que se abarca desde el Mar de Cortés hasta Chiapas a lo largo de la costa del Pacífico. Esta trinchera continúa por centro y Sudamérica hasta la tierra del fuego y se llama la trinchera mesoamericana.

Volviendo a México en la boca del mar de Cortés la placa de Rivera es subducida bajo la placa norteamericana y desde Colima hasta Panamá la placa subducida es la Placa de Cocos. La mayor parte de los sismos destructivos que ocurren en Méxi-

co se producen en esa trinchera y los desplazamientos relativos de las placas van desde 1.2 cms. por año en el mar de Cortés hasta 8.3 cms. por año en la zona de Chiapas y Guatemala. El ángulo de inclinación o buzamiento entre las placas, denominado *Echado* varía desde 9° a, la altura de Michoacán, 12° frente a Acapulco, 14° en Oaxaca y unos 45° en Tehuantepec.

En muchos lugares del planeta donde existen trincheras, se encuentran cadenas volcánicas que les son paralelas, causadas por el ascenso de material fundido proveniente de la placa subducida, pero caso especial en México el eje volcánico no es paralelo a la trinchera sin que se haya determinado la razón de este fenómeno. Es probable que su orientación este relacionada con el cambio de echado de la placa subducida a profundidad, ya que los volcanes más cercanos a las trincheras se encuentran generalmente sobre la zona donde la placa subducida alcanza los 110 Km. de profundidad. Más al norte del mar de Cortés se encuentra una falla transcurrente muy extensa denominada la *falla de San Andrés*.

## 2.1 FORMA DE MEDICIÓN DE LOS SISMOS. INTENSIDAD Y DURACIÓN.

Los filósofos de la antigua Grecia fueron los primeros en asignar causas naturales a los terremotos. Anaxímenes (siglo V a. de C.) y Demócrito (siglo IV a. de c.) pensaban que la humedad y el agua los causaban. La teoría de que eran producidos por salidas súbitas de aire caliente, fue propuesta por Anaxágoras y Empédocles (siglo IV a. de c.) y recogida por Aristóteles (siglo IV a. de c.), quien le dio tal respetabilidad, que llega a través de los romanos Séneca y Plinio el Viejo (siglo I) hasta la Edad Media, en la que fue difundida por Avicena y Averroes, Alberto Magno y Tomás de Aquino.

Probablemente fue A. Von Humboldt el primero en establecer una relación entre las fallas geológicas y los terremotos. R. Mallet, quien hizo el primer estudio científico de un terremoto (el de Nápoles de 1857), aunque propuso que la corteza podía romperse por tensión, no descartaba un origen explosivo.

Fue H. Reid quien, a raíz de un estudio sobre el de San Francisco de 1906, propuso el primer modelo mecánico de la fuente sísmica; adoptando el modelo de Reid, podemos decir heurísticamente que: los sismos ocurren cuando las rocas no soportan los esfuerzos a los que están sometidas y se rompen súbitamente, liberando energía elástica en forma de ondas sísmicas.

Cuando las fuerzas que actúan sobre la roca se incrementan tan rápidamente que ésta puede comportarse plásticamente; y si son tan grandes que la roca no puede soportarlas deformándose elásticamente, hacen que falle y se rompa súbitamente.

Parte de la energía elástica que estaba almacenada en forma de esfuerzo en la roca deformada (como la que se almacena en un resorte comprimido) se gasta en crear la fallas, i.e. romper la roca y vencer la fricción entre ambas caras de la fractura, que trata de frenar el movimiento; otra parte puede permanecer en las rocas (esfuerzo residual) y el resto se libera en forma de ondas de sismo; esta energía liberada, llama energía sísmica, es la que viaja, atravesando porciones de la Tierra entera y causando daños lugares alejados de la zona de ruptura. Se conoce como terremoto.

En la República Mexicana han ocurrido 75 sismos de magnitud igual o mayor que 7, según la escala de Richter, de los cuales diez han tenido una magnitud igual o mayor que 8 originados prácticamente todos en la zona del pacífico y son los si-

güentes: 1900-8.1, 1903-8.3, 1907-8.2, 1928-8.8, 1931-8.0, 1932-8.4, 1932-8.0 y 1985-8.1.

El estudio de la Fundación ICA, A. C., señala que “desde que se aceptó la teoría de tectónica de placas, en los años 60, se ha logrado detectar, por medio de estudios sismológicos, el tamaño de las zonas que sufren desplazamientos a lo largo de los contactos entre las placas durante grandes temblores, con lo que se puede saber qué zonas no se han desplazado hace mucho tiempo, las que reciben el nombre de zonas de quietud sísmica o brechas sísmicas. Se estima que en estas zonas se está acumulando energía potencial suficiente para provocar un gran sismo y, para poder registrarlo de manera más completa, se instalan en ellas aparatos, considerándose que es más probable que ocurra un sismo fuerte allí, antes que en otras zonas donde ya ha habido rompimientos. No puede, sin embargo, saberse cuando ocurrirá el evento.

## **2.2. FORMA DE MEDICIÓN. INTENSIDAD Y MAGNITUD. INSTRUMENTACIÓN**

Existen dos medidas principales para determinar el “tamaño” de un sismo: la intensidad y la magnitud, ambas expresadas en grados.

La “intensidad” es una medida de los efectos causados por un sismo en un lugar determinado de la superficie terrestre. Cuando se habla de la intensidad de un sismo, sin indicar dónde fue medida, ésta representa (usualmente) la correspondiente al área de mayor intensidad observada (área pleistocista).

Una de las primeras escalas de intensidades es la de Rossi-Forel (de 10 grados), propuesta en 1883. En la actualidad existen varias escalas de intensidades, usadas en distintos países, por ejemplo, la escala MSK (de 12 grados) usada en Europa occidental desde 1964 y adoptada hace poco en la Unión Soviética (donde se usaba la escala semi instrumental GEOFIAN), la escala JMA (de 7 grados) usada en Japón, etc. Las escalas MM y MSK (propuesta como estándar internacional) resultan en valores parecidos entre sí.

La escala más común en América es la escala modificada de Mercalli (MM) que data de 1931. Esta, detallada en el Apéndice, va del grado I (detectado sólo con instrumentos) hasta el grado XII (destrucción total), corresponde de daños leves hasta el grado V.

C. Richter definió, en 1935, el concepto de “magnitud” pensando en un parámetro que describiera, de alguna manera, la energía sísmica liberada por un terremoto. La magnitud de Richter o magnitud local, indicada usualmente por ML, está definida como el logaritmo (base 10) de la máxima amplitud ( $A_{max}$ , medida en cm) observada en un sismógrafo Wood-Anderson estándar (un sismógrafo de péndulo horizontal muy sencillo), menos una corrección por la distancia ( $P$ ) entre el epicentro y el lugar de registro, correspondiente al logaritmo de la amplitud ( $A_0$ ) que debe tener, a esa distancia, un sismo de magnitud cero.

Richter definió esta magnitud fundamentado en las características de California, EUA, y para distancias menores de 600 Km.

Para medir los sismos se pueden usar distintos tipos de aparatos. Los más comunes son los sismógrafos, los acelerógrafos y los sismoscopios.

Los sismógrafos se inventaron a fines del siglo pasado y han evolucionado considerablemente en la actualidad; son aparatos muy sensibles que captan y amplifican hasta 100,000 veces o más las vibraciones de la tierra. Consisten en péndulos

fuertemente amortiguados con relación masa/rigidez grande, que pueden registrar, según la forma en que están colocados, oscilaciones en dirección horizontal o vertical y producen un registro de la variación de los desplazamientos en función del tiempo.

Su registro, llamado sismograma, es muy útil para estudiar las características y mecanismos de generación de los temblores. Con él se puede estimar la distancia entre el epicentro del temblor y la estación sismológica donde se registró, a partir de la diferencia en el tiempo de llegada de las ondas P y S y de la velocidad de propagación de estas ondas.

Se puede estimar también con el registro la profundidad focal; sin embargo, tal vez la determinación más importante que se hace con este registro es la estimación del tamaño del temblor, o sea su magnitud, en la escala de Richter,

La limitación de los sismógrafos para registrar las características de los movimientos locales fuertes hace que no sean tan útiles a los ingenieros para el diseño de estructuras, por lo que se inventaron otros aparatos que permiten captar dichas características: los acelerógrafos y los sismoscopios.

Los acelerógrafos, como el nombre indica, miden las aceleraciones del terreno durante temblores intensos. Normalmente estos aparatos registran los cambios de aceleración en función del tiempo, en las direcciones de tres ejes coordenados, por ejemplo Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical, simultáneamente. Los registros son de gran utilidad a los ingenieros, pues conociendo las aceleraciones del terreno es posible estimar las fuerzas de inercia que se generan en la base de las estructuras.

Los sismoscopios son aparatos mucho más simples; son péndulos que representan estructuras reales, con un cierto periodo de vibrar y un cierto amortiguamiento y su registro permite obtener un punto del espectro de respuesta. Su empleo está decayendo en la actualidad.

La magnitud y la intensidad de un temblor son dos conceptos totalmente distintos, pero existe bastante confusión en su utilización. La magnitud, como ya se dijo es equivalente al tamaño del temblor en su origen, se estima que al año ocurren en el mundo tan solo dos temblores de magnitud 8 ó mayor, pero que ocurren unos 20 de magnitud mayor de 7, 300 de magnitud mayor de 6 y 3000 de magnitud superior a 5, que como se dijo son ya potencialmente destructivos.

La escala de intensidad más empleada en América es la de Mercalli, modificada en 1931 por Wood y Newman y posteriormente en 1956 por Richter. Esta escala tiene 12 grados, desde el temblor grado I, detectado únicamente por instrumentos pero que no es sentido por las personas, hasta el de grado XII que corresponde a destrucción total. En Rusia, Japón y otros países la escala de intensidad que se emplea es diferente; la escala japonesa, por ejemplo, tiene sólo 7 grados.

La escala de Richter está basada en la amplitud máxima de ciertas ondas sísmicas registradas sobre un sismograma estándar a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del temblor. Nótese que la escala nada dice acerca de la duración o la frecuencia, que pueden tener gran importancia en las causas de daño.

La escala de Richter no tiene un máximo fijo, pero cerca del 9 es el más alto registrado hasta hoy. Un sismo de magnitud 2 de la escala es el más pequeño que normalmente sienten los seres humanos; un evento con una magnitud de 7 o más, por lo común se considera importante.



### III. LOS SUELOS Y SU CLASIFICACIÓN.

Con objeto de comprender el comportamiento de las edificaciones cuando son solicitadas por fuerzas sísmicas, es muy importante aclarar el concepto relativo al “suelo”, para lo cual deberá mencionar que los suelos son el producto de los depósitos formados en diferentes cuencas, los cuales se componen fundamentalmente de arenas, limos y arcillas, estratificados por la acción del tiempo en dichas cuencas. Esta acción geológica conforma lo que llamamos sedimentaciones físicas, acción en la que el agua juega un papel importantísimo, sobre todo cuando tratemos el caso relativo al valle de México.

Existen multitud de casos y cuencas en las que se han formado enormes depósitos, conformando lo que en la ingeniería denominamos suelos y que estudiamos a través de una ciencia especializada denominada “mecánica de suelos”. Para efecto de las recomendaciones estructurales en el diseño de los edificios, objeto de esta investigación considero indispensable aclarar que las edificaciones se desplantan tanto sobre suelos como sobre rocas, diferencias que deben apreciarse de manera evidente, porque el comportamiento y características de estos apoyos para las edificaciones son completamente distintas por ejemplo:

- La velocidad de propagación de la onda sísmica es mucho mayor en las rocas que en los suelos y en estos últimos dicha velocidad de propagación depende del contenido de agua.
- En los suelos de espesores grandes los periodos de vibración son relativamente más largos (17 a 30 metros de profundidad) siendo los valores de sus módulos dinámicos de elasticidad y rigidez, prácticamente el doble de aquellos de los suelos con profundidades hasta los 17 metros.
- La velocidad de propagación en la onda sísmica en suelos superficiales, hasta 17 metros es del orden de 40 m/seg. y de 60 m/seg. para profundidades hasta 30 metros. En depósitos más profundos crecen las velocidades de propagación de la onda sísmica sustancialmente y el periodo de vibración se modifica. Profundidades mayores de 40, metros no las consideramos, en virtud de que ya no forman parte de los estratos que se utilizan en la construcción de edificaciones altas.
- Cuando el proceso de estratificación se desarrolló coincidiendo con periodos de sequías o algún fenómeno natural de origen vulcanológico o geológico importantes, se aloja en el seno de los mantos de suelo, algunas capas duras correspondientes a suelos consolidados. Estas capas son utilizadas como capas resistentes para el desplante de los edificios altos en las zonas de que se trate.
- El concepto generalmente identificado para la “roca”, es el de una piedra, sin embargo bajo el punto de vista de la ingeniería, de los suelos estas rocas se componen de suelos firmes, tobas compactas y capas rocosas de origen volcánica es característico este tipo de suelos, la ausencia de agua y la alta capacidad de carga y baja deformabilidad. La composición de estos suelos duros es muy variada y depende de los procesos geológicos que les dan origen.

En relación con el comportamiento estructural de los suelos, debemos reconocer el papel que juega el suelo en relación con las edificaciones que se construyen sobre el mismo. Nos interesará especialmente su capacidad de carga directa, su capacidad al esfuerzo cortante, la resistencia a la fricción y la relación de la es-

estructura molecular del suelo y su contenido de agua, con el efecto que estas dos características acusan en la resistencia antes mencionada.

### 3.1.- CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS SUELOS

Según la Convención Internacional de Clasificación de Suelos y debido a que los componentes fundamentales son arenas, limos y arcillas, estos se clasifican según los porcentajes de estos materiales en su composición, siendo clasificados en primer lugar por el material más abundante en su estructura, por ejemplo suelos limo-arcillosos, limo-arenosos, arcillo-arenosos, arcillo-limoso, areno-arcillosos y areno-limosos. La estructura molecular en cada uno de estos casos es distinta y su resistencia a los esfuerzos mencionados dependerá de la estructura como del contenido de agua.

### 3.2.- LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL COMPORTAMIENTO Y ESTABILIDAD DEL SUELO

Los suelos son aceptables y menos deformables, con mayor capacidad de carga, cuando menores son sus contenidos de agua. Es por ello que los suelos de origen lacustre tienen resistencias bajas, alta deformabilidad y comportamiento errático, debido al cambiante contenido de agua, por razones estacionarias o bien por la extracción artificial de las aguas freáticas contenidas en su estructura.

En casos muy especiales, por ejemplo en el Valle de México se puede hablar de suelos con un contenido de agua del 400% en volumen respecto a los sólidos, lo que significa que la estructura molecular que está compuesta por partículas de agua rodeadas de sólidos, que en el momento de la extracción del agua y la aplicación de cargas súbitas rompen de igual manera la estructura original del suelo.

Es de resaltar el enorme daño que causa a los suelos la extracción artificial del agua contenida en su seno lo cual modifica sus condiciones de trabajo estructural. Este fenómeno deberá ser estudiado permanentemente en el caso de la Cuenca del Valle de México donde se aloja el conglomerado humano más grande del mundo, cuyas necesidades de agua potable superan 60 m<sup>3</sup>/seg. de los cuales un 60% aproximado es extraído del subsuelo, sin que se disponga de alguna alternativa menos agresiva hacia la ecología y a la estructura resistente del suelo del valle.

Es alarmante el cambio que se está dando en la estructura física de los suelos donde se lleva a cabo la extracción de agua en los acuíferos subterráneos superficiales y profundos. Analizaremos más adelante el caso del Valle de México.



## IV. EL SUELO EN EL VALLE DE MÉXICO. SINGULARIDAD.

Es indudable que todas las experiencias vividas durante los sismos ocurridos en el siglo XX en la cuenca del Valle de México, nos han obligado a estudiar más profundamente sus características, geotécnicas, y los diversos efectos que estas causas cuando ocurre un sismo importante.

La cuenca del valle constituye un enorme vaso natural formado en diferentes etapas geológicas y siempre en la presencia de una actividad volcánica permanente. El valle contaba con un drenaje natural hacia el sur y este se cierra cuando nace la cordillera Chichinautzin en la que se aloja hoy en día el Ajusco, fenómeno que da lugar a la formación de los enormes depósitos que forman hoy lo que conocemos como el suelo, compuesto por materiales limo-arenoso-arcilloso, estratificados con materiales producidos durante las erupciones volcánicas como las cenizas y pómez. La presencia de los conos volcánicos extinguidos en la superficie de la cuenca, evidencia este fenómeno. Al cerrarse la cuenca se dio origen a la formación del lago que por sus características fueron salobres y de agua dulce, los cuales, aislados por obras realizadas por el hombre en épocas prehispánicas, cuentan con un canal de intercomunicación estrecho.

### 4.1 ZONIFICACIÓN EN LA CUENCA DEL VALLE.

Según las características geotécnicas del valle de México, éste se ha clasificado en tres zonas principales: a) zona de lomeríos o zona dura; b) zona de transición y c) la zona blanda o del lago. Estas tres zonas presentan características geotécnicas particulares, por lo que se distinguen también en cuanto a su comportamiento estructural y su efecto en las edificaciones que sobre estas zonas se construyen. En una forma abreviada estas zonas se han llamado de lomas, de transición y de lago, las cuales mencionaremos a continuación:

**Zona de lomas.** Incluye las faldas de todas las serranías que conforman los parteaguas de la Cuenca del Valle de México y además las partes altas de los cerros que emergen sobre los lagos de la cuenca, como son el Peñón de los Baños, el Cerro de la Estrella, el Peñón del Márquez y las zonas basálticas de los pedregales.

En los límites de esta zona y precisamente por encontrarse los estratos superiores o mantos superficiales del suelo general del valle, sobre los taludes de estos lomeríos se evidencia el fenómeno de asentamiento del vaso del valle y su consolidación, debido sobre todo a la pérdida de agua en estos mantos, provocada por la extracción artificial de las aguas freáticas. Es en las capas superficiales entre los 0, 15 - 17 metros que se han fracturado los estratos sedimentarios del suelo, provocando una serie de contaminación entre las capas superficiales y las capas de mayor profundidad, ubicadas entre la capa dura y la superficie, lo cual afecta de manera importante el comportamiento estructural del suelo y por otra parte, permite la contaminación de los acuíferos medios y profundos, anulando el sello hidráulico de las arcillas originales, permitiendo el deterioro por contaminación de las reservas de agua potable disponible.

**Zona de transición.** Ubicada en una zona de cambio progresivo entre los materiales que conforman los lomeríos y los existentes en el vaso del lago.

Aunque para efecto estructural esta zona se considera sensiblemente uniforme la estratigrafía correspondiente le clasifica en relación con tres condiciones típicas: Progresiva, donde la formación rocosa está cubierta por depósitos aluviales, cubiertos por las capas más nuevas de arcilla lacustre.

- Interestratificada, ubicadas en las regiones donde las bases aluviales y lacustres se presentan alternadamente, intercalando mantos arcillosos blandos con otros más duros y resistentes.

**Zona abrupta.** Distinguida donde los depósitos lacustres se encuentran en contacto con formaciones rocosas con interfases de suelo residual.

**Zona de lago,** formada por la cementación de arenas y arcillas volcánicas combinadas con limo. Debido a la variación en cantidad y época de sus materiales de origen volcánico, su estratificación fue diferencial, definiendo las siguientes formaciones: 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 dichas 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.

## 4.2 ESTRATIFICACIÓN Y SUS EFECTOS

Dado que la mayor parte de las construcciones de la ciudad se han ubicado sobre la zona de lago, es conveniente destacar la formación o estratos en los que se puede dividir para su estudio esta zona de lago en:

- Manto superficial. También denominado costra superficial, está constituido por depósitos areno-limosos y arcillosos los cuales se han desecado intensamente, por lo que presentan un alto grado de preconsolidación.
- Formación arcillosa superior estrato potente con espesores que varían entre 15 y 32 m. formados por arcillas blandas, saturadas y altamente compresibles. Hacia su frontera inferior con la capa dura, se encuentra preconsolidada debido a un proceso de consolidación inducido por bombeo.
- Capa dura. Es un estrato de aproximadamente 3.0 m de espesor principalmente de materiales limo-arenosos y areno-limosos con intercalaciones de grava cementados,
- Formación arcillosa inferior, constituida por arcillas volcánicas semejantes a la de la formación arcillosa superior.
- Depósitos profundos. Son suelos muy compactos formados principalmente por arenas limosas con gravas.

Como hemos mencionado en párrafos anteriores la velocidad de propagación de la onda sísmica es mayor en los sitios más preconsolidados o sea que dicha velocidad es menor en los mantos superficiales y aumenta conforme nos acercamos a la capa dura y a los depósitos profundos después de ésta.

Los efectos del sismo en la capa superficial se presentan de manera errática, resultando los máximos daños a las estructuras en esta zona de lago lo cual se explica al señalar que las ondas sísmicas que pasan de los depósitos profundos a los estratos arcillosos, son filtradas, lo cual ocasiona una modificación en los periodos dominantes de vibración, incrementando la amplitud de las mismas, señalando que en las profundidades de 30 a 40 m. con periodo de vibración es cercano a los 2 seg., fenómeno que en 1985 propició la resonancia del sistema, suelo – cimentación - estructura, dado que un gran porcentaje de la energía del sismo del 19 de septiembre tuvo periodos cercanos a los 2 seg., afectando sobre todo los edificios de 8 a 12 niveles.



También hemos mencionado que las zonas del valle con espesores de arcillas superiores a 50 m. el periodo de vibración aumentan a más de 3 seg., lo que disminuyó sensiblemente los daños a la estructura de esa zona.

#### 4.3 DETERIORO DEL SUELO, SU ASENTAMIENTO.

En relación con el fenómeno de cambio y evolución de las características del suelo en el valle, debo señalar dos casos que evidencian los inicios de un proceso de deterioro de la estructura del suelo que se traducirá en un plazo mediano, en un grave problema relativo a la contaminación de los mantos freáticos superficiales y profundos. La pérdida del contenido de agua en el suelo, provocada por



Estructura resistente. Falla al cortante del suelo



la extracción indiscriminada de aguas para uso privado e industrial en el valle ha provocado la preconsolidación de las capas más superficiales que hemos identificado en la zona lacustre como manto superficial mencionando que ya presentan un grado de preconsolidación elevado desde el nivel superficial hasta los 15 m. de profundidad.

El asentamiento de grupos humanos en la superficie de la cuenca, tolerado y propiciado por la política de regularización de la tenencia de la tierra, ha incrementado en forma alarmante la contaminación de los suelos y en consecuencia de los acuíferos superficiales, al no contar con infraestructura que garantice el control y esparcimiento de materias contaminantes tanto de origen doméstico como industrial. Este fenómeno agregado al de las fracturas provocadas por la consolidación y deshidratación de las capas superficiales del suelo, la realización de obras; dentro de estos estratos y el aumento geométrico de la producción de desechos, permite comprobar hoy en día un muy alto grado de contaminación de los acuíferos abastecedores de agua potable de la metrópoli. Bajo el punto de vista estructural - constructivo el incremento paulatino y progresivo en el deterioro de estas capas de suelo, están provocando fallas en las estructuras de las edificaciones construidas sobre ellas. Casos como éste se han presentado en los terrenos denominados "la laguna" (Conalep Indios Verdes) en la zona de influencia en el Río de los Remedios y en Iztapalapa (Cecyt Iztapalapa) en las zonas anexas a la Cárcel de Mujeres. Estos dos casos los presento como trabajos ejecutados con CAPFCE, paralelos a la presente investigación.

## V. LA RELACIÓN SUELO-EDIFICIO.

Es indispensable reconocer en forma detallada el íntimo trabajo estructural que desarrollan el suelo y la cimentación de los edificios. Para estos efectos distinguiremos tres tipos de edificaciones:

- Edificios altos con cimentaciones profundas,
- Edificios largos y bajos con cimentaciones superficiales.
- Edificios intermedios.

Estos tres tipos de construcciones deberán ser analizados en los tres tipos de suelo de la Cuenca del Valle de México.

Paralelamente y con objeto de presentar nuestro diagnóstico de manera congruente con la clasificación de los tipos de estructuras que propuso la Fundación ICA en el documento mencionado anteriormente, haré referencia dentro del análisis, a los tipos de estructuras allí citados, tanto en este acápite como en el que se presentará en el siguiente capítulo 3.4 "la medición del sismo... relación estructura-suelo.

Hemos mencionado con anterioridad la función estructural que cubre el suelo en relación con la edificación que se desplante sobre él. En todo caso la construcción de una estructura sobre el suelo, alterará las condiciones originales del mismo, debido al peso que se transmite de forma permanente entre el edificio y el suelo y además las transmisiones de cargas y esfuerzos adicionales al suelo de manera accidental o instantánea, como se provoca en el caso de ocurrencias de sismos, empujes de viento o disposiciones de carga no previstas en el diseño estructural.

La transmisión de cargas mencionada se lleva a cabo bajo tres diferentes procesos:

- Aplicación de la carga directa en una área de sustentación determinada en forma superficial.
- Combinación de la aplicación de 3 cargas en un área determinada a una profundidad establecida una vez liberado el suelo de su propio peso entre la superficie y dicha profundidad.
- Aplicación de la carga por cualquiera de los dos procedimientos anteriores más la aplicación de cargas aisladas sobre pilotes hincados por determinado procedimiento, hasta las capas duras del subsuelo. En ocasiones se permitió el uso de pilotes de fricción, que llegaban a la capa dura mencionada. Esta opción última no es recomendable actualmente.



Fallas de suelo. Afectación parcial a estructura







Volteo parte superior del edificio.  
Cambio brusco de sección

2 segundos (pico a pico), que contrastan con velocidades de 11 cms. Por segundo en ciudad universitaria y 12 cms. (pico a pico) en C.U y 20 cms. En Tacubaya. Estos datos provienen de la integración de acelerogramas. Los efectos máximos fueron en sentido este-oeste.



Centro SCOP Amplio espacio urbano anexo. Altura 10 pisos

Fallas estructurales en cuatro niveles superiores



Siendo esta la forma de lograr el trabajo estructural conjunto entre cimentación y suelo, señalaremos que la construcción de la superestructura deberá estar ligada convenientemente con la cimentación o subestructura, de acuerdo al tipo de edificación. La capacidad de resistencia del suelo a la carga directa del peso o esfuerzo cortante se establecen de acuerdo a las características de cada caso, o bien se toman de los esfuerzos permisibles que señala el Reglamento de Construcciones del D.F.

### 5.1 ANALOGÍAS Y EFECTOS.

Cabe señalar que durante el sismo del 19 de septiembre de 1985 se registraron en los instrumentos de SCT en la zona de Xola y eje central, velocidades máximas de 61 cms. Cada

Es regla que en edificios altos que la cimentación sea de concreto, diferente material a la superestructura, como el caso de algunos de los edificios más importantes de la zona metropolitana, construidas con estructura de acero:

Torre Magna Reforma (57 niveles), Torre Pemex (52 pisos), Torre Latinoamericana (45 niveles) Torre CMA (35 niveles) y otras con estructura principal mixta como la Torre WTC

(42 pisos) y muchos otros, lo que permite establecer la necesidad de construirlos con un trabajo estructural integral, entre la superestructura, la cimentación y el suelo hasta sus capas duras. Este tipo de trabajo estructural integral se debe lograr sobre todo en edificaciones largas con cimentaciones superficiales, las cuales trabajan en condiciones críticas cuando son solicitadas por sismos Conjunto Filosofía, Economía, Derecho en C.U.. (4 niveles), Edificio Juzgados de Lecumberri, hoy anexo del Archivo de la Nación (5 niveles), Unidad Profesional de Zacatengo IPN (4 niveles), y otras.

Algunas edificaciones con estas últimas características se colapsaron durante el sismo u otros anteriores como la Universidad Iberoamericana en Churubusco en 1979, Plantel Voca 5 IPN en la Ciudadela (4 niveles). Edificios colapsados con las características del primer grupo fueron Hospital Juárez SSA (12 niveles), edificios en Zacatecas y Orizaba (12 niveles) y muchos otros, algunos de los cuales sufrieron el colapso parcial como Conjunto Metro Pino Suárez (20 pisos), que analizaremos más adelante.

## 5.2 MARCO DE REFERENCIA.

Según el estudio realizado por la Fundación ICA y publicada en sus “Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985”, los sistemas estructurales más comunes en la ciudad de México, pueden clasificarse en alguno de los seis tipos siguientes:

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

Tipo 2. Estructuras con muros de carga de mampostería de tabique recocado 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 trabes 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 trabes de los marcos o reforzadas con trabes 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 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 crujías 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”.

En el mismo estudio, la Fundación ICA, realiza un inventario de daños, obtiene una estadística y señala los tipos de daños más comunes y las posibles causas de ellos, las que se expresarán en el capítulo 4 de esta investigación.

### 5.3 INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL.

Una aportación personal.

El acontecimiento sísmico del 85 nos puso a prueba y no encontré una forma más eficiente de ayudar a mi comunidad que filmar, fotografiar, estudiar y llevar a cabo el seguimiento de los procesos de diagnóstico, demolición, reestructuración, reparación y puesta en uso de las edificaciones que fueron evacuadas inmediatamente después de la ocurrencia de los sismos. Los registros gráficos los incluyo como un anexo al trabajo de la presente tesis y de esos análisis obtengo las conclusiones que menciono en el capítulo 4 de este documento y que presenté en 1988.

Durante los años de 1987 y 1988, siendo presidente del Colegio de Arquitectos Sr. Arq. José F. Reygadas, como miembro del consejo Directivo me correspondió participar en el programa de “Análisis de las lecciones que dejaron los sismos de 1985 para el diseño arquitectónico y urbano”, programa auspiciado por la National Science Foundation, cuyo documento síntesis fue presentado en nuestra última reunión de trabajo el 10 de marzo de 1988, estando presentes los miembros del Council on Architectural Research of the American Institute of Architects y la Association of Collegiate Schools of Architecture y los representantes del Colegio de Arquitectos de México (CAM) y la Sociedad de Arquitectos Mexicanos (SAM). Por eso enuncio mi aportación en paralelo a las investigaciones que entonces realizamos y que continúan llevándose a cabo para prevenir desastres futuros.

En el capítulo correspondiente trataré de ubicarme en el contexto de clasificación que propuso la Fundación ICA y mi propia síntesis, al investigar y hacer seguimientos de estudios de caso que sustentan mis conclusiones en relación con la Construcción y Diseño de las edificaciones, así como las Normas Complementarias al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Dichos resultados estarán incluidos en el capítulo 9 en el que referiré análisis y conclusiones a algunos problemas específicos de Métodos de Construcción, de suelo y el análisis metodológico de las fallas observadas en las estructuras, sus conclusiones y las recomendaciones que fundamentan aquellas que enuncio en otros capítulos.





## VI. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL TERREMOTO EN LAS ESTRUCTURAS DAÑADAS.

Inicio este capítulo sintetizando las conclusiones que publicó la Fundación ICA en el documento denominado “Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985”, y a continuación agregaré lo que he considerado es una aportación personal resultado de una investigación de campo y una clasificación metodológica de los daños estructurales observados, primero en los edificios en su conjunto y luego en los elementos aislados de la estructura.

Como ya se ha mencionado, las estructuras que más daños sufrieron fueron aquellas cuyos periodos de vibración eran cercanos a los dominantes en el movimiento 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.

En estructuras de concreto las fallas más comunes consistieron en:

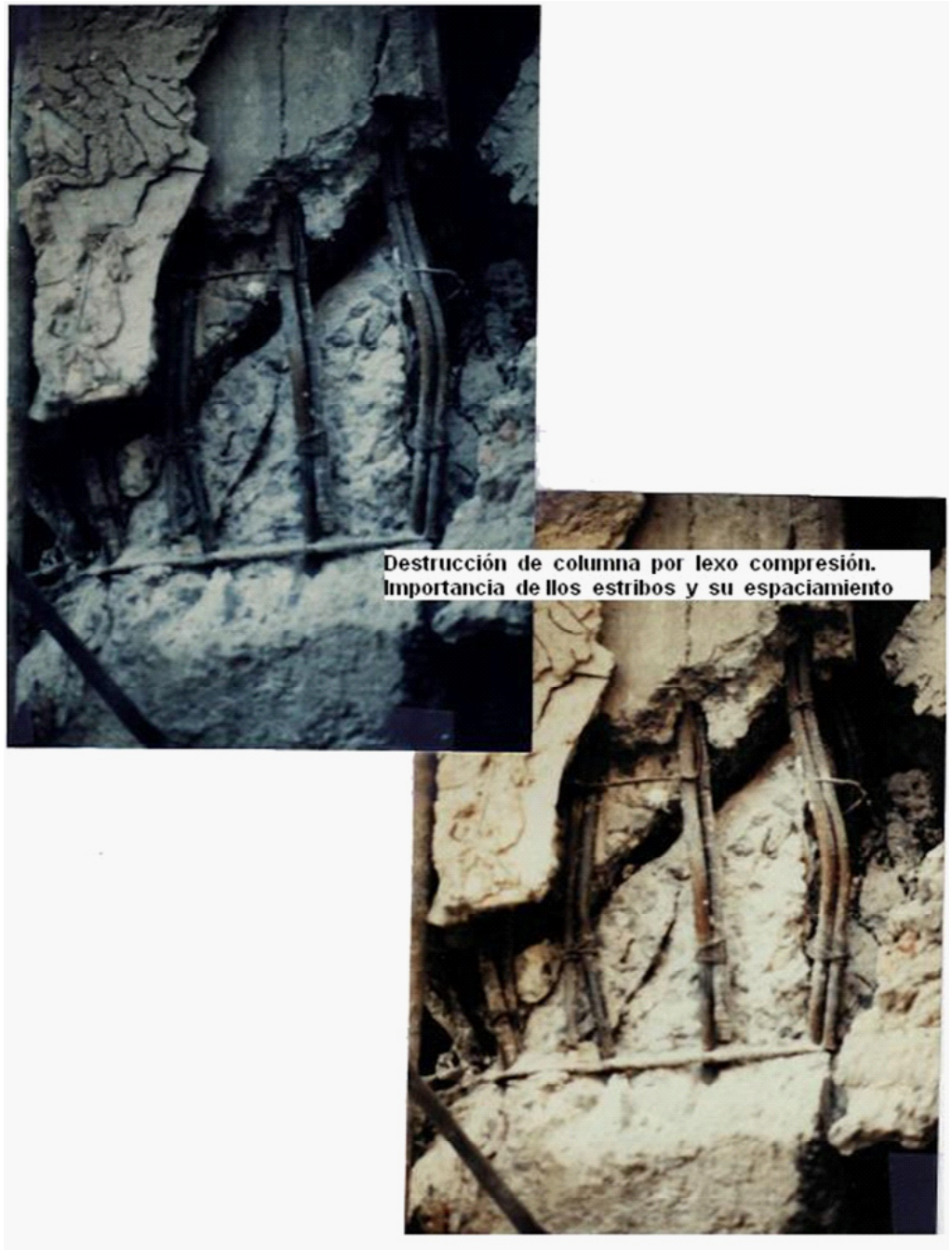
a) Desmoronamiento inclinado de las traveses en la proximidad de sus extremos debido a tensión diagonal; en un buen número de casos aparecieron dos grietas formando una cruz, como consecuencia de la inversión de esfuerzos.

b) Desprendimiento y desmoronamiento del concreto en la parte inferior de las traveses 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 traveses. En algunos casos, se observó que



**Destrucción total de columnas por flexo compresión.**





habla el mismo tipo de daño en las partes superior e inferior de las trabes, causado por inversión de momentos flexionantes.

- c) Deslizamiento o punzonamiento de las columnas en los capiteles de estructuras de losa plana aligerada (estructura tipo 4) provocado por tensión diagonal.
- 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, en otros casos las grietas se orientan en una sola dirección, sobre todo en estructuras que sufrieron asentamientos diferenciales antes o durante el sismo.
- e) Desprendimiento y desmoronamiento del concreto de las columnas, así como pandeo del acero de refuerzo, como consecuencia de la repetida inversión





**Colapso total de la edificación. Destrucción de columnas y trabes  
Falla de los nudos "rígidos Columnas y trabes permanecen**







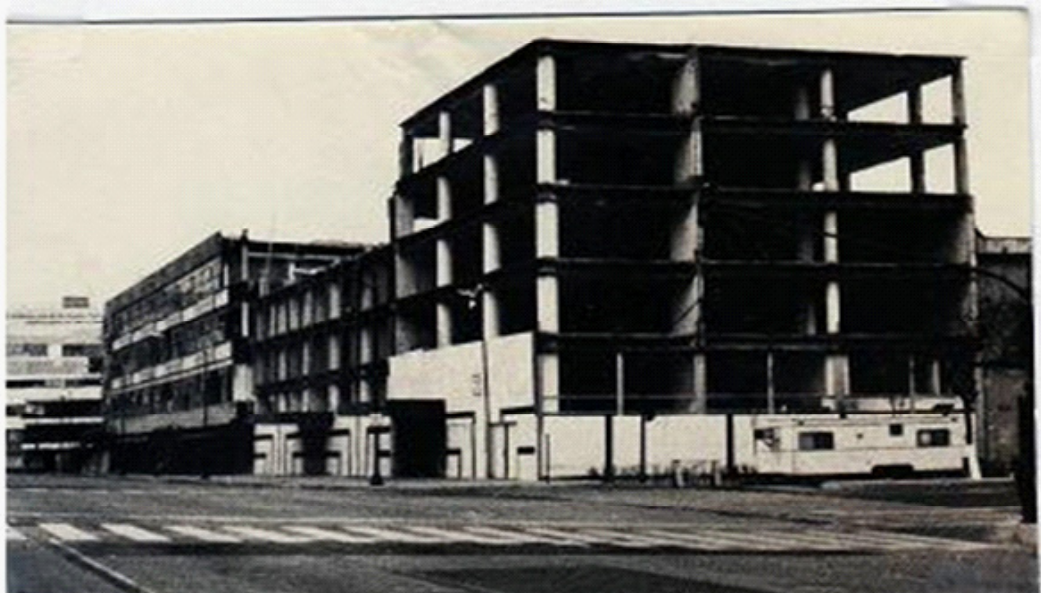
**Clapso por torsión 5 pisos superiores. Núcleo servicios excéntrico  
10 pisos Reestructuración del edificio y puesta en operación. Con 6**







**Gran espacio abierto en Plaza de la República Altuta 10 niveles  
Reestructuración y puesta en marcha con alturas variables 4 a 6  
pisos**





de esfuerzos y las grandes deformaciones provocadas por el sismo. En algunos casos el confinamiento proporcionado por el refuerzo transversal no era adecuado.

f) Agrietamientos diagonales en cruz en muros carga o de relleno provocados por tensión diagonal al haber un exceso de carga en ambos sentidos. 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.



### 6.1 EVALUACIÓN DE FRECUENCIA DE FALLAS.

Como conclusión este documento llegó a la siguiente evaluación porcentual de las fallas:

|                                    |        |       |
|------------------------------------|--------|-------|
| Número de edificaciones existentes | 53 358 | 100 % |
| Número de edificaciones dañadas    | 757    | 1.4 % |

De estas 757, hubo 133 colapsos totales, 353 con colapsos parciales y 271 con daños graves.



En lo que respecta a daños en función del número de niveles:



Choque entre edificios. Destrucción parcial del más bajo. Falla de los nudos rígidos en el más alto. Reestructuración y recuperación parcial

|  |      |        |
|--|------|--------|
| Número de edificios de 6 a 12 niveles  | 1616 | 100 %  |
| Edificios dañados de 6 a 18 niveles    | 136  | 8.4 %  |
| Edificios analizados de 9 a 12 niveles | 531  | 100 %  |
| Edificios dañados de 9 a 12 niveles    | 72   | 13.5 % |
| Edificios de más de 12 niveles         | 229  | 100 %  |
| Edificios dañados de más de 12 niveles | 24   | 10,4 % |

Debe hacerse notar que al aumentar el número de niveles al intervalo de 6 a 8 con periodos de oscilación mayores de 1 seg. en muchos casos el porcentaje de estructuras fuertemente dañadas aumenta abruptamente en relación con los edificios bajos, a 5 niveles, debido que la estructura se va deteriorando al alargarse más sus periodos de oscilación y están ubicadas en zonas de mayor respuesta dinámica. Al aumentar más el periodo por tener estructuras de 9 y 12 niveles y siendo más cercano al periodo dominante del suelo, el porcentaje de las estructuras dañadas creció a 13.5%, mismo porcentaje se va reduciéndose conforme aumenta la altura de las edificaciones al 13.7% para 13 a 15 niveles, 0% para las de 16 a 18 y el 4.3% para las de más de 18 niveles, lo que comprueba que en general los edificios más altos sufrieron mucho menos daños que los de estatura media. Una observación que cabe destacar es que en general los edificios altos son proyectados y construidos con mayor atención y una supervisión más estricta.

De las edificaciones que tuvieron colapso total, parcial como daños graves, un 55% tenía el uso de vivienda y el 45% a oficinas públicas y privadas, hospitales, escuelas, bancos, hoteles y otros usos.

## 6.2 CRITERIOS DE REESTRUCTURACIÓN.

En el periodo comprendido entre enero de 1989 a febrero de 1971 me correspondió la coordinación del programa de reestructuración de planteles escolares, dependiente del C.A.P.F.C.E. iniciado en años anteriores con recursos federales y otros provenientes del B.I.D., llegamos a “rigidizar” 270 planteles en el área metropolitana, la mayor parte de 2 y 3 niveles.

En diseño atípico estructural, reestructuramos 22 planteles de 3, 4 y 5 niveles. Estos trabajos nos permitieron establecer criterios de rigidización para estructuras de acero y de concreto armado.

Para efectos de esta tesis, realicé un estudio sobre un número aproximado de sesenta edificaciones, las cuales catalo qué según las características que mencionaré a continuación:

### Estructuras con colapso total o parcial

Aquellas que resultaron destruidas durante el sismo del día 19 de septiembre o bien por la acción conjunta de los sismos de los días 19 y 20 y que sufrieron las siguientes fallas catastróficas:

- Destrucción total hasta el nivel de banqueta.

Destrucción parcial por pérdida súbita de uno o más entresijos en cualquiera de los niveles.

Pérdida parcial o total de los niveles superiores, acusando fallas locales y/o pérdida de la geometría original en el resto de la estructura.

Pérdida parcial de columnas, en forma súbita en cualquiera de los niveles y en cualquiera de las ubicaciones en la planta estructural.

Pérdida total o parcial de los marcos exteriores o de fachadas, acusando fallas estructurales en el resto de la estructura.

- Fallas en la cimentación y pérdida de la geometría original de la estructura en cuanto a ejes horizontales y verticales.
- Destrucción parcial o total, en forma súbita de toda la estructura o parte importante de ella, debido a la torsión y



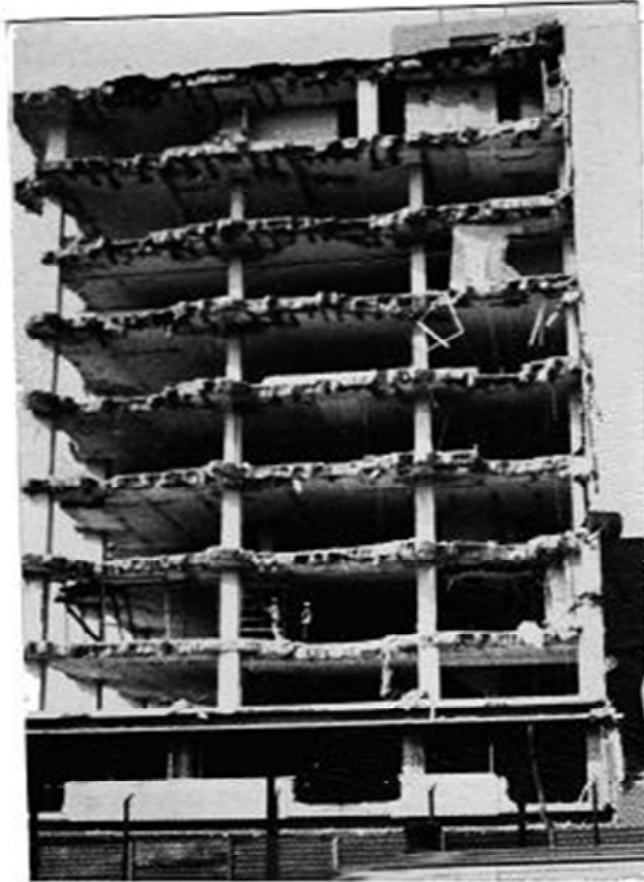


pérdida de la geometría original,

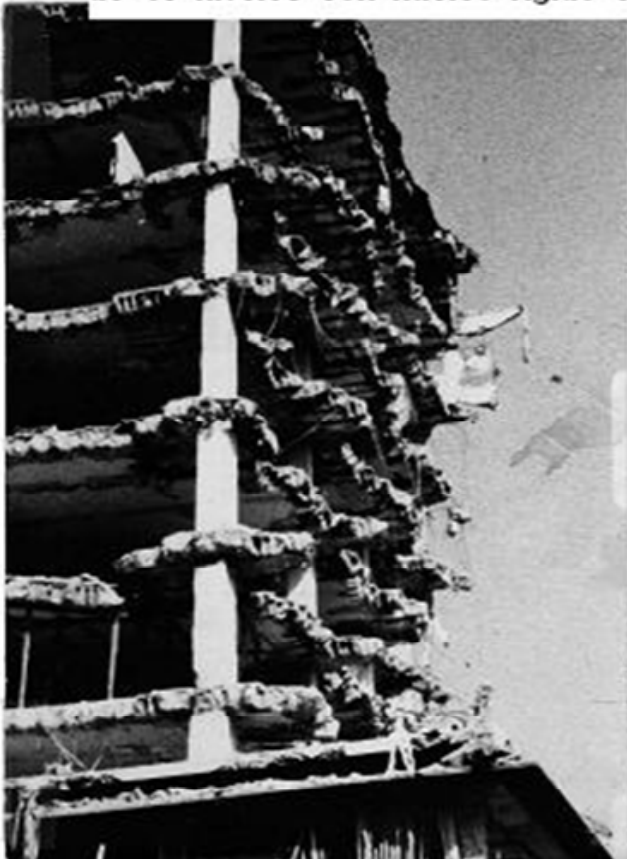
- Destrucción de las estructuras por cambio de uso, exceso de las cargas proyectadas y/o golpes con estructuras adyacentes, generalmente más bajos.

### **Estructuras con daños graves.**

Aquellas cuyos daños fueron fácilmente detectados debido al alto grado de destrucción que se presentó en la estructura, provocado por la acción de los sismos mencionados, presentando en forma sistemática, una o varias de las siguientes fallas estructurales:



**Dstrucción por torsión en los marcos exteriores de una estructura de 10 niveles con núcleo rígido excéntrico. Amplio espacio al frente**







**Falla estructural por torsión. Permanece núcleo rígido Altura 7 niveles. Destrucción parcial de estructura por falla de columnas en choque.**







Falla masiva de columnas y destrucción de pisos superiores

- Desaparición parcial o total de columnas en zonas críticas de carga, que provocaron la pérdida de geometría original. Pérdida de los nudos rígidos entre columnas y vigas o bien entre columnas y sistemas de entrepiso de tipo placas planas, reticulares, nervadas, etc.



- Fallas locales en forma parcial o total de las juntas entre materiales no homogéneos (acero, concreto colado en sitio y concreto presforzado, etc.) con o sin fallas de los elementos precolados.

- Estructuras cuyo proceso constructivo, no coincidió con el diseño estructural original, modificando de manera importante el trabajo estructural.

- Fallas en la estructura que fueron reparadas con anterioridad a estos sismos y estructuras antiguas que siendo de acero fueron protegidas con concreto colado en sitio, debido a la normatividad existente entonces, muy escasa en cuando a prevención de sismos.



- Fallas estructurales múltiples, dentro de los elementos resistentes, fundamentalmente columnas y vigas o sistemas de entresijos mencionados.
- Fallas de cimentación que provocaron la pérdida de verticalidad de los edificios, sin ocasionar fallas o daños estructurales visibles. En estos casos los procedimientos de recimentación, se consideraron inútiles para su salvamento.

Estas estructuras fueron en todos los casos sujetas a demolición, tanto por procedimiento pasivo como por explosión provocada, debido al alto riesgo que presentaban y a la inconveniencia de realizar un proceso de reestructuración confiable ante nuevas solicitudes de alta sismicidad.

### **Estructuras recuperables con daños leves.**

Son aquellas que pudieron sujetarse a un procedimiento confiable y garantizado de reestructuración en virtud de mantener fundamentalmente sus características estructurales de diseño y que presentaron fallas parciales en los elementos primarios o secundarios, por lo que permitían ser reestructuradas.

## **6.3 SOLUCIONES APLICADAS EN LA REESTRUCTURACIÓN.**

En este tipo de edificaciones ya fueran altas o largas, en el proceso de reestructuración incluyó los siguientes sistemas:

- Ampliación de la base de transmisión de cargas de la superestructura al suelo, con objeto de reducir los esfuerzos cortantes en el mismo. En ocasiones fue necesario adicionar pilotes trabajando de punta, pues los pilotes de fricción han resultado poco recomendables para los edificios trabajados en la zona metropolitana de la ciudad de México.
- Rigidización de las estructuras en general, cuando su ubicación se localiza en las zonas de alta compresibilidad del Valle, zona que recibió las mayores aceleraciones sísmicas que entraron en resonancia debido a que el periodo de oscilación de la estructura se acercó o coincidió el período armónico dominante de dos segundos en el sismo del 19 de septiembre.
- Adecuación de las formas de sujeción de los muros de colindancia y los muros no estructurales, contra la estructura original, de tal manera e propiciar el movimiento libre de los edificios, sobre todo tratándose de estructuras altas.

Es de hacerse notar que como conclusión a los estudios y las consecuencias que los sismos tuvieron en diversas estructuras, podemos generalizar el concepto conclusión de estos análisis: “para suelos rígidos diseñar estructuras flexibles y para suelos flexibles diseñar estructuras rígidas”, según los procedimientos de reestructuración aprobados por las nuevas normas y reglamentaciones.

Propondré a lo largo de esta investigación, las recomendaciones para el proyecto arquitectónico y urbanístico en su relación con la forma o geometría general de las estructuras, Con fundamento en las experiencias y conclusiones obtenidas de los sismos del 85, pretendo hacer las propuestas más evidentes y comprobarlas.

## **6.4 DETECCIÓN DE FALLAS EN SUELOS**

Los procedimientos usuales para la transmisión del piso de la estructura al suelo, incluyen la sustitución, el apoyo por superficie y la transmisión de carga a pilas y pilotes.



Edificio 10 pisos frente espacio abierto. Falla de pilotes de fricción

Desplome total de la estructura. Falla junta pilotes - cimentación -









En el rango de edificios entre los que ocurrió la mayor incidencia de fallas, fue justamente aquel en que los edificios pueden cimentarse por sustitución apoyo por superficie, sin una estricta necesidad de pilotes.

Las técnicas usuales de cimentación a edificios entre 8 y 10 niveles, brindaban un apoyo adicional a la estructura a través de pilotes de fricción. Demostraremos que este criterio fue erróneo, habiéndose provocado fallas en las estructuras y asentamientos realmente dramáticos, en algunos casos hasta de 3 metros.

El mejor comportamiento fue observado en edificios de este rango de altura, cimentados sobre pilotes de punta o pilas coladas in situ, apoyadas en la capa resistente a 20 metros bajo nivel de piso.

Los edificios de mayores alturas cimentados sobre pilas, se comportaron también en forma adecuada.

Recomendaciones:

En suelos de alta compresibilidad o suelos blandos, deberá evitarse el uso de pilotes "de fricción" o cualquier otro sistema que no este apoyado directamente en alguna capa dura.

El diseñador deberá analizar la alternativa del uso de pilotes, contra el de pilas coladas in situ. Estas últimas resultan la más garantizables para el apoyo de edificios en suelos blandos, siendo en general su capacidad mayor, su número menor y el costo excedente puede ser recomendable en favor de la garantía general de la estructura.

## 6.5 GOLPES ENTRE EDIFICIOS DE DIFERENTES ALTURAS.

Con alguna frecuencia y dada la estructura urbana y la siembra de los edificios, se presentaron colapsos en estructuras que fueron golpeadas por otras contiguas, generalmente ocasionando daños para ambas estructuras.

Las prevenciones de distancias entre edificios que permitieron la vibración independiente de cada uno de ellos, fue insuficiente.

Algunos edificios restringidos en su movimiento por las estructuras vecinas, se desplomaron sobre algunas de ellas.

Es de hacerse notar que en las manzanas cuyos edificios tienen una altura sensiblemente uniforme, este tipo de falla no se presentó.

**Recomendaciones:**

Debe procurarse el espaciamiento suficiente entre las estructuras contiguas que permitan la vibración independiente de cada uno de ellos.



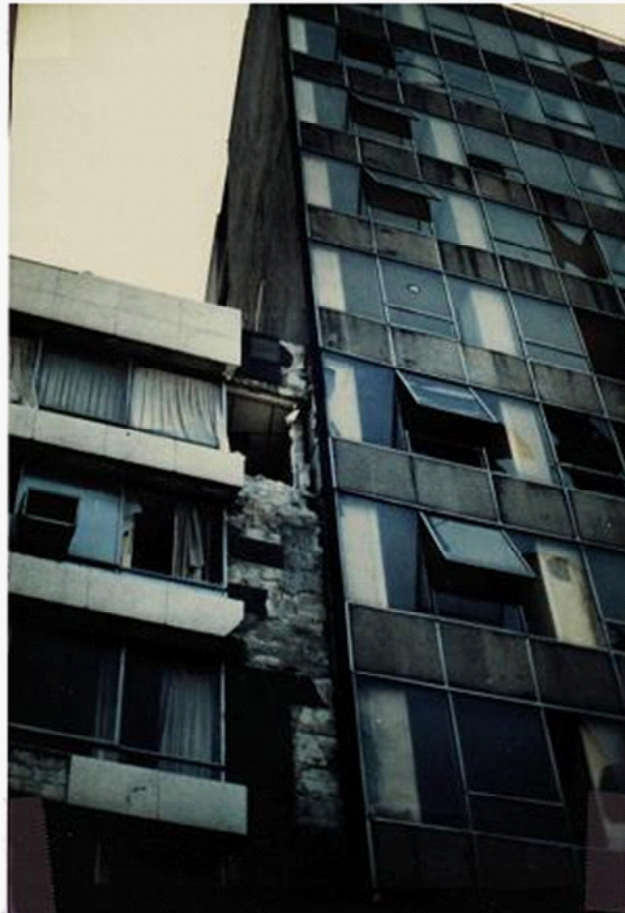
Clara destrucción pisos superiores del edificio alto 9 en choque con 6.



Es conveniente prevenir, en acuerdo con el diseñador estructural, algunos amortiguadores de choque de tipo elástico.



**Choque entre edificios. Destrucción importante en marcos colindantes**





## VII. UN DIAGNOSTICO CON CRITERIO ESTRUCTURAL DE UBICACIÓN.

### PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS. RECOMENDACIONES.

La observación urbana sistemática de los efectos sísmo en las edificaciones, señala una relación entre la ubicación de la estructura en el tejido urbano y el impacto producido.

La onda sísmica se desplazó con mayor facilidad y consecuencia con mayor energía en los amplios terrenos abiertos de la ciudad, provocando fallas en diferentes estructuras de un mismo conjunto urbano, por ejemplo: Nonoalco -Tlatelolco, Centro Médico Nacional, Conjunto Urbano Presidente Juárez, etc.

En algunas plazas de la ciudad quedaron marcadas ondas sísmicas, transformadas en olas de suelo que pudieron observarse en atrios y amplios espacios abiertos. De otra manera: las construcciones ubicadas en las esquinas de las manzanas, tuvieron una mayor incidencia de fallas. Varios casos al respecto serán analizados en este capítulo.

Recomendaciones:

Tomar coeficientes de seguridad adicionales, cuando el edificio diseñado se encuentra en medio o adjunto a grandes espacios abiertos. Con la combinación de estructuras de alturas medias y bajas, se obtiene un mejor comportamiento estructural.

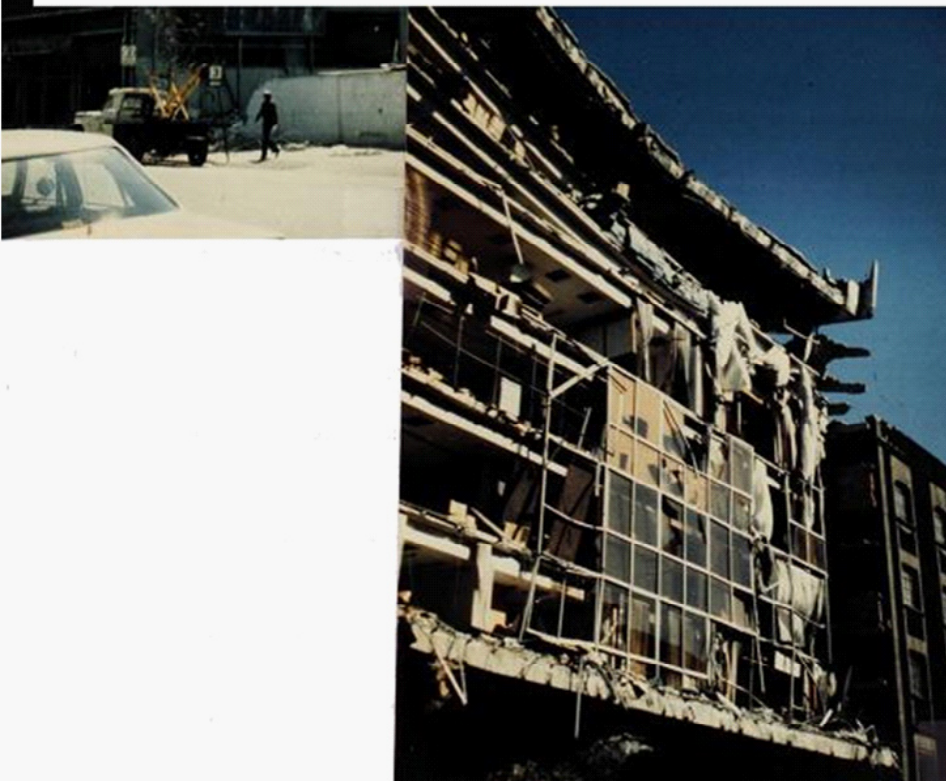
### 7.1 TORSIÓN EN EDIFICIOS ALTOS.

Con frecuencia ocurrieron colapsos parciales y totales en edificios cuya geometría presentó incremento en su excentricidad que favoreció la falla. Los núcleos rígidos alejados del centro geométrico de los edificios, provocaron incrementos considerables en los marcos perimetrales sub - reforzados, los cuales se colapsaron durante el sísmo. En algunos de estos casos, el núcleo rígido, permaneció aunque deformado, evitando el colapso total.

La característica de la siembra urbana en la ciudad, hace necesarios los muros de colindancia entre edificios.



Destrucción de columnas en marcos extremos de edificios asimétricos







**Edificaciones aparentemente sanas debieron ser reforzadas en nudos**







Los constructores con frecuencia ejecutaron los edificios de manera distinta a lo indicado en el diseño estructural, modificando el comportamiento previsto, provocando incrementos adicionales al efecto de la torsión en la estructura.

Puede concluirse que a mayor falta de simetría y/o mayor excentricidad, según el diseño original, modificado al construir, puede provocar una mayor torsión durante el sismo.

Determinados tipos de elementos de fachadas prefabricadas, precoladas o de alto peso, no consideradas en ocasiones en el proyecto estructural original, favorecieron mayores momentos de torsión sobre la estructura en general.

#### **Recomendaciones:**

Al proyectar edificaciones resulta muy importante la ubicación de los núcleos de servicios y circulaciones verticales, respecto a la planta general del edificio, debido a que constituye una zona de menor deformación con mayor rigidez. Durante la torsión, los marcos estructurales más alejados de ese centro de torsión deben analizarse de manera adecuada para reforzarles convenientemente. La correcta construcción de los núcleos de servicios y de los muros colindantes a otros predios resulta muy importante para el comportamiento adecuado de la estructura.



## **7.2 SIMETRÍA EN LA ESTRUCTURA.**

Es indudable que la estructura simétrica tanto en planta como en alzado, tuvo un comportamiento más adecuado ante el sismo, incrementando sus factores de seguridad estructural, incluso en edificios con alta relación de esbeltez.

#### **Recomendaciones:**

Es muy conveniente que el proyecto arquitectónico considere la mayor simetría posible para la estructura, tanto en planta como en alzado.

Deben evitarse estructuras de formas irregulares o conjuntos de edificios continuos que provocan zonas de falla estructural.

Debe procurarse también que el edificio en elevación no presente formas asimétricas que favorecen y acrecientan fenómenos de torsión y excentricidad.

### 7.3 EFECTO DE LA RELACIÓN DE ESBELTEZ.

Aparentemente la alta relación de esbeltez en edificios de alturas entre 8 y 15 niveles, influyó de manera favorable en el comportamiento de las estructuras, incluso tratándose de edificios con un solo eje. La alta relación de esbeltez alarga los períodos de vibración en las estructuras flexibles, alejándolo del período natural de vibración del sismo de 1985.

Las fallas y colapsos observados se presentaron de manera lo-cal y/o total en edificios con baja relación de esbeltez.

Recomendaciones:

El diseñador arquitectónico debe informarse previamente a su proyecto, de las alturas y relaciones de esbeltez óptimas para el terreno de que se trate, analizando el contexto urbano vecino y las características estructurales de los edificios ya construidos. La relación óptima varía de acuerdo con las alturas que se requieran para satisfacer el programa del proyecto.



### 7.4 CAMBIOS BRUSCOS EN LA GEOMETRÍA GENERAL.

En diferentes casos el cambio brusco en la geometría de los edificios, provocó fallas considerables y lo que pudo ser una seguridad aparente, se convirtió en un elemento enemigo del buen comportamiento estructural.

Algunas torres desplantadas sobre un núcleo estructural compacto, ocasionó esfuerzo adicional en los primeros niveles, correspondiente al cambio de sección, provocando diferentes fallas.

Edificios cuyos cambios de sección fueron graduales, tuvieron un comportamiento estructural más aceptable. Asimismo, tuvieron un efecto negativo en el comportamiento, la presencia de elementos estructurales distintos a la homogeneidad y continuidad de la estructura como son:

Muros de concreto en nivel aislado, voladizos importantes que afectaron localmente la estructura y otros.

Podemos afirmar que las estructuras de sección constante, fueron las que se comportaron de manera más satisfactoria.

Recomendaciones:

Deberán evitarse los cambios bruscos de sección en la geometría general de la estructura y muy esencialmente, deberán evitarse diferentes alturas en zonas aisladas de un mismo edificio.

Deberán favorecerse las secciones constantes y en su caso, el cambio gradual en la sección del edificio, procurando mantener la simetría, hasta donde sea posible.





## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA GEOMETRÍA GENERAL DE LAS EDIFICACIONES. SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN CASO DE SISMOS.

Como resultado de las investigaciones realizadas por un grupo de profesionales relacionados con la Universidad Nacional Autónoma de México, podemos establecer las fallas típicas, que se presentaron en los edificios de la ciudad de México, mismas que se analizaron en cuanto a su relación entre la forma geométrica, la solución estructural y su comportamiento ante el terremoto de 1985.

Es el objeto de esta investigación, enunciar recomendaciones para arquitectos y constructores sobre “la relación de la geometría y la resistencia de la estructura ante el sismo”.

Analizamos los siguientes casos de falla típica, aplicados a estructuras entre 8 y 15 niveles, riesgo en el cual la incidencia de fallas ocasionadas por el terremoto, fue notablemente exagerada.

1. Ubicación urbana.
2. Simetría en la estructura, tanto en planta como en alzado.
3. Estructuras flexibles vs. estructuras rígidas.
4. Relación de esbeltez.
5. Torsión en los edificios.
6. Cambio de sección en la geometría general de la estructura.
7. Destrucción de columnas parcial o total.
8. Sistema de entrepiso incluyendo traveses y losas.
9. Sistema de cimentación y apoyo al subsuelo.
10. Golpes entre edificios.
11. Falla por cortante del suelo.

### Conclusiones y Recomendaciones:

Existe una relación directa entre la forma arquitectónica y el comportamiento de las estructuras solicitadas por fuerzas sísmicas.

El diseño arquitectónico debe considerar los factores que permitan la conservación de los siguientes aspectos de carácter estructural, hasta donde lo permita la capacidad creativa del diseñador.

- A) Coplanaridad en los sistemas de carga de la estructura.
- B) Dimensionamiento suficiente en los elementos de carga para mantener el concepto de “nudo rígido”.
- C) Simetría en los edificios.
- D) Cambio de sección en los edificios en forma gradual, evitando modificaciones bruscas en la geometría general.
- E) Propuesta de estructuras rígidas en suelos blandos y estructuras flexibles para suelos duros.

- F) Sistemas de cimentación y apoyo congruentes con la naturaleza de los suelos.
- G) Posibilidad de inspección a la estructura en sus aspectos físicos y mecánicos, después de cada sismo.
- H) Precauciones estructurales adicionales cuando la ubicación del edificio en el medio urbano, aumente su riesgo.

### **8.1 ESTRUCTURAS RÍGIDAS VS. ESTRUCTURAS FLEXIBLES**

Las estructuras flexibles en suelos blandos, resultaron una combinación altamente peligrosa. Cuando a esta combinación se sumó el cambio de uso y destino de los edificios con altos incrementos de cargas vivas, se presentaron con alta frecuencia colapsos totales.

El tiempo tan largo del terremoto de 1985, fue modificando gradualmente el período normal de vibración de las estructuras entre 8 y 15 niveles, hasta provocar la sincronía con el período del sismo que fue de 2 segundos.

La observación de las estructuras falladas permite asegurar que en algunos casos, la estructura fue dañada por sismos anteriores sin que la estructura se haya reparado. La repetición alternada de sollicitaciones a esfuerzos máximos de la estructura, provocó fallas progresivas en el comportamiento estructural.

La reparación actual de las estructuras dañadas, tienen por objeto fundamental, aumentar las secciones, incrementando los momentos resistentes y reducir la flexibilidad de las estructuras, Este aspecto se cuida solamente en las columnas.

En otros casos, las reparaciones tienen como objeto principal reducir la altura original del edificio.

Las estructuras flexibles de alta relación de esbeltez, se comportaron satisfactoriamente, por estar alejados los periodos naturales de vibración del correspondiente al de los sismos.

Las estructuras flexibles construidas en zonas de baja, compresibilidad se comportaron satisfactoriamente, aún cuando las normas de diseño estructural, permiten la aplicación de coeficientes sísmicos menores, resultando estructuras comparativamente más ligeras a las estructuras construidas en zonas de alta compresibilidad.

Este tipo de estructuras fueron las menos dañadas durante los sismos en las zonas de alta compresibilidad y la conclusión de diferentes estudios, ha sido la de recomendar este tipo de estructuras en el diseño de edificios ubicados en suelos blandos. Es evidente que el comportamiento de la estructura rígida, lleve a cabo una transformación de esfuerzos a la cimentación y a los sistemas de soporte, que deben estar convenientemente diseñados, sobre todo para prevenir incrementos alternos de esfuerzos positivos negativos.

En suelos de baja compresibilidad y en lomeríos, las estructuras rígidas pueden presentar fallas locales de importancia, por lo que en este último caso, resultan recomendables las estructuras flexibles.

#### **Recomendaciones:**

Para suelos blandos el diseño arquitectónico de los edificios deberá favorecer las estructuras rígidas por medio de muros estructurales y elementos que disminuyan

la posibilidad de deformación de la estructura. Esta solución deberá ser adecuada con el tipo de cimentación propuesta, para evitar que la transmisión de carga provoque una falla del subsuelo o de los sistemas de apoyo.

Para suelos duros, de baja compresibilidad y terreno en zonas de lomeríos, resultan más recomendables las estructuras de tipo flexibles, con elementos de relleno tipo muros, que puedan actuar como “fusibles”, para disipar la energía durante el sismo, evitando así daños importantes en el edificio.



RAFAEL SAMANO IBAÑEZ.(52 935 637)

Ciudad Universitaria Octubre 2009



## BIBLIOGRAFÍA

- BUILDING CODE REQUIREMENTS .....ACI PUBLIC. 1973  
ACI 318-73
- MANUAL DE LA CONSTRUCCION PREFABRICADA, TOMOS I, II Y III ..... EDITORIAL BLUME 1973  
Tihamér Koncz
- SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN NORMALIZADA .....UNIV. VENEZUELA SELAV. 1973  
Francisco Pulido, Baudilio González
- NOTAS AL CURSO DE ESTRUCTURAS..... ENA. UNAM 1974  
Rafael Sámano I.
- LE BETON ARMÉ APRES FISSURATION SERVICE, ULTIME LIMITE ET RUPTURE..... EDIT. EYROLLES PARIS, 1980  
A. Fuentes
- CONFIGURACIÓN Y DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS ..... EDITORIAL LIMUSA 1987  
Christopher Arnold, Robert Reitherman
- MANUAL DE ANALISIS SISMICO DE EDIFICIOS .....D.D.F. HABITAT PHUD 1988  
Secretaría de Obras
- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL D.F. Ilustrado y comentado..... EDITORIAL TRILLAS 1991  
Luis Arnal Simón, Max Betancourt Suárez
- ENCICLOPEDIA DE LA CONSTRUCCIÓN TOMOS I AL IV ..... EDITORIAL QUILLET  
Comp: Pierre Robin y diversos Artistas
- QUAKE, THE NEXT BIG ONE .....APRIL 2006  
National Geographic
- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL D.F. 10ª EDICIÓN..... EDITORIAL SISTA 2009

