

CIUDAD EN MOVIMIENTO,  
CIUDAD DE MÉXICO 20 AÑOS DESPUÉS



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



# CIUDAD EN MOVIMIENTO, CIUDAD DE MÉXICO 20 AÑOS DESPUÉS

Documento Final de Servicio Social

Que para obtener el título de

A R Q U I T E C T A  
presenta

Carolina Elena Balboa Blanco

2006

Taller\_Max\_Cetto

Sinodales:  
Arq. José Ávila Méndez  
Arq. Virginia Cristina Barrios Fernández  
Arq. Olivia Huber Rosas



## Gracias

lo logré por fin...

A mi mamá que ha sido y es, la energía, la voz positiva y alegre que me impulsa a continuar y a lograr todo lo que me propongo. Gracias por apoyarme y estar tan cerca de mí siempre.

A mi papá que me quiere mas de lo que puede expresar. Te dedico todos estos años de estudio, en los que estuviste tan pendiente. Gracias por enseñarme a ser responsable y tenaz. Te quiero

Luis no tengo palabras para expresar cuanto te quiero y lo agradecida que estoy de que hayas sido tú el niño, joven y adulto con el que crecí y aprendí tanto. Acuérdate que eres mi persona favorita.

Abue, gracias por imprimir esa alegría y amor en cada momento que pasamos juntos. Por siempre estar presente.

Roberto, eres mas de lo que puedo agradecer. Gracias por enseñarme lo que es querer más allá de lo evidente. Reencontrarte fué el mejor hallazgo de todos los tiempos. Por quererme tal cual soy e incluirme por completo en tu vida. Otra vez gracias por compartir, por estar y mostrarme lo que es el amor a vivir.

Loreto, sin tí no sabría lo que es tener una hermana, a la que siempre admiré y admiraré.

A la UNAM, por la maravilla que es. La Facultad de Arquitectura y al Cetto por formarme y mandarme a descubrir millones de cosas. Gracias

A mis amigas/os del Cetto, Vivi, Ju, Cons, Dolo, Pavo, Klein, Dalo; que saben lo que es llegar hasta aquí. Sin ustedes esto no hubiera sido lo divertido e increíble que fué...por los

proyectos, las clases, las desveladas, la bardita y las cenas. Los quiero.

A mis familias, la Blanco por siempre estar presente y formar parte de mis mejores recuerdos de la vida. A la Balboa, difícil de conocer, pero increíble de pertenecer.

A mi Paris y todo lo que incluye. Mahaut, Gaby, Chantal, Pierre, Pao, Seb, Gustavo, Justine, Anto, Rue Madame, los talleres...

A Toño por ser el mejor jefe del mundo, gracias por ser mi maestro y amigo.

A todos mis amigos, sin ustedes definitivamente no sería lo que soy.  
Poli te extraño, Beto gracias.

Los que estuvieron en este largo proceso, Olivia, Arq. Virginia, Arq. Avila, Carmen, Dino...GRACIAS por apoyarme.

# Índice

## Gracias

## I Introducción

- 1 "CIUDAD EN MOVIMIENTO, CIUDAD DE MÉXICO 20 AÑOS DESPUÉS"

## II Antecedentes

- 5 CARACTERÍSTICAS DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985
- 11 Magnitud/Intensidad
- 16 Panorama Urbano de la Ciudad de México antes del sismo de 1985
- 19 Recuentos

## III Vivienda

- 29 Efectos del sismo en la habitación
- 32 Funcionamiento de los Multifamiliares
- 37 Diferencias entre los Multifamiliares

## IV Construcción

- 41 Problemas técnicos
- 41 Edificación
- 42 Relación entre proyecto y obra
- 42 Recursos disponibles
- 43 Concepción y Construcción
- 44 Comportamiento de los edificios durante el sismo
- 44 Características dinámicas
- 46 Criterios de diseño sísmico
- 47 Recomendaciones sobre estructuración
- 52 Tipos de estructuras existentes en 1985
- 57 Formas estructurales
- 57 Materiales estructurales



Foto del sismo de septiembre de 1985. ICA



Foto del sismo de septiembre de 1985. ICA

- 60 Sistemas estructurales
- 61 Clasificación de los sistemas estructurales
- 67 Esfuerzos y deformaciones
- 69 Evolución del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en aspectos de diseño sísmico
  - 69 Reglamento de 1942
  - 70 Normas de emergencia de 1957
  - 71 Reglamento de 1966
  - 73 Reglamento de 1976
  - 74 Normas de emergencia de 1985
  - 75 Reglamento de 1987
  - 77 Reglamento de 2004
- 82 Soluciones
- 84 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Suplementarias

## V Método de Trabajo

- 91 Objetivos
- 91 Metas
- 92 Investigación
- 94 Actividades

## VI Conclusiones

- 105 La Exposición "Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después"
- 107 Conclusiones

## VII Bibliografía

- 113 Bibliografía

# INTRODUCCIÓN

I

## **“Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después”**

Este proyecto consistió en la realización de una exposición y mesas redondas con motivo de la conmemoración de los 20 años transcurridos desde los sismos de septiembre de 1985. El propósito es el recordar, y crear conciencia sobre la forma de edificar en la zona lacustre en la ciudad y las consecuencias de las distintas fallas que son responsabilidad de autoridades y profesionales de la construcción; y mostrar de manera gráfica lo ocurrido en los edificios más significativos que sufrieron daños y en algunos casos incluso desaparecieron, convirtiéndose en escombros en la Ciudad de México.

Las zonas con mayores daños que mas nos interesó analizar fueron, los edificios Nuevo León en la Unidad Nonoalco-Tlatelolco, el CONALEP en la Avenida Juárez y Huboldt, y el Centro Urbano Presidente Juárez, en la colonia Roma. Abarcando así, uno de los sectores más afectados dentro de la vivienda en la Ciudad de México en los sismos de 1985, la de los multifamiliares.

**ANTECEDENTES**

**II**



## Características del sismo del 19 de septiembre de 1985

El sismo del 19 de septiembre de 1985 ha sido uno de los más destructivos en la historia de la Ciudad de México debido a su gran intensidad, a su duración y a que en una buena parte de la zona de terreno blando las ondas adquirieron un carácter prácticamente armónico con un periodo dominante de dos segundos, que hicieron entrar en resonancia a muchos edificios cuyo periodo era cercano a ese valor, dañándolos seriamente.

Los principales sismos en México son causados por la subducción<sup>1</sup> de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Americana, frente a las costas de los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, donde el desplazamiento genera una gran falla geológica, que es la fuente de los más grandes y frecuentes sismos de México, franja localizada entre Colima y

Petatlán (fig. 1).

La expresión fisiográfica de la falla de subducción, es la fosa o trinchera que corre a lo largo de la costa de México y que alcanza, localmente, profundidades de hasta 5000 m.

El sismo de 1985 se originó en lo que se conocía como la brecha de Michoacán, localizada a 17.4° latitud norte y 102° longitud oeste. Una brecha o vacancia sísmica es un segmento de una falla activa que durante un largo lapso, no ha sido objeto de un deslizamiento, y por ende, cuna de un gran sismo. La ausencia de grandes sismos en dicho segmento, durante mucho tiempo, indica que debe existir esa acumulación importante de energía elástica, que crece día a día y tendrá que liberarse irremisiblemente.

<sup>1</sup> Al llegar a los límites continentales, la corteza oceánica sufre un proceso conocido como "subducción", en el cual se desplaza por debajo de la corteza continental, simplemente por ser más densa que ésta última. Actualmente se conoce que la acumulación de sedimentos en los fondos oceánicos y el aumento de la densidad, producto de la contracción térmica al enfriarse la corteza (Hamblin, 1995), provocan un aumento del peso de la corteza en esas zonas, provocando el hundimiento de la corteza y facilitando el proceso de subducción. Fuente: [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)

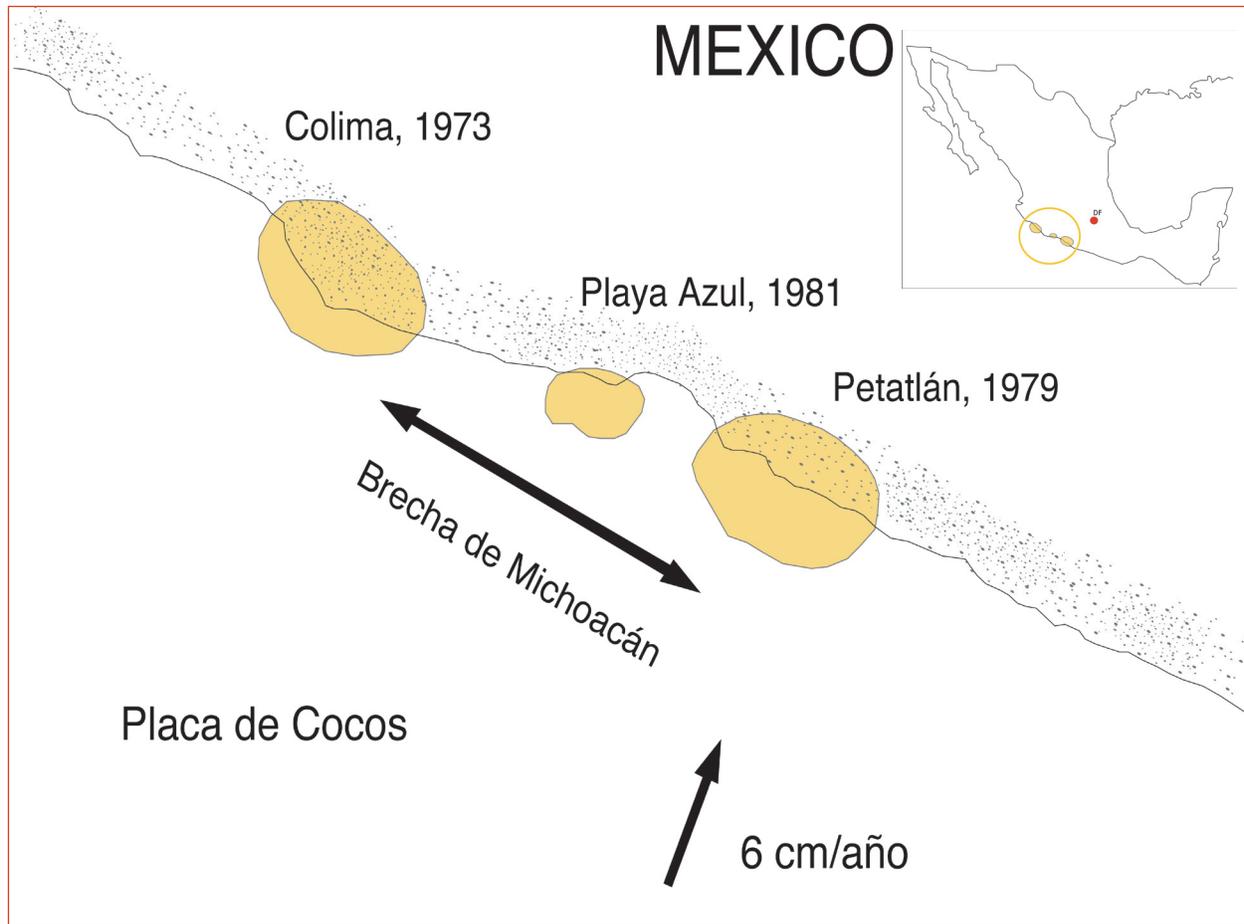


Fig.1 Hasta el 19 de septiembre de 1985 no habían ocurrido sismos en la costa de Michoacán suficientemente grandes para liberar la energía sísmica acumulada desde 1911, fecha en la que ocurrió el último gran temblor de la zona, esta brecha o vacancia sísmica quedaba claramente delineada por las áreas de falla que produjeron los sismos de Colima, Col. En 1973 y de Petatlán, Gro. en 1979.

Fuente: [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)

Cabe decir que los segmentos de la falla que se deslizan para producir un sismo importante, son cartografiados indirectamente, por medio de la localización de las réplicas. Las réplicas, por definición, son sismos de magnitud menor que el sismo al cual prosiguen, y que ocurren sobre el segmento de la falla geológica recién deslizada; las réplicas de un sismo de gran magnitud son más grandes y duran más tiempo que las de un sismo más pequeño.

Después de un gran sismo como los de Colima, Petatlán y Michoacán, se procede a instalar de inmediato, una red de sismógrafos portátiles, de fácil manejo, en la zona que se sospecha, cubre la falla que produjo el evento. Esta red de instrumentos portátiles permite estimar la localización (epicentro) y la profundidad de las réplicas, con mucho mayor precisión de lo que podría hacerse con los sismógrafos instalados permanentemente, que generalmente son insuficientes en número y demasiado distantes.

La ruptura del sismo de Michoacán se inició cerca del poblado de Caleta de Campo, al noroeste de Lázaro Cárdenas, Michoacán. La distribución de las réplicas

muestra claramente, que el sismo se produjo por el deslizamiento del segmento de la falla que estaba bordeada por los sismos de Colima y Petatlán. El sismo del 20 de septiembre tuvo lugar en el extremo sur del sismo del día anterior; por lo que se cree, que la energía elástica acumulada en la falla, no se liberó totalmente el 19 de septiembre y un segmento de la falla aún no relajada, produjo el segundo terremoto al día siguiente.

En el caso de Michoacán, el área de la falla que se desliza produciendo el sismo tiene una longitud del orden de 200 km. y de un ancho de aproximadamente 80 km. La profundidad focal ha sido estimada en 16 km. Se considera que el desplazamiento promedio entre las placas fue de 1.40 m. Esto da una idea más clara de las enormes dimensiones de las fallas que producen sismos de esta magnitud.

La magnitud del sismo de Michoacán fue de 8.1, y representa uno de los terremotos más grandes que haya sufrido México en las últimas décadas. Al revisar la historia de sismos importantes en nuestro país, vemos que hay muchos otros eventos que han causado daños importantes a la ciudad de México.

Muchos de estos eventos parecen ser de magnitud igual o mayor que la del sismo del 19 de septiembre; no podemos, por lo tanto, considerar que el sismo de Michoacán fue algo insólito o poco común en el ambiente tectónico del sur de México.

El sismo de Michoacán del 19 de septiembre fue sentido prácticamente en todo el centro y sur del país, en los estados de Colima, Jalisco, Guerrero, Michoacán, México, Puebla, Veracruz y Oaxaca, además del corazón del Distrito Federal. Después del terremoto de septiembre de 1985, es lógico pensar que la mayor parte de la energía acumulada, en esa zona, ha sido ya liberada. Por lo tanto, no se considera que la costa de Michoacán, represente una zona de alto potencial sísmico en un futuro próximo. Hay otras dos regiones en el país, sin embargo, que tienen actualmente características similares a las que tenía la costa de Michoacán antes del 19 de septiembre y están en Guerrero y Chiapas.

El movimiento de placas tectónicas que los origina, ha existido durante millones de años y seguramente continuará en el futuro.

Por lo tanto, el desarrollo científico está aún muy lejos de poder hacer predicciones con un alto grado de confiabilidad.

### Características del subsuelo

En la Ciudad de México se obtuvieron aceleraciones inusitadas, ya que se rebasaron las mediciones máximas previas hasta cinco o seis veces. Las aceleraciones registradas en distintas zonas de la ciudad fueron muy diferentes, debido precisamente al tipo de terreno de cada lugar, lo que explica el que las intensidades con que se sintió el movimiento hayan variado tanto. Se observaron amplificaciones en la zona lacustre del orden de 4 veces, con respecto a las aceleraciones medidas en terrenos firmes.

Los sismos son calificados por las personas como "trepidatarios" u "oscilatorios", según que perciban más la vibración en sentido vertical u horizontal. En este caso la componente vertical en la ciudad, tanto en terreno blanco como firme, fue menor que la horizontal, pero cerca del epicentro llegó a ser comparable.

Es importante aclarar que las componentes que causan mayores efectos en las construcciones son las horizontales, pues tienden a voltearlas, mientras que la vertical sólo incrementa en un porcentaje relativamente las cargas verticales, por lo que únicamente causa en ocasiones problemas en grandes voladizos o en cubiertas de claros importantes.

### Zonificación

Al paso de los años los lagos se fueron desecando y rellenando, hasta llegar a las condiciones actuales. De acuerdo a las características geotécnicas el valle de México se ha dividido en tres zonas principales: la zona firme o de lomeríos, la de transición y la de terreno blando o lacustre.

- 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; 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 delomas 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 la formación rocosa aparece cubierta por depósitos de origen aluvial, a su vez adyacentes a las capas más recientes de arcilla lacustre.

2) Interstratificada, característica de regiones en que las fases aluvial y lacustre 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.

3) Abrupta, que se distingue porque los depósitos lacustres están en contacto con la formación rocosa con interfase de suelo residual.

- Zona de lago

Está formada por sedimentos de arenas y arcillas 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: La capa inferior se desarrolla a partir de los primeros depósitos aluviales e incluye el estrato de arcilla inferior y una capa de material desecado y/o compacto, en su parte más superficial; sobre dichos depósitos se encuentra una formación constituida por arcilla lacustre de alta compresibilidad y baja resistencia al corte, y finalmente las formaciones más recientes y en consecuencia más superficiales se encuentra

formada por los siguientes estratos: Manto superficial, formación arcillosa superior, capa dura, formación arcillosa inferior y depósitos profundos.

Dentro de la zona lacustre, la presencia de los niveles freáticos, se encuentran a profundidades variables entre 1.50m. y 2m.; para la zona de transición la presencia de niveles freáticos es muy irregular debido a la estratigrafía tan errática, se encuentran principalmente en estratos impermeables conocidos como "mantos colgados". Para la zona de lomas, este nivel se encuentra muy profundo y en algunas zonas no existe.

## Magnitud/intensidad

Los daños sufridos en la capital a raíz de los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, muestran que durante su incontrolable, crecimiento, la ciudad se ha hecho más vulnerable a los fenómenos sísmicos, debido al número y tipo de edificaciones construidas en los últimos treinta años.

Para fines de comparación, los sismos pueden medirse de diversas maneras; se han inventado aparatos para registrar los movimientos del suelo cuando tiembla (sismógrafos, acelerógrafos y sismoscopios) y se han propuesto escalas de intensidad para comparar sus efectos destructivos o escalas de magnitud para estimar su tamaño. A continuación se describen también las distintas escalas que se utilizan para comparar un sismo con otro.

En términos estadísticos se ha estudiado que el número de temblores por años se reduce a medida que se consideran magnitudes más grandes.

A diferencia de la magnitud, que es un valor único para cada temblor, la intensidad que

es una medida de los efectos destructivos, tiene diferentes valores en los distintos lugares donde se siente el movimiento. En todas ellas se clasifica a los temblores en términos de sus efectos y de las apreciaciones de la gente, lo que hace que, en general, las escalas de intensidad sean fuertemente subjetivas; sin embargo, permiten establecer ciertas comparaciones entre lo ocurrido en distintos lugares con un mismo temblor o entre distintos movimientos sísmicos.

La escala de intensidad más empleada en América es la de Mercalli, modificada posteriormente con 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 grado XII que corresponde a destrucción total.

## Tabla de especificación de magnitudes y efectos de acuerdo a la Escala Richter

| Magnitud en Escala Richter | Efectos del terremoto                                    |
|----------------------------|--|
| Menos de 3.5               | Generalmente no se siente, pero es registrado            |
| 3.5 - 5.4                  | A menudo se siente, pero sólo causa daños menores        |
| 5.5 - 6.0                  | Ocasiona daños ligeros a edificios                       |
| 6.1 - 6.9                  | Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas      |
| 7.0 - 7.9                  | Terremoto mayor. Causa graves daños                      |
| 8 o mayor                  | Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas |

Fuente: [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)

## ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA

| Valor de intensidad | Descripción   |
|---------------------|---|
| I                   | No  |
| II                  | Sentido por personas en posición de descanso, en pisos altos.   |
| III                 | Sentido en el interior. Los objetos suspendidos oscilan. Se perciben vibraciones como si pasara un camión ligero. La duración es apreciable. Puede no ser reconocido como un terremoto.   |
| IV                  | Los objetos suspendidos oscilan. Hay vibraciones como al paso de un camión pesado o sensaciones de sacudida como un balón pesado golpeando las paredes. Poco perceptible fuera de construcciones. Dentro de estas, se observa ligero movimiento de lámparas, vajillas y muebles. En este rango (IV), los tabiques y armazones de madera crujen.   |
| V                   | Fuera de construcciones es percibido con claridad; ramas y hierbas se mecen por un viento inexistente. Oscilan en forma peligrosa lámparas, vajillas, muebles y hasta se caen; se baten puertas y ventanas. Se rompen vidrios. Casi todas las personas dormidas se despiertan. Los péndulos de los relojes se paran, comienzan a andar, cambian de período.                                 |
| VI                  | Sentido por todos. La gente anda inestablemente. Ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etcétera, caen de las estaterías. Los cuadros también se caen. Los muebles se mueven o vuelcan. Los revestimientos débiles de las construcciones de tipo D se agrietan. Las campanas pequeñas suenan (iglesias, colegios). Árboles y arbustos son sacudidos visiblemente. |

## ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA

| Valor de intensidad | Descripción  |
|---------------------|--|
| VII                 | Es difícil mantenerse de pie. Edificios tipo D, aparecen grietas. Las chimeneas débiles se rompen al ras del tejado. Caída de cielos rasos, ladrillos, piedras, tejas, cornisas, también antepechos no asegurados y ornamentos de arquitectura. Algunas grietas en edificios tipo C. Olas en estanque, agua enturbada con barro. Pequeños corrimientos y hundimientos en arena o montones de grava. Las campanas graves suenan. Canceles de cemento para regadío, dañados.   |
| VIII                | Conducción de los coches, afectada. Daños en edificios de tipo C; colapso parcial. Algún daño a construcciones de tipo B; nada en edificios de tipo A. Caída de estuco y algunas paredes de mampostería. Giro o caída de chimeneas de fábricas, torres, depósitos elevados. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos, si no están bien sujetos. Trozos de pared sueltos, arrancados. Ramas de árboles rotas. Cambios en el caudal o la temperatura de fuentes y pozos. Grietas en el suelo húmedo y pendientes fuertes. |
| IX                  | Construcciones del tipo D destruidas; edificios del tipo B con daños importantes. Daño general de cimientos. Armazones arruinados. Daños serios en ensamblados. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvión, eyección de arena y barro; aparecen fuentes y cráteres de arena.  |
| X                   | La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón, destruidas con sus cimientos. Algunos edificios bien contruidos en madera y puentes, destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Grandes corrimientos de tierra. El agua rebasa las orillas de canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Carriles torcidos.  |
| XI                  | Todos los edificios de mampostería y casi todos los de madera son destruidos; los rieles de ferrocarril se curvan. Hay desplazamientos de tierras; grietas y hendiduras.   |
| XII                 | Daños prácticamente totales. Grandes masas de rocas desplazadas. Visuales y líneas de nivel, deformados. Objetos proyectados al aire.  |

## ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA

|        | Tipos de Construcción  |
|--------|--|
| Tipo A | Estructuras de acero y hormigón armado, bien diseñados, calculadas para resistir fuerzas laterales. Buena construcción, materiales de primera calidad.                         |
| Tipo B | Estructuras de hormigón armado, no diseñadas en detalle para resistir fuerzas laterales. Buena construcción y materiales.  |
| Tipo C | Estructuras no tan débiles como para fallar la unión de las esquinas, pero no reforzados ni diseñadas para resistir fuerzas laterales. Construcciones y materiales corrientes. |
| Tipo D | Construcciones de materiales pobres, tales como adobe; baja calidad de construcción. No resistente a fuerzas horizontales.   |

Fuente: Terremotos, Escalas Richter Y Mercalli. [www.angelfire.com](http://www.angelfire.com) y [www.onemi.cl](http://www.onemi.cl)

## **Panorama urbano de la Ciudad de México antes del sismo de 1985**

Se consultaron varios ensayos en una misma fuente: *Modernidad y Arquitectura en México*, BURIAN.

Durante los treinta años que siguen a la toma del poder del presidente Álvaro Obregón, (1920-1924), la demanda de nuevos edificios, en contraste con los años de la revolución armada (1910-1920) fue moderada.

Una vez concluida esta lucha, se presenta un período de reactivación económica, generando una diversidad arquitectónica, que producía una gran variedad de modos compositivos, que con frecuencia eran antagónicos y eran realizados por arquitectos, que al mismo tiempo construían en varios lenguajes arquitectónicos.

Estos lenguajes incluían: el neocolonial, el neoprehispánico y el moderno internacional, utilizados para transmitir diferentes imágenes e ideologías que cada gobierno en el poder

pretendía proyectar.

Lo que propició esta diversidad no resulta tan claro, pero tal vez pueda atribuirse a la necesidad de presentar una imagen del país culturalmente unificada, y de una sociedad encaminada hacia la modernidad. La arquitectura fue uno de los muchos dispositivos al alcance del gobierno para transmitir ideas, generando una búsqueda de esquemas que representaran la identidad nacional e imágenes que representaran a México, como parte de la vanguardia internacional.

La producción de este período se dividió entre el ámbito público (los edificios construidos con apoyo del gobierno), y el

privado (arquitectura doméstica y de la iniciativa privada). La primera, una arquitectura cercana a la ideología del poder en turno, y la otra creando un contraste al mostrar un desarrollo más autónomo, sujeto a los dictados de la moda y del gusto. Esto generó una situación, que en su mayoría consistía en asignar proyectos para alcanzar objetivos ideológicos, más que en dictar una serie de lineamientos compositivos. Se creó un grupo de arquitectos dispuestos a satisfacer los deseos del gobierno y otros tantos preocupados por mejorar las condiciones en que vivían las clases trabajadoras.

La diversidad que presentó la arquitectura de México entre los años veinte y los cincuenta fue en parte el resultado de factores externos que afectaron la producción arquitectónica, tales como la nueva tecnología, los objetivos sociales y la ideología del poder.

A pesar del gran número de proyectos bien intencionados, que abordaron el problema de la vivienda en México, como son las obras en multifamiliares de Mario

Pani, el impacto de esos esfuerzos fue realmente mínimo, pues su producción en número fue, relativamente bajo, en un proceso de encarecimiento, lo que creó una barrera adquisitiva, para quienes supuestamente estaban destinadas estas viviendas.

Cuando uno piensa en los grandes proyectos urbanos, como el de Tlatelolco, se podría decir que, el funcionalismo se convirtió en la arquitectura oficial gubernamental para los proyectos públicos, y que forma parte de una idea de desnudarlo todo, hasta el orden mínimo, para poder dar más a todos. Ya que después de la Revolución, la meta principal consistió en dar un trozo de tierra a cada individuo.

Estos proyectos resultantes crearon soluciones apropiadas a los problemas de su tiempo, pero también aportaron expresiones diversas en una amplia gama de niveles, desde la investigación de los materiales y las técnicas constructivas, hasta las cuestiones de forma y significado, en un intento de crear un vocabulario que respondiese a funciones específicas.

La necesidad de recalificar el uso del suelo y aumentar su densidad, para combatir el problema de vivienda que empezaba a generar el desmesurado aumento de la población de la ciudad, hizo que el criterio básico fuera la adopción de un sistema urbano-arquitectónico de edificios altos distribuidos de tal manera que liberasen grandes superficies libres, para jardines y zonas de esparcimiento; además de servicios sociales y escolares, con sus zonas comerciales, se creó, al mismo tiempo unas construcciones donde la iluminación y la orientación eran óptimas.

Grandes proyectos modernos, como los grandes conjuntos residenciales de la Ciudad de México, fueron percibidos como algo moderno y nacional. En muchos de esos proyectos también hubo un intento de crear una arquitectura nacional, mediante la inclusión de murales de contenido mexicano.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## Recuentos

Para ubicar el momento que se vivió en la Ciudad de México, después de ser sacudida por el sismo, se consultaron varios autores y fuentes de la época:

*Aún Tiembla*, de AGUILAR ZINZER, MORALES y PEÑA (Eds.); *EL terremoto*, TORRES DE VERA.

En 1985, la mayor devastación, por la magnitud y características de los daños, tuvo lugar en el DF, en las Delegaciones Cuauhtémoc y Carranza: dos de las áreas más densamente pobladas de la ciudad de México. En las áreas centrales de la ciudad, las ondas sísmicas tuvieron una aceleración cuatro veces mayor que las periféricas. La estructura del subsuelo, en esta parte de la ciudad, está ubicada en la antigua área lacustre, constituido de arcilla blanda de alta compresibilidad.

Unos 75 kilómetros cuadrados en las zonas céntricas, junto con la colonia Roma, resultaron afectados. Algunas colonias

resultaron más afectadas que otras. La principal zona de desastre fue el primer cuadro, en donde se desmoronaron hoteles, edificios de oficinas y escuelas. La naturaleza, absorbente, omnipresente, jugaba crueles ironías. Los grandes hospitales Juárez y General quedaron reducidos a toneladas de escombros. La Clínica de Ginecobstetricia del Centro Médico, orgullo nacional, también se desplomó. La torre de internos, contigua a la clínica, cayó junto con el resto.

El cielo, que había amanecido azul claro, se perdió por un gris que surgió por el polvo, que levantaron las construcciones destruidas, y por el humo de incendios

subsecuentes. Amplias áreas de la ciudad olían a gas. Gran parte del suministro eléctrico en la ciudad se cortó. Las comunicaciones se interrumpieron al quedar, afectada la Torre de Telecomunicaciones debido a un incendio ocasionado por el movimiento. La Central de Teléfonos, en la calle de Victoria con sus sesenta mil líneas, quedó demolida.

La ciudad de México estaba incomunicada con el exterior, y en su corazón, se hallaba completamente herida.

La colonia Roma, la zona de los médicos, de los restaurantes, de las boutiques, semejaba a un área devastada por un bombardeo, al igual que la Juárez. Casi en cada cuadra había una casa, un edificio derrumbado. Los casos eran dramáticos como el Multifamiliar Juárez con la caída de los edificios A y C-4...

## 1985



Secuencia de demolición en el Centro Urbano Presidente Juárez; Septiembre 1985. Foto ICA.

Tlatelolco se convirtió en una tumba colectiva, y el edificio Nuevo León su peor ejemplo. Esa enorme construcción, en la zona más densamente poblada de México, se desplomó en dos de sus tres secciones. Unos doscientos departamentos desaparecieron en segundos del paisaje tlatelolca.

Los edificios parecían masas aplastadas por una mano; sólo en el centro se produjo una verdadera catástrofe, con 1132 edificios con afectaciones mayores, de los cuales 411 se vinieron abajo. Más de siete mil inmuebles resultaron sujetos a inspección por el sismo, medido en 8.1 puntos en la escala Richter, con una duración de dos minutos. Oficialmente, la Comisión Metropolitana de Emergencia, dijo que hubo cuarenta mil heridos, cuatro mil seiscientos muertos y treinta y un mil sin vivienda. Sin embargo, el propio gobierno anunció que se construirían viviendas para

La hora en la que sucedió el terremoto favoreció en la disminución de usuarios y no alcanzó por ello a incluir a miles de niños y jóvenes que comenzaban clases minutos después. Miles más fueron atrapados en el metro rumbo a sus trabajos.

Las secretarías del Trabajo, de Comunicaciones y Transportes, de Comercio, y la Procuraduría del Distrito Federal, quedaron destruidas o inhabilitadas para operar. Varios hoteles desaparecieron. El Regis, con sus trescientas sesenta y siete habitaciones, se derrumbó minutos después del terremoto.

El hotel Principado, el Versailles y el Romano, quedaron reducidos a escombros. El hotel De Carlo, en la Plaza de la Revolución, sufrió la desaparición de su quinto piso al quedar prensado entre el sexto y el cuarto. Televisa sufrió enormes pérdidas. La antena de cincuenta metros de altura y diez toneladas de peso, yacía sobre Balderas.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

Las brigadas de ciudadanos corrían a los derrumbes y se formaban largas hileras cuyas manos pasaban picos, palas, mazos y cubetas con agua. Debido a la falta de previsión, la capacidad de los cuerpos de rescate pronto fue rebasada, por la realidad de los hechos. En el área del Multifamiliar Juárez, el agua se acabó poco después de dos horas de ocurrido el sismo.

En san Antonio Abad comenzaba la tragedia sobre Tlalpan, hacia el centro. En ese barrio de industrias textiles, centenares de costureras quedaron atrapadas entre los escombros y la maquinaria pesada.

A unos cuantos kilómetros hacia el norte, cerca de Tlatelolco, quedó también sepultada, la unidad habitacional de San Camilito.

En la Lagunilla, ochenta por ciento de las habitaciones resultaron afectadas, pero sus habitantes no se iban, porque no tenían a dónde ir. Unas veinticinco mil personas de los barrios de Tepito y las colonias Guerrero y Morelos resultaron afectadas, sin contar los cuatro mil quinientos damnificados en Tlatelolco. No lejos de la enorme torre

de la Secretaría de Relaciones Exteriores, inclinada noventa centímetros y dañada en varias de sus columnas.

Más de mil escuelas resultaron afectadas y alrededor de un sesenta por ciento quedaron destruidas. En Humboldt y Juárez se derrumbaron una guardería de la Conasupo y el edificio del CONALEP, donde había más de mil jóvenes en clase. Más de setenta muchachos estaban en cada una de las aulas cuando el edificio se vino abajo.

A las 19:38 del 20 de septiembre, se produjo el segundo sismo (réplica), de 7.6 grados en la escala de Richter, el cual no sólo provocó pánico, sino graves daños, porque muchos edificios que habían resultado dañados el día anterior terminaron por caerse, también se vinieron abajo otros cuyas estructuras estaban dañadas aunque no se podían apreciar a simple vista. Por lo que la zona de desastre creció al sur, ya que se afectaron construcciones en las colonias Narvarte, Del Valle y Coyoacán. Al norte, se podría delimitar la zona, en la Unidad Tlatilco y Monumento a la Raza, aunque más al norte cayó la tienda El Sardinero de Insurgentes, y sufrieron daños, algunas construcciones, en la colonia Lindavista.

Al oriente, se delimitó en San Juan de Aragón y la avenida Hangares; al sur, el Eje ó sura la altura de la colonia Reforma Iztaccíhuatl. Quedó comprendida entre las Delegaciones de Cuauhtémoc, Benito Juárez, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero.

Todas las instituciones, en un país cimentado desde hacía cincuenta años en ellas, fueron incapaces de reaccionar antes de treinta y seis horas. Los partidos políticos, la iglesia, el ejército, los sindicatos, el gobierno. Esto llevó a universitarios, médicos, sindicalistas, trabajadores, amas de casa, niños a participar de alguna manera en las tareas de rescate. Se organizaron albergues y centros de recopilación y abastecimiento de víveres, medicinas y ropa.

Y después de los primeros días de rescate, comenzaron a surgir los problemas políticos. La vivienda, el empleo, las clases, el futuro de miles de capitalinos comenzó a materializarse en manifestaciones hacia el Palacio Nacional y hacia los Pinos.

La indignación popular se manifestó en las zonas afectadas con pancartas, en donde

censuraban, principalmente, a la procuradora, al secretario de Ecología y Desarrollo Urbano y al regente.

A raíz del sismo y antes de que empezaran a retirarse los escombros, se consideró importante la determinación del número de estructuras que habían sufrido daños graves, clasificándolos en: 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, y finalmente se consideraron aquellos casos en que las estructuras, aunque no mostraban colapsos, sí tenían daños graves en elementos estructurales de los que depende la estabilidad, como columnas, muros, travesaños o losas, por lo que se consideraron inseguras y se recomendó su evacuación hasta decidir si era necesario demolerlas completamente o podían recuperarse mediante una reestructuración adecuada.

Poco a poco comenzaron las demoliciones en diversos rumbos de la ciudad. Se comenzó por los edificios del multifamiliar

Juárez, los primeros en ser derribados en la historia del México moderno con explosivos. Un sismo que si no fue el de mayor intensidad, si fue el que mayores daños y pérdidas ha dejado.

No se ha podido explicar por qué este sismo devastó la ciudad como no lo hicieron movimientos telúricos de mayor intensidad. Pudo ser su duración o quizá, el cambio brusco en su trayectoria. Pero no puede pasar desapercibido que la mayoría de los edificios que se desplomaron, fueron

construidos después del 27 de julio de 1957 cuando se registró el anterior temblor devastador de la ciudad de México.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

VIVIENDA

III



## Efectos del sismo en la vivienda El Nuevo León en Tlatelolco

Se consultaron varios autores y fuentes de la época:

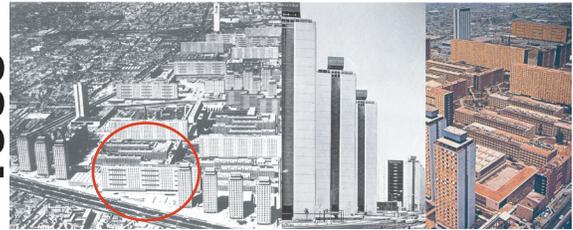
Terremoto de septiembre, Ed. Fondo de Cultura Económica; Una ciudad destruida, ROCHAS ISLAS, TOSTADO GUTIÉRRES, TUÑÓN PABLOS.

El Nuevo León era una inmensa construcción de concreto ubicada en Paseo de la Reforma Norte 768, entre Manuel González y Flores Magón.

Cuando el terremoto alcanzó su mayor intensidad, acaso 90 segundos después de iniciado, el Nuevo León se recargaba hacia el oriente y de pronto pareció desmoronarse, como si su estructura no fuera de acero y concreto, sino de simple arena.

Se vinieron abajo dos de tres bloques de departamentos, con un total de 200 viviendas desplomadas. La tercera sección, con 100 departamentos, milagrosamente

1966



Unidad Habitacional Nonoalco\_Tlatelolco, 1966.

quedó en pie, pero dañada para la habitación.

El mismo 19 de septiembre fueron evacuados los edificios Tamaulipas, Chihuahua, 15 de Septiembre, 2 de Abril, Querétaro, Guanajuato, Veracruz, Oaxaca, Zacatecas, Guelatao, General Anaya, Aguascalientes, Pípila, Sitio de Churubusco, Molino del Rey, Miguel Hidalgo, Allende, 1, 10 y 11 del ISSSTE, edificios dentro de la misma unidad habitacional.

El 12 de octubre de 1985, después de una manifestación que reunió a unos tres mil vecinos de la Unidad Habitacional Adolfo López Mateos, mejor conocida como Nonoalco-Tlatelolco, el presidente de la Madrid recibió a una comisión de representantes a quienes prometió, que ordenaría una investigación exhaustiva para deslindar responsabilidades en torno al derrumbe del Nuevo León, y que de haber culpables, éstos serían castigados.

La pregunta que surge es ¿qué diferencia existía entre el edificio Nuevo León y otros como el CONALEP, el Hospital Juárez...?. La diferencia consistía en que los residentes del edificio Nuevo León, habían avisado a las autoridades con cinco años de anticipación que el inmueble, debido a la falta de mantenimiento adecuado, podía caerse con el más ligero sismo. Además de colgar una manta en el sexto piso del edificio, se fueron dos veces a juicio en la Procuraduría Federal del Consumidor, los cuales ganaron. Este organismo ordenó, de acuerdo con las atribuciones que le corresponden dentro de la estructura orgánica gubernamental, que los dueños del inmueble, en este caso el Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO), debería hacer las

reparaciones que fueran necesarias para que el Nuevo León quedara habitable y seguro.

Era sabido que desde tiempo atrás el Nuevo León, como otros, presentaba serios problemas de cimentación. Para corregirlos habían desalojado a los residentes del módulo norte hacía dos años, por una peligrosa inclinación que éste presentaba y de un hundimiento que llegó a alcanzar el metro y medio. Se hicieron trabajos de recimentación y colocación de pilotes de control, a los cuáles nunca se les dio mantenimiento.

Ya desde 1979 la empresa SOLUM, dependiente de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), hizo un estudio de mecánica de suelos en el edificio Nuevo León, porque éste presentaba una peligrosa inclinación en su ala norte. Se hicieron obras, se recimentó, pero los trabajos fueron hechos con tal lentitud que las fosas laterales, abiertas durante mucho tiempo, reblandecieron el subsuelo e hicieron que en 1981, el edificio presentara hacia el lado oeste una peligrosa inclinación que alcanzó un metro dieciséis centímetros.

En 1983 FONHAPO contrató a PICOSA, para que por medio de los pilotes de control,

hiciera recobrar al edificio su verticalidad perdida. Esta vez los trabajos se hicieron con demasiada prontitud, lo que ocasionó fracturas en diversas partes del inmueble. La unidad de cimentación no quedó sellada y los sótanos se inundaron, por lo que PICOSA pidió sellar las celdas de cimentación, que contaban con más de dos metros de agua debido a la filtración de los mantos freáticos, para poder proceder a revisar dos de los pilotes de control que aparentemente presentaban problemas. Ya que el sistema de pilotes de control permite mantener un edificio nivelado, pero si éstos no reciben el mantenimiento adecuado, puede resultar un sistema peligroso.

Cuando el edificio se derrumbó con el temblor, apenas se estaba trabajando para desalojar esa agua que algunas veces llegó a

alcanzar los dos metros de altura. Esto impedía que se sacara la basura de los edificios ya que el final de los ductos quedaba en los sótanos, por debajo del agua estancada.

A los sobrevivientes del NL, la Sedue les aseguró que del importe del seguro del edificio, se pagaría un millón de pesos por cada persona fallecida y entre 1.2 y 2.7 millones de pesos por departamento, además 600 000 pesos por menaje de casa. Finalmente, el gobierno pagó un poco menos del valor comercial de los departamentos, que era de entre tres y cinco millones, que fue lo que se pidió desde el principio.

La negligencia de FONHAPO costó cuatrocientas setenta y dos vidas, más ciento cincuenta y seis desaparecidos.



Edificio Nuevo León en la Unidad Habitacional Nonoalco\_Tlatelolco, 1985.

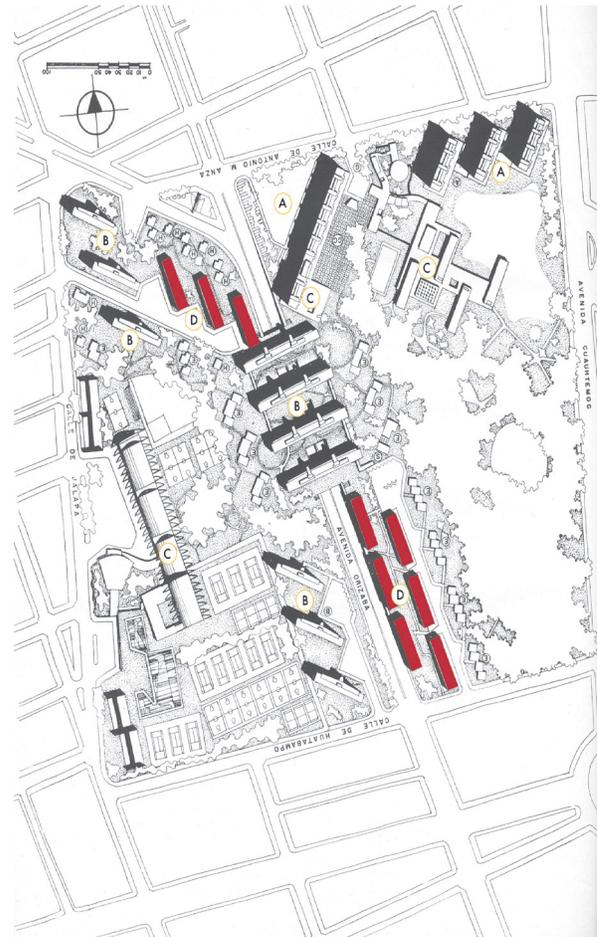
## Funcionamiento de los Multifamiliares Centro Urbano "Presidente Juárez" (1950 - 1952)

Se consultaron varios autores y fuentes:

Los Multifamiliares de Pensiones, PANI; Mario Pani, NOELLE

El Centro Urbano Presidente Juárez, construido en la ciudad de México, en la supermanzana de algo más de 250,000 m<sup>2</sup> de superficie que limitan la Avenida Cuauhtémoc y las calles de Antonio M. Anza, Jalapa y Huatabampo, comprende 19 edificios con un total de 984 departamentos de varios tipos; una guardería infantil y jardín de niños; un departamento administrativo con dispensario médico, y locales para comercios. De los 19 edificios construidos, el tipo "A", localizado al oriente de la Avenida Orizaba, fue el más importante.

Los edificios tipo "B" eran cinco, de 10 pisos, con 72 departamentos cada uno; estaban localizados, dos en la esquina Norponiente y tres al Poniente del túnel,



Planta de Conjunto Centro Urbano Presidente Juárez.  
En rojo edificios "D" existentes.

**1952**

cerca de la calle de Huatabampo.

Los edificios tipo "C" eran cuatro; se hallan localizados sobre el viaducto, a manera de puentes, y constan de siete pisos con 36 departamentos cada uno. Están contruidos sobre tres unidades estructurales independientes, formando el túnel la cimentación de la unidad central.

Los edificios "D" los únicos que siguen en pie, son nueve, con un total de 258 departamentos (32 en cada edificio), en dos grupos al Suroriente y al Norponiente del viaducto y de los edificios "C".

Adyacente al edificio "A" hacia el Oriente, se encontraba el edificio de Administración. La guardería infantil y jardín de niños se encuentra al Oriente del edificio "A", entre los jardines. Tenía capacidad para 450 niños entre maternas y preescolares.

Una característica principal del "Presidente Juárez", consistía en que el terreno de que se disponía, se hallaba englobado en una gran manzana o supermanzana



Centro Urbano Presidente Juárez, 1952.

# 1985

de 250,000 metros cuadrados, en donde existían un estadio, un centro deportivo y una escuela, siendo lo demás un parque.

Con el conjunto Juárez se llegó a la aplicación de una nueva teoría: el edificio ya no constituía con su fachada el alineamiento de la calle. Disponiendo en el conjunto de la totalidad de la manzana, se procuró, no cortar la manzana, para que el peatón pudiera circular en toda ella sin encontrar un vehículo; por lo tanto, todos los accesos al multifamiliar se hacían por medio de calles que nunca llegaban a cruzar la unidad; todas eran calles cerradas que penetran hasta acercarse al edificio y terminan en el estacionamiento.

Aquí se desechó la idea de que fuera una sola orientación, construyendo los edificios en dos grupos perpendiculares entre sí, dando como resultado edificios en donde las viviendas utilizaban doble orientación, o sea que tenían fachadas al Oriente y al Poniente en los edificios bajos; los edificios altos tenían las habitaciones al Oriente y al Poniente y las circulaciones al Norte y al Noroeste.



Centro Urbano Presidente Juárez, 1985.

En el Centro Urbano Juárez se lograron 12 tipos de vivienda diferentes, dónde se buscó, una mayor variedad, para adaptarse a distintos tipos de familias, agrupándolas en construcciones de cuatro diferentes alturas: 1 edificio de 13 pisos, cinco de diez pisos, cuatro de siete pisos y nueve de cuatro.

En el proyecto se procuró que las zonas comerciales tuvieran dos características principales: ubicarlas en las zonas de mayor población, y para el trazo de los accesos, tomaron en cuenta el fomento de esas zonas comerciales creando los amplios estacionamientos requeridos.

La principal de todas se situaba en los bajos del edificio "A", que era el de 13 pisos y tenía la capacidad de 190 departamentos, con un estacionamiento con capacidad para cerca de cien vehículos. Otra zona comercial de menor importancia en la zona Noroeste, en donde se ubicaban dos edificios "B" de 10 pisos. En la zona Sur del lado Poniente los tres edificios "B" que ahí se ubicaban, integraban otra zona comercial. Y por último, en los edificios "C" de siete pisos, por donde cruzaba el túnel.

Tenía también una plaza amplia, arbolada, exclusivamente para peatones, en donde se pretendía que se hicieran las reuniones populares de los habitantes del Centro Urbano, un edificio de administración, en donde además de alojarse los servicios administrativos del conjunto, se ubicaron los servicios de conservación y la unidad sanitaria que se ocupará de los problemas de toda la población del Centro Urbano, y una guardería infantil con espacio para la totalidad de los niños que podían habitarla.

El tipo de cimentación adoptado fue el rígido-flotante totalmente compensado. La rigidez que se dio a esas cimentaciones, hizo que la carga dada de una columna no sea directamente equilibrada por la reacción del terreno que le es tributaria, sino con la ayuda de los esfuerzos cortantes de las trabes de cimentación que la soportan.

La total compensación de las cargas mediante una excavación de profundidad adecuada, reduce a un mínimo los asentamientos debidos a consolidación del terreno. Esta compensación fue posible debido a la separación que existía entre

cada uno de los edificios, lo que permitió una ampliación en el área de cimentación con respecto a la planta de los edificios.

La deformación que sufrieron los edificios es el resultado de la acción que ejercen sus cargas y la reacción del terreno en la estructura de su cimentación. La estructura de estas cimentaciones estaba constituida por retículas de traveses de concreto reforzado, solidarias de la losa de cimentación y de la losa de sótano, así como la de la planta baja. La trabe perimetral servía al mismo tiempo como muro de contención del terreno circundante.

La decoración plástica fue encargada al pintor Carlos Mérida.

Después de los sismos de septiembre de 1985: 19 edificios construidos sólo quedaron nueve edificios habitables, los edificios D.

**2005**



## Diferencias entre los multifamiliares

Se consultaron fuentes y autores diversos:

Los Multifamiliares de Pensiones, PANI; *Modernidad y Arquitectura en México*, BURIAN.

En el "Presidente Alemán" se trató de demostrar que era un sistema más económico, y lo que era más barato debía ser lo más práctico. En el "Presidente Juárez" se vio que muchas cosas costaban menos en su adquisición, pero a la larga ese costo se elevaba por los gastos de conservación. Se hizo pues, un estudio de la inversión, para adoptar no la más barata, sino la más económica.

La rudeza, la fuerza, quizás la exageración en el "Presidente Alemán", se cambió por una construcción más racional y menos dura en el "Presidente Juárez".

En el primer multifamiliar se trató de demostrar el hecho de que podía vivirse en una gran comunidad, a diferencia de lo que se acostumbraba en México, o sea de la vida aislada y separada entre sí. Se procuró que todo lo que se pudiera hacer en común

así se hiciera, con el designio de probar que mientras más se realizara, más se economizaría.

La superficie del "Presidente Alemán" (40,000 m<sup>2</sup>) estaban totalmente limitados por calles, en tanto que los del "Presidente Juárez" quedaban dentro de un parque.

A pesar de que existe una población semejante en número (de cuatro a cinco mil habitantes teóricos en el "Juárez"; siete mil efectivos en el Centro Urbano Presidente Alemán ó CUPA), la densidad de uso es muy diferente: en el "Presidente Alemán" sólo utilizaron los cuarenta mil metros; al "Presidente Juárez" se le pudo agregar como espacio de uso el parque de la Piedad, lo que da 250,000 m<sup>2</sup> para cinco a siete mil habitantes. No obstante que se contó con una superficie idéntica, se obtuvo una densidad menor en el "Juárez".

CONSTRUCCIÓN

IV



## Problemas técnicos

Se consultaron varios autores y fuentes para este capítulo:

La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985, VÁSQUEZ VERA, Cuadernos FICA; Estructuras AMBROSE JAMES; Estructuras, W.T. MARSHALL y H.M. NELSON y Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Después de los sismos de 1985, dentro de la industria de la construcción, se provocó una inquietud que generaría un estudio sobre las carencias y deficiencias de la construcción en nuestro país, promoviendo soluciones reales que motivaran el mejoramiento de este sector, y que evitaran un desastre parecido al vivido en septiembre de 1985.

## Edificación

En este concepto surge la escasa y difícil comunicación entre los que realizan investigación y los que trabajan en el proyecto y la realización de las obras. Sobre todo, en



Daños estructurales en columnas; Septiembre 1985. Foto ICA.

lo que concierne al comportamiento de cimentaciones, la transmisión de fuerzas entre estructura y cimentación, los empujes en la cimentación, los empujes sísmicos de suelos, las estructuras sumergidas, y los criterios de diseño de estructuras con sistemas reductores de la respuesta sísmica: aisladores de base o disipadores de energía.

En lo que respecta a los recursos humanos, hay una carencia en lo que se refiere a los especialistas, junto a una falta de capacidad en el diseño básico y en la estructuración; deficiencia en la supervisión y en el control de calidad. Las obras se ven afectadas por la variabilidad de las propiedades de los materiales disponibles.

## Relación entre proyecto y obra

Las estructuras importantes se construyen con apego a los proyectos. En las pequeñas son frecuentes los descuidos. Las deficiencias de diseño y construcción son más frecuentes que lo deseable, usualmente por conflictos de intereses o por las presiones para reducir plazos y costos. Se considera que la práctica constructiva mexicana resulta en estructuras que no reflejan adecuadamente su proyecto estructural.

Los investigadores deberían tener más contacto con la práctica, y establecer objetivos que tiendan a mejorarla.

## Recursos disponibles

Se considera que las herramientas y normatividad con las que se trabaja a un nivel de construcción y diseño, son adecuadas dentro del contexto de su práctica; sin embargo, hay varias limitaciones en este respecto, como es la falta de normatividad para estructuras y sistemas estructurales especiales a los que se

enfrenta cada vez con mayor frecuencia (como es el caso de la rehabilitación estructural, edificios con disipadores de energía, túneles y puentes), y las dificultades prácticas y técnicas que enfrenta para diseñar estructuras dúctiles. Además mejorar los métodos actuales de diseño y detallado, como del cuidado que debe ponerse en la actualización de herramientas y metodologías de diseño.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## Concepción y Construcción

Los temblores de 1985 hicieron notable la necesidad de contar con disposiciones de diseño estructural y especificaciones para el control de calidad de las estructuras. Hizo evidente, las limitaciones de los métodos normales de análisis para pronosticar la respuesta de las estructuras sujetas a excitaciones extremas, con respecto a los diferentes tipos de suelo de la ciudad.

Las deficiencias en las obras, se debieron a la falta de capacitación de constructores y residentes, de su desconocimiento de los reglamentos y normas, así como honradez en las labores de inspección. Además en la falta de claridad y especificación de los planos de los proyectistas.

Se encontró que diversos detalles constructivos no fueron bien orientados; gran proporción de las fallas se originaron por irregularidades en la distribución de rigideces y resistencias de los edificios.

Los constructores no tomaron en cuenta disposiciones fundamentales, como la recomendación que se hizo al revisar el

código en 1976, de aumentar las fuerzas de diseño en edificaciones asentadas en terrenos débiles, así como la insuficiente separación entre construcciones, lo que provocó el golpeteo de estructuras adyacentes, dando como resultado el colapso de uno o más pisos en el tercio superior de los edificios.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## Comportamiento de los edificios durante el sismo

### Características dinámicas

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

Las características más importantes 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. Por lo general, en los terrenos firmes la frecuencia es más alta que en terrenos blandos, lo que indica que el número de oscilación del terreno por unidad de tiempo es mayor, sintiéndose el

movimiento mucho más violento y rápido que en terrenos blandos, donde es más lento; los desplazamientos y la duración total suelen ser mucho mayores en el terreno blando.

Por otra parte, 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 conforman la estructura, a la variación de las propiedades al presentarse comportamiento inelástico, 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 de un edificio.

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. La rigidez angular 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 a otro extremo. La rigidez, tanto en entrepiso como angular o lineal, depende del tamaño de la sección transversal de los elementos estructurales, con lo que se calculan las propiedades geométricas: áreas y movimientos de inercia; de su longitud; de la forma en que están conectados a otros elementos y del material con que están hechos. Es una propiedad diferente a la resistencia, aunque a veces se confunde con ella. 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 en el caso de los muros de 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, correspondiendo

una deformación del doble para esfuerzos dos veces mayores; pero, a medida que los esfuerzos crecen, el comportamiento deja de ser elástico, alcanzándose lo que se conoce como comportamiento no lineal o inelástico, en el cual, al duplicar el esfuerzo, la deformación es mucho mayor que el doble.

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. 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 del 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.

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, pues por lo general no es aconsejable diseñar las estructuras sometidas a estas acciones sobre la base de un comportamiento elástico, ya que sería poco económico debido a la escasa probabilidad de que ocurra el sismo de diseño durante la vida útil de la estructura, además que es muy difícil saber cuál será la mayor excitación sísmica que puede ocurrir.

### **Criterios de diseño sísmico**

Los criterios de diseño por sismo adoptados por la mayoría de los reglamentos de construcción, establecen la necesidad de diseñar para resistir, sin daños, 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, 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.

Aunque fue claramente demostrado con el sismo de septiembre de 1985 que se rebasó ampliamente las previsiones que se tenían para diseño.

En los reglamentos se proponen valores máximos para diseño, estimados con base en la información estadística de que se disponga, considerando que las estructuras tienen comportamiento elástico. Para el cálculo de las fuerzas equivalentes al sismo se permite reducir por ductilidad los valores máximos, 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.

## Recomendaciones sobre estructuración

Con base en la experiencia obtenida en muchos temblores ocurridos en distintas partes del mundo se elaboraron una serie de recomendaciones:

- 1) Poco peso
- 2) Sencillez, simetría y regularidad tanto en planta como en elevación
- 3) Plantas poco alargadas
- 4) Uniformidad en la distribución de resistencia, rigidez y ductilidad
- 5) Hiperestaticidad y líneas escalonadas de defensa estructural
- 6) Formación de articulaciones plásticas en elementos horizontales antes que los verticales
- 7) Propiedades dinámicas adecuadas al terreno en que se desplantará la estructura
- 8) 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 moldear; que sean simétricas para reducir efectos de torsión; que no sean muy alargadas ni en planta ni en elevación: en planta para reducir la posibilidad de que el movimiento de un extremo del edificio sea diferente al 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, pues los cambios bruscos en masa o rigidez propician amplificaciones dinámicas importantes, que suelen provocar daños graves. 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 la dimensiones de las traveses 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 puede dar la posibilidad de evitar daños grandes a toda la estructura.

Se debe buscar una estructuración a base de columnas fuertes-vigas débiles, para propiciar la formación de articulaciones plásticas en las vigas al excederse la resistencia suministrada, ya sea porque se está aprovechando la ductilidad o porque, además de eso, el sismo excede las previsiones de diseño. Así se logran mecanismos que puedan evitar más fácilmente el colapso de la estructura, pues la demanda de ductilidad local en las trabes de todos los entrepisos reparte mejor los efectos del sismo que cuando la demanda de ductilidad se concentra en las columnas de un solo entrepiso. Por otro lado, el comportamiento dúctil de elementos estructurales sujetos a flexión pura, como en el caso de las trabes, es mucho mejor que el de los elementos sujetos a flexocompresión, que es el caso de las columnas.

Se recomienda también que se busque que las propiedades dinámicas de la estructura sean congruentes con las del suelo en que está desplantada; se dice que en suelos firmes se

comportan mejor las estructuras flexibles y en suelos blandos las estructuras rígidas. Lo que se trata de evitar es la posible resonancia por coincidencia de las propiedades dinámicas de la estructura y del suelo, como la observada el 19 de septiembre.

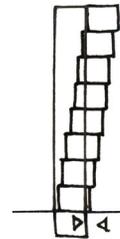
Finalmente, es recomendable también que lo que se construye sea congruente con lo que se proyecta, porque el comportamiento de la estructura será muy distinto al supuesto en el proyecto estructural, pudiendo presentarse muchos daños.



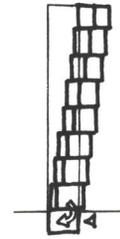
Flexión



Volteo

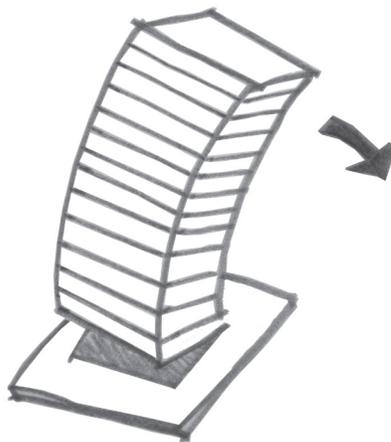


Cortante

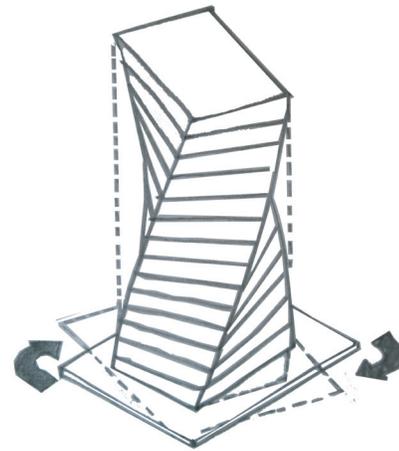


Torsión

La torsión generó peligro en las estructuras irregulares, con excentricidades de carga y rigidez. La resonancia puso en peligro las estructuras flexibles, por la transmisión de energía.

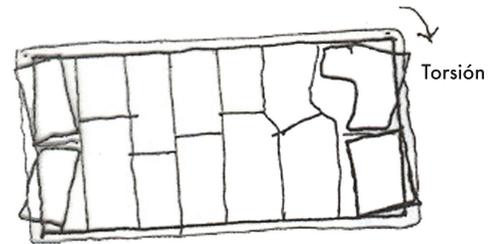
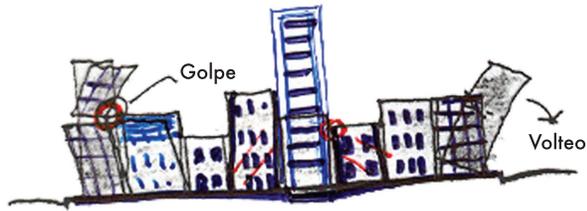


Volteo

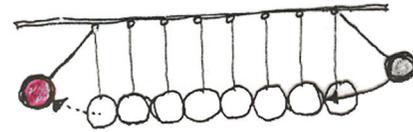


Torsión

### Edificios en Esquina



Las fallas de los edificios, dentro de la manzana, repercutieron en las esquinas, porque tienen mayores riesgos de: volteo, torsión, golpe de estructuras vecinas y resonancia.



Transmisión de Energía



Volteo en esquina

Otros derrumbes fueron ocasionados por el cambio de uso y el exceso de cargas vivas en altura, lo que provocó fallas en los cimientos, por la uniformidad de los factores de seguridad en toda la altura del edificio, cuando se requiere una variación lineal por cada piso. Otro problema se identificó con asentamientos diferenciales de las estructuras, que redujeron la capacidad de disipar energía.

Se ha reconocido también que muchas de las fallas no se debieron a deficiencias en las normas anteriores, sino al incumplimiento de éstas.



Septiembre 1985. Foto ICA.

Para entender la construcción en esa época, se desarrollaron los diferentes sistemas constructivos aceptados en ese momento:

Una estructura puede definirse como un cuerpo capaz de resistir cargas aplicadas sin que exista una deformación excesiva de una de sus partes con respecto a otra.

La función de una estructura es, por lo tanto, transmitir fuerzas de un punto del espacio a otro, resistiendo su aplicación y sin perder su estabilidad.

### **Tipos de estructuras existentes en 1985**

Los sistemas estructurales más comunes en la ciudad 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.

Tipo 2. Estructuras con muros de carga de mampostería de tabique 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 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 in 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 capiteles, que forman marcos "equivalentes" con las columnas, siendo también los muros de colindancia y divisorios "no estructurales".

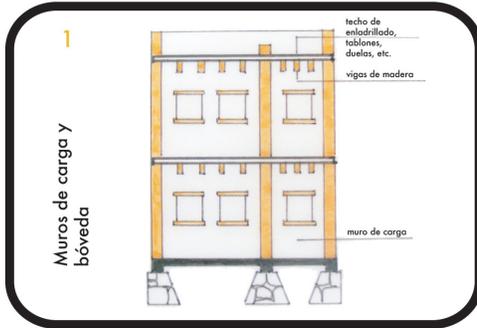
Tipo 5 y 6. Estructuras similares a los tipos 3 y 4 en las que, además de los marcos rígidos

se emplean elementos de contraventeo constituidos por diagonales de concreto o acero en algunas crujiás o por muros de rigidez de mampostería de tabique o concreto reforzado; en algunos casos los muros forman núcleos rígidos alrededor de zonas de servicio, como elevadores, escaleras, baños y ductos. El resto de los muros son “no estructurales”.

## TIPOS DE ESTRUCTURAS

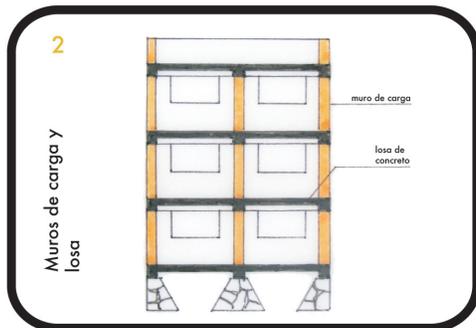
## TIPOS DE DAÑOS MÁS COMUNES

## POSIBLES CAUSAS



Prácticamente no hubo daños en este tipo de estructuras, exceptuando algunos casos de golpes con edificios vecinos, sobre todo cuando el nivel de las losas es diferente, o de viviendas muy deterioradas por falta de mantenimiento.

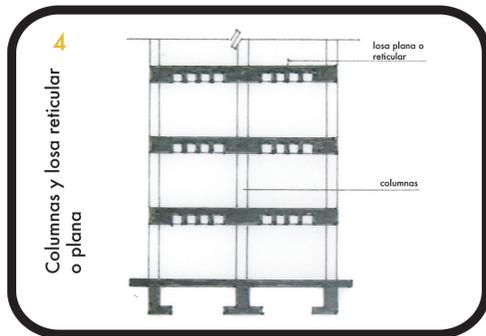
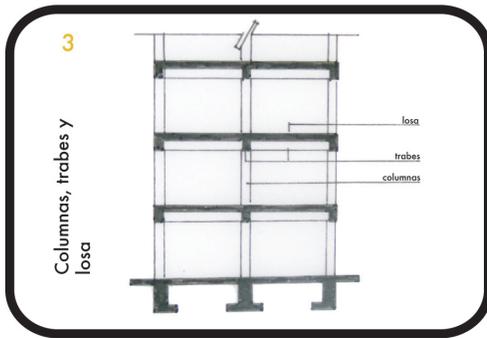
El problema más frecuente en este tipo de estructuras al ser sometidas a sismos, es la falta de diafragmas rígidos al nivel de pisos y techos que repartan los efectos sísmicos a los muros orientados en cada dirección, lo que suele agravarse cuando, por remodelaciones o cambio de uso, se eliminan algunos muros, para abrir vanos. El número de niveles es de 1 a 4 máximo.



Prácticamente no hubo daños en este tipo de estructuras, exceptuando algunos casos de golpes con edificios vecinos o de viviendas muy deterioradas por falta de mantenimiento.

Poca altura y gran rigidez, tienen periodos de vibración más cortos que los dominantes del suelo y su respuesta fue relativamente baja comparada con su capacidad, dañándose sólo el 1% de las edificaciones existentes. En este tipo de construcciones la máxima altura que suele alcanzarse es 8 niveles.

## TIPOS DE ESTRUCTURAS



## TIPOS DE DAÑOS MÁS COMUNES

Desmoronamiento inclinado de las traveses en la proximidad de sus extremos debido a tensión diagonal. 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 pandeo del acero de refuerzo del lecho interior de las traveses. Llegan a alcanzar hasta 40 niveles en acero y un poco más bajos en concreto reforzado.

Deslizamiento o punzonamiento de las columnas en los capiteles de estructuras de losa plana, aligerada, provocado por tensión diagonal. 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. Agrietamientos diagonales en cruz en muros de carga o de relleno. Se ha usado en edificios de hasta 20 pisos.

## POSIBLES CAUSAS

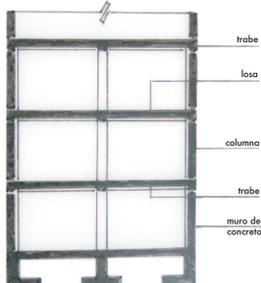
En algunos casos talvez por sobre-refuerzo de las traveses o losas; en otros casos por la colaboración inadecuada de muros no estructurales que modificaron a la estructura. Es probable que muchas fallas de columnas se hayan debido a la práctica de armarlas concentrando el refuerzo longitudinal en las esquinas, agrupándolo en paquetes y restringiendo su pandeo con estribos muy espaciados.

Se forman grietas sobre todo en estructuras que sufrieron asentamientos. Por exceso de carga en ambos sentidos. Lo reducido del peralte del sistema de piso conduce a menor rigidez lateral, lo que hace que se deformen más y tengan periodos más largos que los de traveses más peraltadas, su comportamiento en el intervalo inelástico es menos dúctil.

## TIPOS DE ESTRUCTURAS

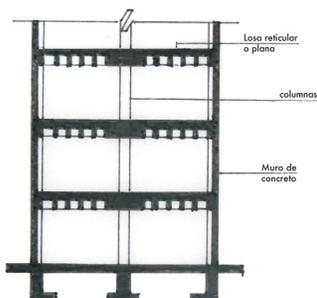
5

Muros de concreto,  
columnas, traveses y  
losas



6

Muros de concreto,  
columnas y losa reticular  
o plana



## TIPOS DE DAÑOS MÁS COMUNES

En los tipos 5 y 6 se reducen considerablemente los problemas de deformaciones excesivas, debido a la rigidez que se logra por la colaboración de los muros o elementos de contra-venteo; aunque el análisis estructural se complica por la manera diferente en que se deforman los marcos sin contra-ventear y los muros de rigidez o marcos contra-venteados.

## POSIBLES CAUSAS

Ya que al estar conectados en cada nivel por diafragmas rígidos, tienen que deformarse igual, lo que causa problemas de interacción, que se complican aún más al contar con que en realidad las deformaciones son en tres dimensiones, y no en planos aislados. Con estos sistemas estructurales se han construido edificios de gran altura de 52 niveles, de acero estructural, o de 40 niveles de concreto reforzado.

Muchos edificios de departamentos con estructura 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 colindancias, colocadas simétricamente.

Muy pocas estructuras de los tipos 5 y 6, con marcos y muros de rigidez, sufrieron daños serios.

## Formas estructurales

Las estructuras elementales se vuelven ineficientes a medida que aumenta la distancia a la cual se deben transmitir las fuerzas y, por esta razón, se construyen tipos de estructuras más complejos a partir de los elementos simples.

A medida que aumenta el claro o distancia entre apoyos deja de ser económico el uso de una viga maciza o de una sola pieza, y se recurre entonces a la viga de alma abierta o a una armadura. Igual que en el caso de una viga simple sometida a carga vertical, las fuerzas en los miembros del cordón superior son de compresión y las del cordón inferior, de tensión. Las fuerzas cortantes son resistidas por los miembros inclinados o diagonales (del alma), y las fuerzas axiales en ellos pueden ser de tensión o de compresión.

## Materiales estructurales

En el estudio o diseño de estructuras, interesan las propiedades particulares de los materiales. Estas propiedades críticas se pueden dividir en propiedades estructurales esenciales y propiedades generales.

Las propiedades estructurales esenciales incluyen las siguientes:

**Resistencia:** Puede variar para los diferentes tipos de fuerzas, en diferentes direcciones, en diferentes edades o en diferentes valores de temperatura o contenido de humedad.

**Resistencia de deformación:** Grado de rigidez, elasticidad, ductilidad; variación con el tiempo, la temperatura, etc.

**Dureza:** Resistencia al corte de la superficie, raspaduras, abrasión o desgaste.

**Resistencia a la fatiga:** Pérdida de la resistencia con el tiempo; fractura progresiva; cambio de forma con el tiempo.

**Uniformidad de la estructura física:** Vetas y nudos en la Madera, agrietamiento del concreto, planos cortantes en la roca, efectos de cristalización en los metales.

Las propiedades generales de interés en el uso y evaluación de materiales estructurales incluyen las siguientes:

- 1) Forma: Natural, remoldeada o reconstituída.
- 2) Peso: Como contribuyente a las cargas gravitacionales de la estructura.
- 3) Resistencia al fuego: Combustibilidad, conductividad, punto de fusión y comportamiento general a altas temperaturas.
- 4) Coeficiente de expansión térmica: Relacionado con los cambios dimensionales debidos a variaciones de temperatura; crítico cuando se acoplan diferentes materiales, como en la laminación, el concreto reforzado o columnas recubiertas.
- 5) Durabilidad: Resistencia al clima, pudrición, insectos y desgaste.
- 6) Trabajabilidad: En la producción, moldeo, ensamble, modificación.
- 7) Apariencia: Natural o modificada.
- 8) Disponibilidad y costo.

En cualquier función estructural específica, muy raras veces un solo material resulta superior en todos aspectos y, a menudo, se tienen que categorizar las

diversas propiedades, según su importancia.

- **Acero**

El acero se usa en gran variedad de tipos y formas en casi cualquier edificio. Desde las enormes columnas hasta los pequeños clavos, el acero es el más versátil de los materiales estructurales comunes. También es el más fuerte, el más resistente al envejecimiento y, generalmente, el más confiable en cuanto a calidad. El acero es un material completamente industrializado y está sujeto a estrecho control de su composición y de los detalles de su moldeo y fabricación. Tiene las cualidades adicionales deseables de no ser combustible, no pudrirse y ser estable dimensionalmente con el tiempo y los cambios de temperatura.

Aunque el material en volumen es costoso, el acero se puede usar en pequeñas cantidades debido a su gran resistencia y a sus procesos de moldeo, los cuales lo hacen competitivo con materiales de menor costo en volumen.

Dos desventajas principales del acero para estructuras son inherentes al material. Estas son su rápida absorción del calor y la pérdida de resistencia, que se producen cuando se expone al fuego, y su corrosión cuando se expone a la humedad y al aire o a condiciones corrosivas.

El revestimiento de marcos de acero con concreto fue un medio común para lograr su protección contra el fuego. Esto se hace aún en algunos casos en que se usan losas o muros de concreto junto con marcos de acero. Sin embargo, ahora es más común rodear la estructura de acero con construcción de mampostería, aplanados, elementos prefabricados de cartón y yeso o algún otro material resistente al fuego.

- **Concreto**

Se denomina concreto a una mezcla en la cual, una pasta de cemento y agua liga los materiales conocidos con el nombre de agregados y forma un conglomerado que endurece conforme progresa la acción química del agua sobre el cemento.

El concreto armado es aquel en el que se ha incluido armaduras o varillas de fierro para formar un solo cuerpo desde el punto de vista mecánico. El objeto de insertar armaduras o varillas de fierro en la masa de concreto, es proporcionarle resistencia a la tracción. El concreto por sí solo es incapaz de formar piezas que resistan tensiones o flexiones, por tener una resistencia muy pequeña a la tracción. Si en las zonas donde se presentan los esfuerzos de tensión se refuerza el concreto, tendremos un material resistente a la flexión. El refuerzo de fierro puede, junto con el concreto, trabajar a la compresión en muchos casos.

Sirve como material en la construcción principalmente en aquellas partes de la obra que reciben y transmiten cargas (cimientos, columnas, trabes, losas, pesos y muros) y como material para fabricación de productos constructivos como mosaicos, tubos, bloques y otros.

Las principales ventajas que ofrece el concreto como material de construcción, son: bajo costo de fabricación y conservación; y adaptación a cualquier forma.

Alta resistencia al desgaste en toda clase de pavimentos.

Rapidez de ejecución

Resistencia al fuego

### **Sistemas estructurales**

Un sistema estructural específico deriva su carácter único de cierto número de consideraciones:

Funciones estructurales específicas, algunas de las cuales son de resistencia a la compresión (una pila, una zapata o una columna); resistencia la tensión (un cable de retención); para cubrir claros horizontales (una viga en un piso), verticalmente (una hoja de vidrio en una ventana), o en alguna posición (una viga de techo inclinado); en voladizo vertical (una torre) u horizontal (un balcón o una saliente). Se puede necesitar un solo elemento o sistema para desempeñar mas de estas funciones en diversas situaciones de uso.

La forma geométrica u orientación. Se debe observar la diferencia entre la naturaleza de la viga plana y el arco, ambas funcionando como estructuras para

cubrir claros horizontalmente. La diferencia principal es la forma estructural. El arco se puede comparar con el cable colgante ambos usados como elementos para cubrir claros horizontales. Son, obviamente, diferentes en cuanto a función. No obstante, la diferencia no es de forma sino de punto de aplicación de la carga.

Los materiales de los elementos. La forma de unión de los elementos si el sistema consiste en un juego de partes articuladas. La forma de apoyo a la estructura. Las condiciones específicas de carga o las fuerzas de que debe soportar la estructura. Las consideraciones de uso impuestas separadamente en función de la forma y los límites de escala.

Las limitaciones de forma y escala de los elementos y la naturaleza de su unión impuesta por las propiedades de los materiales, los procesos de producción y la necesidad de funciones especiales como desarmar y mover.

## **Clasificación de los sistemas estructurales**

Los sistemas estructurales se pueden clasificar de diversas maneras. Una diferencia amplia es la que se hace entre estructuras sólidas, estructuras reticulares y estructura de superficie.

Las sólidas son aquellas en las que la resistencia y la estabilidad se logran mediante la masa, aun cuando la estructura no sea completamente sólida.

En las estructuras reticulares, la estructura básica consiste en una red de elementos ensamblados. Los sistemas de viga y columna de acero y las torres de celosía son ejemplos de estructuras reticulares.

Las estructuras superficiales pueden tener alto rendimiento debido a su función doble como estructura y envolvente ya que, pueden ser muy estables y fuertes, sobre todo en el caso de las formas tridimensionales. No obstante, están un poco limitadas para recibir cargas concentradas y facilitar discontinuidades repentinas como los vanos.

## **• Muros estructurales**

Hay un diseño estructural dirigido hacia el uso de los muros que envuelven y dividen un edificio para apoyo y arriostramiento.

Los muros de carga son, esencialmente, elementos a compresión. Pueden ser monolíticos, o bien, entramados, ensamblados de muchas piezas. Pueden ser continuos o abiertos de muchas formas.

Aunque no se utilizan para transmisión de carga vertical, los muros se usan, para dar estabilidad lateral. Esto se puede lograr con el muro que actúe independientemente o en una interacción combinada con la estructura del edificio.

Incluso si no participa en la generación de carga vertical, funcionará para prevenir el colapso lateral de los montantes. Este posible arriostramiento o contraventeo lateral de un plano vertical rígido se utiliza con frecuencia para estabilizar edificios contra las fuerzas del viento o del impacto sísmico. Los dos elementos básicos del sistema son el poste y la viga.

Aspectos críticos del sistema son la relación entre la longitud y el radio de giro del poste y la relación entre peralte y claro de la viga. También es crítica la eficacia de la forma de la sección transversal de la viga en cuanto a su resistencia a la flexión.

La estabilidad del sistema bajo cargas laterales es crítica en dos maneras diferentes; la resistencia a carga horizontal en el mismo plano del marco y la estabilidad contra cargas horizontales perpendiculares al plano del marco.

Igual que la estructura de muros de carga, la de poste y viga requiere el uso de un sistema estructural secundario de relleno para producir las superficies sólidas de muros, pisos y techos.

- **Marcos rígidos**

Las estructuras en las que los miembros están conectados de tal manera que se permite la transferencia de momentos extremos de miembro a miembro, comúnmente se llaman marcos rígidos. Rígido en este caso se refiere al carácter de las conexiones, no

necesariamente al carácter de la deformación de todo marco. De hecho, muchos marcos rígidos presentan problemas críticos de deflexión, y el control de las deformaciones, en especial movimientos laterales, con frecuencia es un factor importante de diseño.

Cuando los miembros están conectados entre sí por medio de dispositivos que actúan básicamente como conexiones articuladas, los miembros pueden deflexionarse y rotar en las conexiones, sin afectar la deformación de los miembros conectados. Cuando los miembros están rígidamente conectados, tienden a ofrecer resistencia a los movimientos de cada uno de los otros. Esto puede ser un efecto positivo, que produce la estabilidad del marco y reduce las deflexiones de los miembros.

La estructura de marco rígido se presenta frecuentemente como un marco de varios claros y niveles, formando parte del esqueleto de un edificio de varios pisos. En muchos casos, estos marcos se utilizan como elementos de contraventeo; aunque una vez que está formado como estructura resistente a momentos, responderá característicamente a todos los tipos de cargas.

- **Sistemas de losa y viga**

El sistema de piso de concreto colado en obra más adaptable y de uso más difundido, es el que utiliza losas macizas en una dirección soportadas por vigas en una dirección. Este sistema puede utilizarse para claros sencillos, pero se presenta con más frecuencia en losas y vigas de varios claros.

- **Viguetas en una dirección**

Este sistema, por lo general, es el más ligero (en peso muerto) entre cualquier tipo de construcción plana de concreto, colada en la obra; estructuralmente adecuada para las cargas ligeras y claros medianos de edificios comerciales y de oficinas. La construcción ofrece muy poca resistencia al fuego, en especial cuando se expone por la parte de abajo.

- **Construcción reticular**

La construcción reticular se compone de nervaduras o viguetas en dos direcciones que se forman del mismo modo que las viguetas o nervaduras en una dirección, utilizando moldes o cimbras de metal, plástico o cartón

para producir los huecos entre las nervaduras o viguetas. El tipo de construcción reticular o encasetonada que más se utiliza es la losa plana reticular, en la que se producen partes macizas en torno a los apoyos de columna omitiendo los moldes o cimbras formadoras de los huecos. Es necesario formar vigas, en puntos de discontinuidad en la planta, como en grandes aberturas o en los extremos del edificio.

Lo mismo que con la construcción de vigas en una dirección, la construcción reticular ordinaria ofrece baja resistencia al fuego. El sistema es más apropiado para los casos en que concurren cargas ligeras, claros de mediano a largos, crujías de columnas aproximadamente cuadradas y un número razonable de múltiples crujías en cada dirección.

En la estructura reticular de un edificio, la carga aplicada sobre el piso, es soportada por una losa o placa y transmitida a las vigas. En la estructura reticulada la carga de las vigas se transmite a las columnas, y éstas a los cimientos. Los elementos fundamentales

de las estructuras son la barra axial, la viga, la barra de forma predominante de soporte de carga y de deformación.

La barra axial está sometida esencialmente a cargas axiales, o sea, a lo largo de su eje y la deformación que experimenta por acción de la carga es, simplemente, un cambio de longitud.

Las vigas son barras apoyadas en uno o más puntos de su extensión y generalmente soportan cargas transversales, o sea, perpendiculares a su eje; su deformación característica por la acción flexionante es una curvatura plana.

Una barra de torsión soporta momentos torsionantes que originan torsión en la misma, sin deformación axial.

En una losa es preciso considerar dos configuraciones fundamentales: una producida por carga normal o perpendicular a la placa, que se deforma como una viga pero en forma cóncava, con curvatura en dos direcciones; la otra es la originada por cargas de borde aplicadas en el plano de la placa.

### • **Construcción compuesta: Concreto con acero estructural**

Consiste en una losa colada de concreto soportada por vigas de acero estructural, de manera que la interacción entre la losa y las vigas se logra con el uso de conectores de cortante soldados a la parte superior de las vigas y ahogados en la losa. Sin embargo, una forma de construcción mas usada es aquella en la que se utiliza una lámina de acero acanalada en la manera acostumbrada, soldada a la parte superior de las vigas. Los conectores de cortante se sueldan entonces en la obra a través de la lámina a la parte superior de la viga. La lámina de acero puede funcionar, para moldear el concreto, o por sí misma puede generar una acción compuesta en conjunto con la losa.

### • **Concreto preesforzado**

El preesforzado consiste en inducir deliberadamente alguna condición de esfuerzo interno en una estructura, antes de someterla a cargas de servicio. La finalidad es compensar de antemano algún esfuerzo previsto de carga de servicio, lo que en el caso del concreto significa un alto nivel de

esfuerzos de tensión. El pre o ante esfuerzo es, un esfuerzo de compresión o de flexión inverso.

El uso principal del preesforzado es en elementos que cubren claros, en los que las principales condiciones de esfuerzo a contrarrestar son de tensión debida a la flexión y tensión diagonal debida al cortante. El uso del preesforzado libera a los elementos de concreto de los límites de claro asociados con el refuerzo común. De este modo, las secciones de las vigas son de grandes dimensiones y los claros importantes son posibles.

El preesforzado, se logra estirando torones de acero de alta resistencia en el interior de elementos de concreto. Al final, la fuerza de estiramiento se transfiere al concreto, produciéndose la compresión deseada en él. Existen dos procedimientos para lograr el estiramiento de los torones: pretensado y postensado.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## 1. Estructuras pretensadas

El pretensado consiste en estirar los torones antes de colar el concreto. Los torones se dejan expuestos y, a medida que el concreto se endurece, se adhiere a ellos. Cuando el concreto está suficientemente duro, la fuerza de tensión externa se libera y la tensión en el torón se transfiere al concreto a través de la acción adherente de las superficies del torón. Este procedimiento requiere algún elemento sustancial que produzca la resistencia necesaria a la fuerza de tensión, utilizada para estirar los torones antes de que el concreto sea colado. El pretensado se utiliza, principalmente, para unidades coladas en taller, en las que el elemento resistente a la fuerza de tensión es el molde, sólidamente construido de acero y diseñado para uso múltiple, continuo.

El pretensado se hace, por razones de ahorros en costos. El pretensado ofrece una desventaja particular: no permite ajustes y las condiciones precisas de esfuerzo y deformación son sólo aproximadamente predecibles.

## 2. Estructuras postensadas

En el postensado, los torones se instalan flojos, por lo regular, envueltos con una funda o ducto. Se permite que el concreto endurezca alrededor de los ductos y los mecanismos de anclaje del torón. Cuando el concreto ha alcanzado la resistencia suficiente, el torón se ancla en un extremo y se estira en el otro, tirando contra el concreto. Cuando se observa que la fuerza de tensión calibrada es suficiente, el extremo estirado del torón se asegura en el mecanismo de anclaje, se inyecta lechada de cemento a presión para adherir el torón dentro del ducto y se libera la tensión.

El postensado se utiliza en elementos colados en obra, puesto que no es necesario que los moldes resistan las fuerzas de tensión. Sin embargo, también puede utilizarse en elementos precolados cuando las fuerzas de tensión son considerables y/o se desea un mejor control de la fuerza neta existente.

Hasta que se inyecta la lechada de cemento dentro de los ductos, los torones se pueden volver a tensar, repetidamente, hasta lograr una condición de mayor estiramiento.

En algunos casos, esto se hace a medida que prosigue la construcción, permitiendo que la estructura se ajuste a las condiciones cambiantes de carga.

### **Esfuerzos y deformaciones**

Las limitaciones impuestas en las deformaciones y esfuerzos son los mecanismos fundamentales para el control del comportamiento estructural.

Aunque los esfuerzos y deformaciones se originan por las acciones de fuerzas externas, se representan como los resultados directos de las acciones individuales de tensión, compresión, cortante, flexión y torsión son la manifestaciones y esfuerzos internos en el material de la estructura. El esfuerzo directo, de tensión o compresión, resulta de la acción de una fuerza directa. El esfuerzo es producido por la acción de una fuerza de tensión o compresión que actúa perpendicularmente a la superficie.

Cuando un elemento estructural lineal está sometido a un momento de flexión que sitúa en un plano paralelo al eje longitudinal del elemento, el efecto se llama flexión.

Con respecto a sus acciones:

1. La flexión tiende a curvar hacia arriba o doblar el elemento.
2. La curva indica que el material en un lado del miembro se alarga debido a la tensión, en tanto que se acorta en el lado opuesto debido a la compresión.
3. Debido a la condición inversa del esfuerzo de lado a lado, habrá un punto de transición en el que el esfuerzo es nulo sobre la sección transversal del miembro.
4. Un par de fuerzas internas generan la resistencia a la flexión interna en una sección transversal, dicho par lo producen las resultantes de los esfuerzos de tensión y compresión.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

Cuando un elemento lineal está sujeto a un momento de torsión que existe en un plano perpendicular al eje longitudinal del elemento, el efecto se llama torsión. La torsión se manifiesta de varias maneras en las estructuras de edificios, fundamentalmente en las vigas y columnas de sistemas estructurales.

- **Comportamiento plástico**

Este es el caso en que el incremento de la deformación se produce a esfuerzo relativamente constante. La deformación plástica puede aparecer naturalmente en algún rango de esfuerzo o puede ocurrir debido al calor, humedad, tiempo o cambios químicos.

- **Comportamiento elástico**

Este indica una proporcionalidad constante de esfuerzo a deformación.

- **Comportamiento inelástico**

Este es el caso general cuando esfuerzo y deformación no permanecen en relación constante en el intervalo de incremento de esfuerzo. La relación puede ser predecible,

pero no es de proporcionalidad constante.



Septiembre 1985. Fotos ICA.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## **Evolución del reglamento de construcciones para el Distrito Federal en aspectos de diseño sísmico**

Se consultaron varios autores y fuentes para este capítulo:

Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985, Fundación ICA, a.c. y Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, ARNAL.

La evolución de los reglamentos de diseño sísmico casi siempre ha sido provocado por algún evento sísmico importante, ya que quedan en evidencia las deficiencias que puedan tener. En México ha habido varios cambios en los últimos treinta años. Cuando ocurrió el sismo del 28 de julio de 1957 estaba en vigor un reglamento que databa de 1942; ya antes del temblor muchos ingenieros reconocían la obsolescencia de este reglamento en el aspecto de diseño.

### **Reglamento de 1942**

El reglamento de 1942 sustituyó a otro

emitido en 1920; era relativamente limitado en materia de sismos. Restringía la altura de las construcciones a un máximo de 35 metros. Hacía una clasificación de las construcciones en 8 tipos diferentes, según su importancia y tipo de ocupación. El tipo I correspondía a “construcciones que es indispensable que permanezcan intactas cuando todas las otras han sido destruidas por un temblor, de las que depende la habitabilidad y seguridad de las poblaciones, como plantas de bombeo, depósitos de agua potable, estaciones de bombeo, plantas de energía, plantas de tratamiento de aguas negras y monumentos que se desean conservar”. El tipo II incluía

“ construcciones para lugares de reunión o de cualquier otra clase, que al fallar pongan en peligro la vida de gran número de personas; por ejemplo escuelas, teatros, salas de cinematógrafo y similares”. El tipo III era para “construcciones para edificios destinados al público, pero donde no se congrega un gran número de personas; así como otras construcciones que al fallar puedan poner en peligro a las primeras; por ejemplo, hoteles, casas de viviendas o departamentos, edificios para despachos, plantas industriales, etc.”. El IV era para construcciones para guardar materiales o equipos costosos o necesarios, como almacenes, elevadores de granos, etc., incluyendo también construcciones que al fallar podían poner en peligro a otras de éste tipo. El V correspondía a residencias de lujo; el VI a cualquier construcción usada como habitación para pocas personas y el VII y VIII a construcciones que no ocasionarían en general daños a seres humanos o a estructuras.

Las fuerzas sísmicas se obtenían multiplicando el peso total de la estructura, incluyendo cargas vivas y muertas, arriba del nivel que se considerara, por un coeficiente sísmico que valía 0.10 para estructuras tipo

I, 0.05 para las de tipo II, 0.025 para las de tipo III a VI, 0.01 para las de tipo VII y 0 para las de tipo VIII. No se tomaba en cuenta el tipo de terreno en que se construían, ni tampoco el incremento de las aceleraciones en niveles superiores, provocando por la flexibilidad de la estructura, esto es, se suponía aceleración constante en elevación.

Con excepción de las estructuras para lugares de reunión, sólo se exigía la presentación de cálculos sobre sismos para edificios cuya altura fuera de más de 16 m. o de dos veces la menor dimensión de la planta.

### Normas de emergencia de 1957

El sismo del 28 de julio de 1957, de magnitud 7.5 en San Marcos, Gro., provocó numerosos daños en las construcciones ubicadas en la zona de terrenos blandos de la Ciudad de México. Después de este sismo se emitieron unas normas de emergencia, en la que los coeficientes sísmicos eran más grandes y dependían del tipo de suelo en que se construyera: firme, de transición o blando, así como del tipo de estructura y de su destino. Se

especificaron también aceleraciones variables con la altura para obtener una envolvente de fuerzas sísmicas más adecuada. Se permitieron estructuras de mayor altura, pero indicando que las de más de 45 m. requerirían un análisis dinámico especial que garantizara su correcta estabilidad.

Los suelos se consideraban blandos o de fondo de lago (tipo A), cuando los estratos de arcilla volcánica altamente compresible y de baja capacidad de carga tenían un espesor de 10 m.; de transición (tipo B) en el caso de formaciones de arcilla de compresibilidad media a baja intercaladas con capas de arcilla volcánica compresible, con espesor total menor a 10 m. y firmes o de lomeríos (tipo C) cuando tenían muy baja compresibilidad y alta capacidad de carga.

Por su uso, los edificios se reagruparon en tres: El A, que incluía los tipos I y II del Reglamento de 1942, el B que abarcaba los tipos III a VI y el C con los tipos VII y VIII. Por su estructuración se estableció una clasificación en tres clases: la 1 para estructuras de concreto o de acero con muros de relleno que contribuyen a aumentar su rigidez, liga y distribuidos adecuadamente; la

2 para construcciones de concreto o de acero que no tienen elementos ajenos a la estructura que contribuyan a aumentar su rigidez. En la modificación de 1956 se clasificaron las mamposterías en cuatro tipos principales, según los materiales empleados, los cuidados al construirla y si son calculados específicamente para resistir movimientos sísmicos o no.

### Reglamento de 1966

En 1957 la Torre Latinoamericana tenía unos dispositivos para medir el desplazamiento relativo entre niveles. El desplazamiento relativo entre la planta baja y el primer nivel permitió estimar que el coeficiente sísmico en el temblor del 28 de julio, para este edificio, fue de 0.04 g.

En este reglamento se modificaron varios aspectos de las normas de emergencia anteriores. Los tipos de suelo se redujeron a dos, incorporando la zona de transición al suelo blando. Los grupos de edificios, por su destino, se modificaron:

Grupo A: edificios gubernamentales y de servicios públicos (plantas de bombeo,

centrales eléctricas y telefónicas, estaciones de bomberos y otros); aquellos cuyo funcionamiento es especialmente importante a raíz de un temblor (como hospitales); aquellos cuyo contenido es de gran valor (como museos) y aquellos con área total construida superior a 400 m<sup>2</sup>, donde existen frecuentemente aglomeración de personas (como escuelas, estadios, salas de espectáculos, templos, estaciones, terminales y similares)

Grupo B: construcciones para la habitación privada o de uso público donde no existe frecuente aglomeración de personas; cercas cuya altura exceda los 25 m., construcciones para guardar materiales y equipos costosos y aquellas cuyas fallas puedan poner en peligro a otras construcciones de este grupo o del A.

Grupo C: construcciones aisladas cuya ejecución no exija la intervención del director responsable de obra y cuya falla por temblor no pueda normalmente causar daños a estructuras de los dos primeros grupos, a seres humanos o materiales o equipos costosos.

En la estructuración se hizo una

clasificación en tres tipos; el primero incluía estructuras que se deforman básicamente por flexión de los miembros estructurales al ser sometidas a cargas laterales, como los marcos rígidos. Se incluían también en este tipo de construcciones una altura máxima de 7 m ó 2 pisos. La estructuración tipo 2 comprendía aquellas estructuras cuyas deformaciones ante la acción de cargas laterales son debidas esencialmente a esfuerzo constante o a fuerza axial en los miembros estructurales, como los edificios soportados por muros de carga o los marcos que no cumplen los requisitos del tipo 1. El tercer tipo de estructuración era el correspondiente a tanques elevados, chimeneas y construcciones soportadas por una sola hilera de columnas orientada perpendicularmente a la dirección que se analiza o cuyas columnas no estén ligadas con los distintos niveles por elementos rígidos y resistentes capaces de distribuir las fuerzas horizontalmente adecuada.

Los coeficientes sísmicos especificados para estructuras del grupo B eran los siguientes:

| Tipo de Estructuración | Zona de alta compresibilidad | Zona de baja compresibilidad |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1                      | 0.06                         | 0.04                         |
| 2                      | 0.08                         | 0.08                         |
| 3                      | 0.15                         | 0.1                          |

Para estructuras del grupo A estos valores se multiplican por 1.3 y para las del grupo C no se requería diseño por sismo.

### Reglamento de 1976

Para este reglamento fue aprobada una nueva versión con modificaciones importantes en la forma y contenido. En cuanto a la forma, se adicionaron al cuerpo del reglamento una serie de normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, de madera, de concreto, reforzado o de acero, además de normas técnicas complementarias para el diseño y construcción

de cimentaciones y para el análisis por viento. Las normas de diseño sísmico se conservaron dentro del título cuarto del reglamento: Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras, pero sufrieron modificaciones importantes con respecto a la versión anterior.

Se volvió a zonificar el Distrito Federal en tres tipos de suelo: blando, de transición y firme, pero cambiando los espesores de material compresible correspondientes; se consideraban terreno blando cuando el espesor de los estratos compresibles era mayor a 20.; de transición con espesores compresibles variando entre 3 y 20 m. y firme cuando había 3 m. o menos de material compresible sobre los estratos resistentes. Se especifican coeficientes sísmicos elásticos de 0.24, 0.20 y 0.16 veces la gravedad para los terrenos blandos, de transición o firmes respectivamente, pero se reconoció por primera vez, de manera explícita, la ductilidad que pueden desarrollar las estructuras. La reducción por ductilidad dependía del material empleado, siendo mayor para estructuras de acero que para las de mampostería u otros materiales frágiles; del tipo de estructuración y de los cuidados al detallar la estructura.

Un cambio muy importante entre los reglamentos de 1966 y de 1976, se relaciona con la manera de calcular los desplazamientos que sufriría la estructura bajo el sismo de diseño. En el primero se calculaban los desplazamientos relativos entre dos niveles consecutivos con las fuerzas especificadas y se comparaban con valores permisibles de 0.002 veces la altura entre esos niveles. En el reglamento de 1976, al reconocer que la ductilidad permitía reducir las fuerzas de diseño, comportándose inelásticamente la estructura bajo el sismo de diseño, se vio que no era posible mantener el cálculo de los desplazamientos con el mismo criterio, pues al salir la estructura del intervalo del comportamiento elástico, los desplazamientos se incrementarían considerablemente, por lo que se especificó que los desplazamientos calculados con las fuerzas reducidas debían multiplicarse por el factor de reducción por ductilidad que se hubiera empleado, para obtener los desplazamientos de la estructura bajo el sismo de diseño. Los coeficientes sísmicos reducidos, de acuerdo con el reglamento de 1976, resultaban iguales a los de algunas estructuras en el reglamento de 1966, pero los desplazamientos no, ya que éstos eran, con el nuevo reglamento, 4 veces más grandes que con el anterior.

## Normas de emergencia de 1985

El sismo del 19 de septiembre de 1985 y su réplica al día siguiente obligaron a emitir unas modificaciones de emergencia que debían emplearse en los proyectos de reparación de todas aquellas construcciones dañadas por estos sismos, así como en construcciones nuevas ubicadas en la zona de terreno blando y de transición.

Entre las modificaciones más importantes se encontraban: el incremento de los coeficientes sísmicos-elásticos, a 0.40g. en la zona blanda y a 0.27g. en la zona de transición, conservándose los valores de la zona firme sin cambio. Asimismo las aceleraciones del terreno se cambiaron a 0.10g. y 0.054g. respectivamente.

En el diseño de columnas se modificó el factor de reducción de resistencia de 0.75 a 0.50, cuando se empleen factores de reducción por ductilidad mayores que 2, con objeto de tratar de evitar en el futuro la gran cantidad de fallas de columnas observadas en esta ocasión. Además, la dimensión mínima de columnas se fijó en 30 cm. y se aumentaron los requisitos para refuerzo transversal.

Por otro lado y tomando en cuenta que varias de las fallas se debieron aparentemente a sobrecarga de las estructuras, se aumentó al doble la carga viva que debe de considerarse en la valuación de fuerzas sísmicas, de 90 kg/m<sup>2</sup> a 180 kg/m<sup>2</sup> para edificios de oficinas.

La altura máxima para edificios en que es válido el método estático simplificado se redujo de 13 m. a 8.5 m., cambiándose los valores de los coeficientes sísmicos reducidos para este caso.

Se exigía que los marcos fueran capaces de absorber cuando menos el 50% de la fuerza cortante que les tocaría si estuvieran solos cuando el sistema estructural incluye muros o contravientos; además se incluyeron restricciones adicionales para estructuras de acero y de concreto.

Se incluyó la limitación de que el máximo valor de excentricidad calculada en cualquier nivel no debe exceder del 20% de la mayor dimensión de la planta medida perpendicularmente a la dirección de análisis.

Se incluyeron algunas normas sobre

diseño de pilotes, sobre daños por hundimientos diferenciales, sobre separación en colindancias, detallado de las conexiones entre miembros estructurales, inspección supervisión.

### Reglamento de 1987

Entre los aspectos más sobresalientes de esta versión están los siguientes:

La clasificación de estructuras por su destino se redujo a dos tipos eliminando el C, aunque el Grupo B se subdividió en 2, B1 y B2, según altura y superficie cubierta y zona donde se construirá.

La zonificación del Distrito Federal con respecto a tipo de suelo se revisó y redefinió. En algunas partes de las zonas II y III, de terreno de transición y blando se introdujeron requisitos más severos.

Con respecto a los proyectos arquitectónicos se estableció la necesidad de contar, de preferencia, con una estructura regular para reducir los efectos sísmicos. Se dan también normas sobre acabados

y elementos no estructurales que pueden afectar el comportamiento sísmico de la construcción.

Se mantiene la modificación en cargas vivas para oficinas, diferenciándolas de las cargas vivas para habitación. Se dan reglas claras para el tratamiento de muros divisorios, incorporándolos a la estructura desde el proyecto o desligándolos de ella para que no obstruyan sus deformaciones cuando no contribuyan a la resistencia y rigidez, sujetándolos adecuadamente y de preferencia haciéndolos a base de materiales débiles o muy flexibles en este caso.

Los coeficientes sísmicos de las normas de emergencia para la zona de transición se aumentaron, subiendo a 0.32g. en vez de 0.27g. Los de zona firme y blanda quedaron en 0.16g. y 0.40g. respectivamente. Para estructuras del grupo A el factor de incremento en los coeficientes es de 1.5 en vez de 1.3 del reglamento de 1976.

La separación entre cuerpos de un mismo edificio o entre edificios adyacentes debe ser igual a la suma de sus desplazamientos horizontales calculados (sin reducir las

fuerzas sísmicas) incrementados en 0.001, 0.003 o 0.006 de la altura del nivel de que se trate, sobre el terreno, en las zonas I, II o III respectivamente.

Los factores de reducción por ductilidad cambiaron su nombre a factores de comportamiento sísmico. Asimismo, se mantuvo la obligación de denunciar los daños que tenga una estructura por efecto de sismo, viento explosión, sobrecargas, hundimientos diferenciales, debiéndose elaborar el dictamen técnico en función del cual la estructura podrá dejarse como esté o deberá ser reparada.

Un aspecto importante en el proyecto y construcción de los edificios del Grupo A y del Subgrupo B1 es la necesidad de contar, además del Director de la Obra, con un corresponsable de la seguridad estructural, quien deberá revisar que se hayan hecho los estudios necesarios para el proyecto de estructura y cimentación, y revisará los materiales que se emplearán; asimismo vigilará que la construcción se haga de acuerdo con esos proyectos, y que la construcción de las instalaciones no afecte a los elementos estructurales.

En el caso de estructuras de concreto reforzado, un cambio importante consistió en establecer dos calidades de concreto, debiendo emplearse la mejor, que requiere control importante en la selección de materiales y en la fabricación, en estructuras de los Grupos A y B1. Se hicieron también, ajustes en los factores de reducción de resistencias y en los requisitos de detalle para lograr ductilidad en marcos rígidos. En el caso de estructuras de acero el diseño se hará ahora con base en cargas y resistencias últimas en vez de emplear esfuerzos permisibles como antes.

### Reglamento de 2004

#### Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo

Entre los aspectos más sobresalientes de esta versión están los siguientes:  
Muros divisorios, de fachada y de colindancia

a) Muros que contribuyen a resistir fuerzas laterales se ligarán adecuadamente a los marcos estructurales o castillos y dalas en

todo el perímetro del muro; su rigidez se tomará en cuenta en el análisis sísmico. Los castillos y dalas de estos muros, a su vez estarán ligados a los marcos. Se verificará que las vigas o losas y columnas resistan la fuerza cortante, el momento flexionante, las fuerzas axiales y, las torsiones que induzcan los muros en ellas. Se verificará, asimismo, que las uniones entre elementos estructurales resistan dichas acciones.

b) Muros que no contribuyan a resistir fuerzas laterales, se sujetarán a la estructura de manera que no restrinjan la deformación de ésta en el plano del muro, pero a la vez que se impida el volteo de estos muros en dirección normal a su plano. Preferentemente estos muros serán de materiales flexibles.

### Zonificación

Se consideran las Zonas del Distrito Federal I, II y III. Adicionalmente, la zona III se dividirá en cuatro subzonas ( IIIa, IIIb, IIIc y IIId).

- Clasificación de las construcciones

Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por

contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia.

**Grupo B:** Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industrias no incluidas en el Grupo A, las que se dividen en:

- a) Subgrupo B1: Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6000 m<sup>2</sup> de área total construida, ubicadas en la zona I y II, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3000 m<sup>2</sup> de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo: acceso y escaleras, incluyendo las áreas de anexos;
- b) Edificios que tengan locales de reunión que puedan alojar más de 200 personas, templos, salas de espectáculos, así como anuncios autosoportados, anuncios de azotea

y estaciones repetidoras de comunicación celular y/o inalámbrica, y

c) Subgrupo B2: Las demás de este grupo.

El coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas como del grupo B, se tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en las zonas IIIa y IIIc, 0.45 en la IIIb y 0.30 en la III d. Para las estructuras del grupo A se incrementará el coeficiente sísmico en 50%.

- **Combinación de acciones**

Se verificará que tanto la estructura como su cimentación resistan los momentos flexionantes, fuerzas cortantes y axiales, momentos torsionantes de entepiso y momentos de volteo inducidos por sismo.

- **Separación de edificios colindantes**

Toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50 mm, ni menor que el desplazamiento horizontal calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0.001, 0.003 o 0.006 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno, en las zonas I, II o III, respectivamente.

- Elección de tipo de análisis

Según sean las características de la estructura de que se trate, ésta podrá analizarse por sismo mediante el método simplificado, el método estático o uno de los dinámicos.

### 1. Método simplificado de análisis

El método simplificado será aplicable al análisis de edificios que cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

En cada planta, al menos el 75% de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante los monolíticos u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales.

Los muros podrán ser de mampostería, concreto reforzado, placa de acero, o de madera.

La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0.

La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5 y la altura del edificio no será mayor de 13 m.

Se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo. Se verificará únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho entrepiso; empleando los coeficientes sísmicos reducidos que se establecen en la siguiente tabla para construcciones del grupo B. Tratándose de las clasificadas en el grupo A estos coeficientes habrán de multiplicarse por 1.5. (ver tabla 4).

| Zona     | Muros de concreto o de mampostería de piezas macizas |             |              | Muros de mampostería de piezas huecas |             |              |
|----------|--|-------------|--------------|---------------------------------------|-------------|--------------|
|          | Altura de construcción, m                            |             |              | Altura de construcción, m             |             |              |
|          | Menor de 4   | Entre 4 y 7 | Entre 7 y 13 | Menor de 4                            | Entre 4 y 7 | Entre 7 y 13 |
| I        | 0.07   | 0.08        | 0.08         | 0.10                                  | 0.11        | 0.11         |
| II y III | 0.13   | 0.16        | 0.19         | 0.15                                  | 0.19        | 0.23         |

Tabla 4. Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B.

Fuente: Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004.

## 2. Análisis estático

Puede utilizarse el método estático para analizar estructuras regulares, de altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no más de 20 m. Para edificios ubicados en la zona I, los límites anteriores se amplían a 40 m y 30 m. Con las mismas limitaciones relativas al uso del análisis estático, para estructuras ubicadas en las zonas II o III también será admisible emplear los métodos de análisis, en los que se tienen en cuenta los periodos dominantes del terreno en el sitio de interés y la interacción suelo-estructura.

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un

conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a la altura de la masa en cuestión sobre el desplante.

## 3. Análisis dinámico

Los métodos dinámicos pueden utilizarse para el análisis de toda estructura. Se aceptarán como métodos de análisis dinámico el análisis modal y el cálculo paso a paso de respuestas

a sismos específicos:

#### a)Análisis Modal

Cuando en el análisis modal se desprece el acoplamiento entre los grados de libertad de traslación horizontal y de rotación con respecto a un eje vertical, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.4 segundos, pero en ningún caso podrán considerarse menos de los tres primeros modos de vibrar en cada dirección de análisis, excepto para estructuras de uno o dos niveles.

#### b)Análisis paso a paso

Si se emplea el método de cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos, podrá acudirse a acelerogramas de temblores reales o de movimientos simulados, o a combinaciones de éstos, siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre sí, y que se tenga en cuenta el comportamiento no lineal de la estructura y las incertidumbres que haya en cuanto a sus parámetros.

## Soluciones

Se planteó formular normas para regular las actividades del constructor y su interacción con el proyectista; garantizar la existencia de una supervisión técnica que se lleve a cabo de manera independiente de la administrativa; desarrollar nuevos procesos y tecnologías de construcción; mejorar la educación del constructor así como su concientización.

Los temas que necesitan más investigación se pueden agrupar en: riesgo sísmico, zonificación, y microzonificación; respuesta no lineal y comportamiento estructural; interacción suelo-estructura; análisis de estructuras mixtas, tales como puentes, túneles, losas postensadas, miembros de acero de alma abierta. También se mencionan problemas de evaluación y refuerzo de estructuras existentes, comportamiento de mampostería reforzada y de elementos no estructurales. Además se insiste en la necesidad de establecer criterios claros de diseño para sistemas con elementos reductores de la respuesta sísmica (disipadores de energía y aisladores de base).

Los disipadores de energía no alteran la entrada energética, que depende básicamente del período fundamental y de la masa del

edificio, manifestando su eficiencia maximizando la energía disipada y disminuyendo la respuesta estructural.

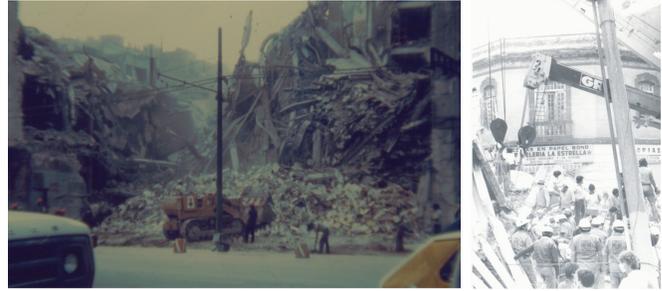
Las estructuras sismorresistentes con disipadores de energía cuentan con 1) un sistema principal que concentra las acciones horizontales, 2) un sistema secundario que soporta la mayor parte de las cargas verticales, 3) elementos de unión entre el sistema primario y el secundario; a mayor rigidez mayor efectividad.

El aislamiento de base es una estrategia de diseño que se fundamenta en el desacoplamiento de la estructura del movimiento del suelo para proteger a ésta del efecto de los terremotos. Se consigue a partir de dispositivos flexibles al movimiento horizontal y rígidos al desplazamiento vertical, situados entre los cimientos y la superestructura. Su presencia alarga el período fundamental del conjunto, con lo cual desacopla de forma parcial la superestructura del movimiento del terreno y limita su entrada energética. Es frecuente la introducción de amortiguamiento estructural para limitar

los desplazamientos de la superestructura a valores aceptables.

El aislamiento de base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos firmes. El principal inconveniente que se presenta en estructuras con una elevada altura-anchura son los elevados momentos de vuelco que pueden suponer la pérdida del equilibrio. Además, al incrementarse la altura las ventajas obtenidas al variar el período de vibración disminuyen.

A mediano plazo, las opciones que parecen viables para mitigar el peligro sísmico, en la ciudad de México, son un proceso de descentralización que inhiba un mayor crecimiento de la ciudad, un estricto y escrupulosamente instrumentado código de normas y procedimientos de construcción, la reglamentación del uso y mantenimiento de los inmuebles, la formulación de un adecuado sistema metropolitano de protección y defensa en caso de catástrofes naturales.



Septiembre 1985. Fotos ICA.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

## **Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias**

Este nuevo Reglamento emitido en febrero del 2004, incorpora importantes innovaciones y numerosos avances en los campos de instrumentación sísmica, sismología y propagación de ondas, estudios del subsuelo y cimentaciones, así como el análisis sobre la respuesta de estructuras bajo la acción de fuerzas sísmicas.

Dentro de los conceptos más sobresalientes del nuevo Reglamento, se encuentran los siguientes:

- **Nueva clasificación del suelo para la Zona III (Zona de Lago)**

De los estudios de mecánica de suelos y geotécnica realizados después del sismo de 1985, se determinó que la Zona de Lago tiene características diferentes en su entorno, debidas principalmente a las variaciones en los espesores de los estratos de arcilla y en los períodos dominantes del suelo, generando importantes amplificaciones de las ondas sísmicas, que sacuden a las edificaciones de una manera mucho más violenta que en el resto de la Ciudad; por ello en el nuevo

Reglamento esta zona se subdivide en cuatro sub-zonas, incorporando sus coeficientes sísmicos para cada una de éstas.

- **Estructuras Irregulares**

Se han considerado las diferencias significativas en la geometría de las estructuras, tanto en elevación como en planta y los cambios bruscos en la rigidez y en el peso de las estructuras de un entrepiso a otro. Las estructuras irregulares son diseñadas con procedimientos más rigurosos y se establecen requisitos de mayor refuerzo para evitar fallas en ellas.

- **Durabilidad y alta resistencia en concretos**

El desarrollo de la industria de la construcción ha demandado concretos de alta resistencia y más durables. En este nuevo Reglamento se agrega el diseño de las edificaciones por durabilidad y se considera el uso de concretos de alta resistencia, lo que significa un ahorro en la dimensión de los elementos estructurales, además de una mayor resistencia a las

acciones del medio ambiente y menores requerimientos de mantenimiento.

- **Estructuras con disipadores de energía**

La limitación de espacios para la construcción en la Ciudad de México, ha obligado a que las estructuras se diseñen cada vez con mayor altura, por lo que se han debido desarrollar dispositivos que permitan garantizar la seguridad de las construcciones ante los movimientos ocasionados por los sismos. Los disipadores de energía, son dispositivos que forman parte de la estructuración, que al deformarse absorben gran parte de la energía producida por los efectos sísmicos, reduciendo los posibles daños a las edificaciones.

- **Elementos postensados o de presfuerzo**

Para satisfacer necesidades de espacio en las edificaciones, se han aplicado con éxito procedimientos constructivos como las losas postensadas con tendones no adheridos o elementos estructurales prefabricados, ya sean de presfuerzo o no, lo que ha permitido incrementar en forma significativa los claros de las estructuras y reducir los tiempos en la ejecución de las obras.

- **Especificaciones de armado en estructuras de mampostería**

La proliferación de piezas de mampostería con diferentes formas geométricas, así como de paneles constituidos por malla de alambre cubierta con mortero, ha dado origen al desarrollo de estudios e investigaciones, que incluyen ensayos de edificaciones a escala, obteniendo como resultado nuevos criterios de amarres y anclajes en estos elementos, garantizando un adecuado comportamiento ante cargas verticales y horizontales.

- **Estructuras mixtas de acero y concreto**

Se enriquecen los criterios de análisis y diseño para elementos estructurales compuestos, formados por perfiles de acero que trabajan en conjunto con elementos de concreto reforzado, o con recubrimientos o rellenos de concreto, tales como: columnas, trabes, armaduras y losas.

- **Directores Responsables de Obra y Corresponsables, auxiliares de la Administración**

Para el más estricto cumplimiento y vigilancia de la correcta aplicación de este Reglamento, se incrementan las obligaciones de los Directores Responsables de Obra y

Corresponsables, estableciendo sanciones más severas, tanto administrativas como pecuniarias, a aquellos que infrinjan las disposiciones que establece el citado ordenamiento.

- **Riesgo de incendio en edificaciones**

Se establecen los requisitos mínimos necesarios con que deben contar las edificaciones, clasificándolas en función del grado de riesgo de incendio de acuerdo a sus dimensiones, uso y ocupación.

- **Requerimientos arquitectónicos para el libre tránsito de personas con discapacidad.**

Se incluyen los requerimientos arquitectónicos mínimos en materia de accesibilidad y desplazamiento para personas con discapacidad, en espacios privados y públicos; conteniendo croquis a detalle de cada una de las necesidades de circulación y elementos de comunicación, tanto en las edificaciones como en la vía pública.

- **Posibilidad de actualización oportuna**

En el Reglamento están considerados los conceptos de orden general para el diseño estructural de las edificaciones;

las particularidades de carácter técnico son concentradas en las Normas Técnicas Complementarias, lo cual permite su actualización con oportunidad, conforme a los avances técnicos e investigaciones que se lleven a cabo.

Desde una perspectiva histórica, un código por sí solo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los reglamentos establecen requisitos **MÍNIMOS**, los que a su vez experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por sismos. La ductilidad y flexibilidad estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan mas severos que los anticipados por el diseño. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes, es por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elementos o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas, se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y abajo de la sección como resultado de las cargas alternadas.

Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En los nodos (viga-columna) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

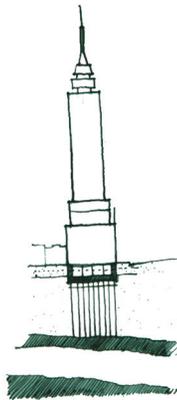
### • Nota de interés

La Torre Latinoamericana se inauguró en 1956, un año antes de que un sismo de más de 7.5° en la escala de Mercalli golpeará la Ciudad de México. El Ángel de la Independencia se vino abajo, pero ella no.

En 1985, el sismo de 8.1° en la escala de Richter, derrumbó a cientos de edificios, pero la Torre Latinoamericana permaneció en pie. Este edificio diseñado por ingenieros y arquitectos mexicanos, tiene una cimentación única en su tiempo, 364 pilotes de concreto y acero, enterrados a 33 metros y asentados

en una capa firme del suelo, sostienen la estructura, además de un cajón de concreto como base. Aprovechando el terreno fangoso sobre el cual fue construido, que mantiene a este edificio de 187 metros de altura, ileso de sismos.

La Torre Latinoamericana funciona como un barco, en un principio de flotación. Este principio de flotación permite cargar parte del peso del edificio por el empuje del agua, que es el principio hidráulico que tiene el edificio.



Torre Latinoamericana. Croquis Arq. Ávila Méndez

MÉTODO DE  
TRABAJO

V



## Objetivos

- Recopilación de la información correspondiente al sismo del 19 de septiembre de 1985 y su réplica del día siguiente en la Ciudad de México.
- Conocer cómo eran estos edificios antes del sismo y analizar en lo que se han convertido estos espacios.
- Realizar una exposición en donde se muestre a la comunidad de la Facultad de Arquitectura de la UNAM este proyecto, de una manera clara, instructiva y dinámica.
- Organizar mesas redondas, formadas por expertos en el tema.

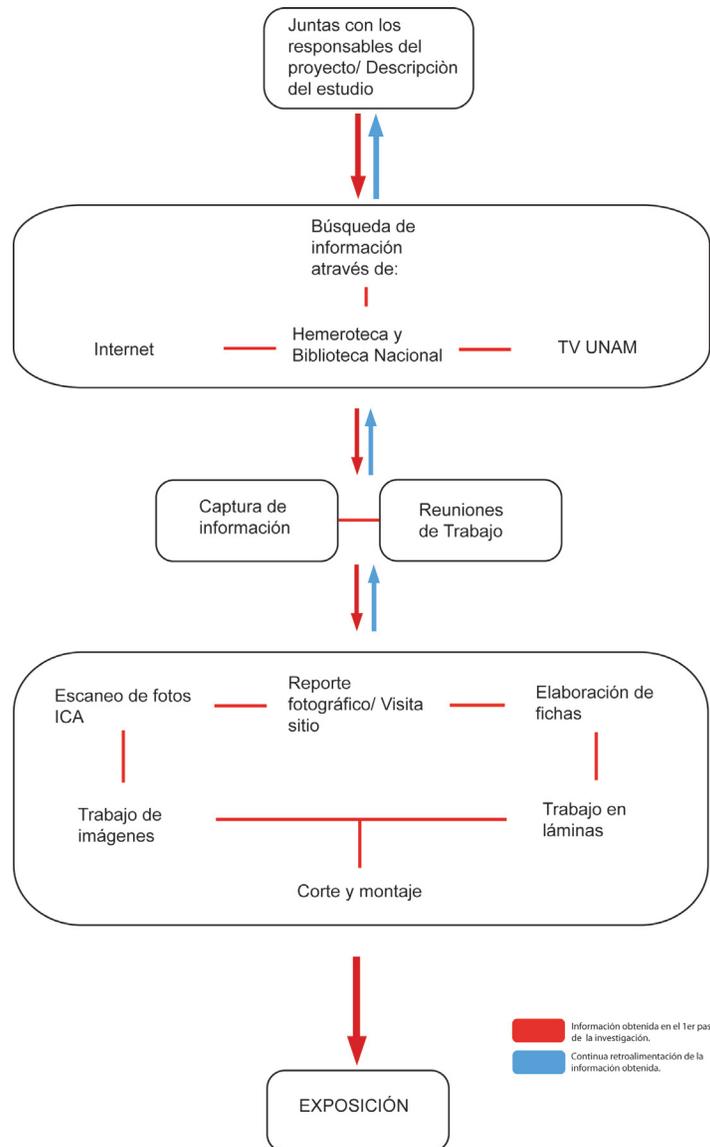
## Metas

- Analizar los daños que sufrieron las construcciones por el sismo.
- Entender los errores que se cometieron y obtener los elementos necesarios para evitarlos en lo sucesivo.
- Señalar que el coeficiente sísmico, que marcaban los anteriores reglamentos de construcción, influyó en el derrumbe de los edificios.
- Averiguar otras razones por las que se desplomaron tantos edificios, y prevenir cualquier situación similar en nuestra práctica profesional.
  - Buscar los sistemas constructivos que se utilizaron en dichas construcciones y realizar las fichas técnicas pertinentes para la elaboración de las láminas de la exposición.
  - Digitalizar y capturar la información para compartirla y discutirla en las juntas de avances.

## Investigación

- Revisión de información escrita en libros, revistas, periódicos y folletos.
- Se examinaron los videos realizados por TV UNAM acerca de los sismos
- Se visitaron los sitios en los que se encontraban el edificio Nuevo León en Tlatelolco, el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) en Av. Juárez y Humboldt y del Centro Urbano Presidente Juárez en la colonia Roma.
- Se tomaron fotografías de estos lugares y se hizo un estudio comparativo con imágenes registradas antes y después del sismo.
- Se reprodujeron, en las oficinas de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), las fotos y imágenes de las construcciones más deterioradas y destruidas en la ciudad de México.
- Con la información escrita y en imagen se realizaron fichas técnicas y láminas de presentación.

## Esquema de análisis de investigación



## **Actividades**

- **Reuniones de trabajo con los responsables del proyecto**
- **Biblioteca y Hemeroteca Nacional**

Se planteó un calendario, se distribuyó el material a investigar y se establecieron las metas a realizar a corto y largo plazo.

Se analizaron todas las zonas donde estuvieron los edificios en donde ocurrieron las mayores pérdidas materiales y humanas, y el estado actual de los que sobrevivieron al sismo, por medio de levantamientos fotográficos.

En cada junta se revisaron: los avances obtenidos, las imágenes, los resúmenes, las listas, las dudas, y se obtuvo con claridad la información necesaria.

Se recopiló una gran cantidad de información originada por diferentes instancias a lo largo de 20 años y recopilada en la Biblioteca y Hemeroteca Nacional: libros, revistas, tesis, monografías y microfilms.

- **TV UNAM**

Se solicitó la información que TV UNAM filmó de los sismos del 85.

Se revisaron los videos de los antecedentes y de los orígenes, que generan los movimientos de las placas tectónicas, y su repercusión en la Ciudad de México.

Se obtuvieron dos programas: "Cuatro días después" y "S 8.5 Sismos". Los que fueron proyectados durante la exposición dando una imagen de la Ciudad de México en escombros.

- **Reporte fotográfico**

Se hicieron recorridos y se hicieron larguillos fotográficos de los lugares más dañados por el sismo: el edificio Nuevo León de la Unidad Habitacional Nonoalco Tlatelolco, Paseo de la Reforma Nte 768, entre Manuel González y Flores Magón, el CONALEP, en Av. Juárez y Humboldt y el Centro Urbano Presidente Juárez, en la colonia Roma, logrando así un registro documentado de estos sitios.



Plaza Nuevo León. Unidad Habitacional Nonoalco - Tlatelolco. 2005

Levantamientos fotográficos



Av. Juárez y Humboldt. 2005



Centro Urbano Presidente Juárez. 2005

- **Ingenieros Civiles Asociados (ICA)**

Se obtuvieron imágenes y videos de las construcciones deterioradas y destruidas de los sismos, dentro de las que se encontraban, edificios en el Centro Urbano Presidente Juárez, pasos peatonales en la Calzada de Tlalpan, edificios en San Juan de Letrán y en Tonalá esquina con Colima. Lo que dio una visión de las demoliciones y de las fallas estructurales visibles, junto con el mal estado en que quedaron muchos edificios de gran altura. (Se contó con 41 fotografías)

- **Captura de información y trabajo en imágenes**

Se capturó el material escrito y las imágenes del sismo de 1985.

Se digitalizaron las imágenes de los multifamiliares, presentando el momento en que se terminaron de construir, así como sus sistemas constructivos.

Se mejoro la calidad de las imágenes digitalizadas con el programa Photoshop, y se realizaron croquis explicativos de su sistema constructivo con el programa AutoCAD.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

- **Fotógrafos**

Se solicitó al fotógrafo Francisco Mata, y a sus colaboradores en el periódico "La Jornada", imágenes del sismo ocurrido en el año de 1985.

Como se explica en la imagen de la siguiente página. Se analizaron detalladamente estos puntos, y se intentó encontrar entre los datos obtenidos, un patrón que nos indicara cómo y por qué fallaron estas estructuras.

- **Elaboración de fichas**

Se elaboraron las fichas técnicas de los edificios analizados, bajo los siguientes puntos:

Densidad, intensidad, altura/esbeltez/periodo, alineamiento en relación con la manzana, forma, sistema constructivo, cimentación, historia, reglamentos de construcción, vocación/uso y seguridad civil, junto con el plano de localización.



Unidad Habitacional Nonoalco - Tlatelolco  
(1962-1964)  
Edificio Nuevo León

1. Densidad/Intensidad

300 departamentos  
5 personas/depto  
1500 habitantes en el NL  
628 muertos

2. Altura/Esbeltez/Periodo

13 niveles  
Periodo de vibración 1.8  
 $13 \times 1.2 = 15.3$

3. Alineamiento

Aislado  
Calle: Problemas con los hundimientos

4. Forma

Irregular

5. Sistema Constructivo

Marcos rígidos

#### 6. Cimentación

Hundimientos diferenciales que llevaron a utilizar pilotes de control

#### 7. Historia

En el siglo XIX eran basureros

#### 8. Reglamentos

Construido entre el '62 y '64 con el Reglamento del '57

#### 9. Vocación/Uso

Habitacional

Población de mas de 100,000 habitantes. Estructura de barrio, dotado de comercios y servicios escolares. Dentro de una mayor densidad se propuso la integración de departamentos para diversos estratos económicos, con áreas vitales para distintos tipos de familias.

#### • Láminas

Para su elaboración se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

1. Información significativa y mejor lograda.
2. Claridad y calidad en textos e imágenes.
3. Diseño de láminas para captar la atención del público.
4. En varias reuniones que se tuvieron con la licenciatura de Urbanismo, se generó la base para armar la imagen final de las láminas en la exposición.
5. Conocimiento de los programas Photoshop, Illustrator y AutoCAD.
6. Transmitir "una conciencia del buen construir".





Lámina Centro Urbano Juárez

- **Corte y montaje de las láminas para la exposición**

Se unificaron las dimensiones de las láminas.  
Se rigidizaron y se montaron sobre mamparas.

Se organizó la exposición en el vestíbulo de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, en el mes de septiembre del 2005.

# CONCLUSIONES

VI



## La Exposición "Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después

La realización de la exposición y de las mesas redondas con motivo de los 20 años transcurridos desde los sismos de septiembre de 1985, mostraron de manera gráfica la Ciudad de México y las consecuencias de las distintas fallas constructivas que sufrieron los edificios más significativos; dentro de la zona que fue más afectada, en donde los daños fueron mayores y en algunos casos, como los analizados dentro del sector de vivienda desaparecieron; dejando muy claro las responsabilidades de los profesionales de la construcción y sus reglamentos.

Lo interesante de esta exposición fué llegar a los estudiantes de arquitectura, tratando de dejarles una visión muy clara de lo ocurrido en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985. Ya fuera por las láminas, las películas o las pláticas, la información se compartió y difundió a las personas que van a estar encargadas de construir y edificar la ciudad en un futuro muy próximo.

Creo que el mayor impacto que tuvo en mí, fué el de conocer un evento que veía tan ajeno a mi tiempo, a mi vida profesional,

# 2005

Conjunto D



Desde Avenida Orizaba hacia calle de Huatabampo



Centro Urbano Presidente Juárez. 2005

entendiendo el porque de su importancia. Había que aprender de los errores para no cometerlos de nuevo, creando una conciencia al explicar como y porqué sucedió. El verlo como fué, un gran acumulo de faltas constructivas, que ayudaron a destruir gran parte de la ciudad y cambiarla.

Este trabajo me dejó con más preguntas que respuestas.

¿Qué falló a la hora de actuar? ¿Porqué la gente no recibió la ayuda a tiempo?

La ciudad ya no es la misma, y esta vez se demostró con más claridad que no supo responderle a una población llena de un sentimiento colectivo de solidaridad, que generaba la impotencia y la desesperación ante una ciudad que se mostraba llena de destrucción y de caos.

Viendo en lo que se ha convertido esta ciudad 20 años después, me deja una pregunta más, ¿Podrán resisitir las construcciones el próximo sismo que reciba nuestra gran Ciudad de México?

## Conclusiones

La Ciudad de México es tan extensa que se observan distintas intensidades durante un mismo sismo. Puede ser destructivo en una zona y apenas percibirse en otras. La razón de esto, son las condiciones del subsuelo, que se divide en tres grandes zonas: lomas, transición y lago, siendo esta última la más peligrosa por la amplificación de las ondas sísmicas, no obstante su origen lejano de los sismos de subducción en las costas del pacífico.

Por otro lado, los edificios se sustentan gracias a la estructura portante que puede ser: de mampostería, de concreto armado o de acero, materiales contemporáneos y resistentes, les han permitido elevarse cada vez más, pero con esto aumenta el riesgo sísmico.

Las estructuras para resistir la fuerza de gravedad en forma normal (vertical) tienen un grado de dificultad menor que la combinación con los empujes horizontales que producen los movimientos sísmicos que las someten a un fenómeno vibratorio no armónico, que en el caso de la Ciudad de México, es de gran duración con una fase más intensa.

Los terremotos de 1985 rebasaron, por mucho, los índices de seguridad que, supuestamente eran los adecuados, y que regían las normas de construcción en ese entonces.



Septiembre 1985. Fotos ICA.

Los sismos de 1985, dejaron en México una lección sobre la falta de responsabilidad en lo que se refiere a la construcción de la Ciudad de México.

Manifestaron un panorama muy claro entorno a las consecuencias de una arquitectura que no cumplía, o que lo hacía de una manera muy limitada, con las especificaciones del Reglamento de Construcción.

La Ciudad de México sufrió, sobre todo en vivienda, hospitales y escuelas, (ya sin mencionar los edificios de las diferentes dependencias laborales), que son la parte fundamental de la vida en la ciudad. Falló en lo más básico, con lo que se debe contar en una ciudad de las dimensiones de ésta, para crear condiciones de vida aceptables.

Se dio muy poco interés al inmueble y a la calidad del mismo, preocupados más por encontrar materiales de bajo costo, que requirieran un bajo mantenimiento y que en algunos casos, no eran los adecuados para el uso, ni para el tamaño de construcciones que desaparecieron en segundos, porque no fueron preparados para aguantar tales movimientos.

El objetivo de despertar una conciencia en el contruir, debe hacerse vigente, en todo momento; para recordar las fallas constructivas que se cometieron, provocando grandes pérdidas humanas y materiales que se generaron en nuestra Ciudad hace mas de 20 años.

La Ciudad de México ya rebasó sus capacidades y su tolerancia en lo que a población e infraestructura se refiere, por lo que si ese crecimiento aún no se puede frenar, lo mínimo que se puede hacer es mejorar con calidad lo que se está construyendo así como verificar que lo que está en pie, certifique las condiciones de vida adecuadas.

Al concluir este trabajo amplié mis conocimientos y mi visión en lo que a construcción y concepción de proyectos se refiere, así como la responsabilidad de ejercer un trabajo que genere, de manera conciente, el buen funcionamiento de los lugares y espacios dentro de las ciudades.

“Hay que cuidarse de decirles que a veces ciudades diversas se suceden sobre el mismo suelo y bajo el mismo nombre, nacen y mueren sin haberse conocido, incomunicables entre sí.

En ocasiones hasta los nombres de los habitantes permanecen iguales, y el acento de las voces, e incluso de las facciones; pero los dioses que habitan bajo los nombres y en los lugares se han ido sin decir nada y en su sitio han animado dioses extranjeros.

Es inútil preguntarse si estos son mejores o peores que los antiguos, dado que no existe entre ellos ninguna relación, así como las viejas postales no representan a Maurilia como era, sino a otra ciudad que por casualidad se llamaba Maurilia.”

Italo Calvino<sup>i</sup>

Dentro de “Repentina” (octubre 2005), la arq. Virginia Barrios Fernández escribió:

### **19 de septiembre de 1985-2005**

“No por casualidad he querido evocar a Las ciudades invisibles de Italo Calvino en esta reflexión sobre lo que ha pasado en la Ciudad de México 20 años después del sismo del 85, sino porque también como paradoja del destino, Italo Calvino murió el mismo 19 de septiembre en que la Ciudad de México despertaba con aquel movimiento que nos sacudió a todos. En las ciudades invisibles no se describe ninguna ciudad que podamos identificar, son todas producto de la imaginación, pero si quisiéramos hacer un esfuerzo de imaginación, en cada una de sus descripciones podríamos evocar a la Ciudad de México.

<sup>i</sup> Calvino, Italo. Las ciudades invisibles

¿Qué es hoy la ciudad para nosotros? Esa es una pregunta sobre la que como profesionales del “hacer ciudad” debemos tener presente, así las ciudades del deseo, de la memoria, de los signos todas esas ciudades imaginadas adquieren sentido ante nuestros ojos.

Para muchos de nosotros las imágenes del sismo del 85 todavía se nos presentan a la memoria, pero gran parte de los estudiantes de esta Facultad no tenían la edad suficiente para recordar aquel terrible día, por eso creo importante aprovechar este espacio para mostrar algunas fotografías que permitan que esas imágenes no se pierdan en la memoria y podamos construir hacia delante, donde el pasado no sea sólo una historia sin nuestra historia.

“El infierno de los vivos no es algo que será; hay uno, es aquel que existe aquí, el infierno que habitamos todos los días, que formamos estando juntos: Dos maneras hay de no sufrirlo. La primera, es fácil para muchos: aceptar el infierno y volverse parte de él hasta el punto de no verlo más. La segunda, es peligrosa y exige atención y aprendizaje continuos: buscar y saber reconocer quién y qué, en medio del infierno, no es infierno, y hacerlo durar y darle espacio.”

Los habitantes de la ciudad de México supimos aquel día reconocer quién y qué no era infierno y esa amarga experiencia se transformó en una dura lección, como profesionales de la arquitectura nuestra tarea hoy es recuperar lo poético y la esencia de la arquitectura como la creadora de una hábitat que permita devolverle a la ciudad su dimensión humana, un espacio de vida donde los deseos y la memoria se fundan en nuestra imaginación.”



# BIBLIOGRAFÍA

VII



## Bibliografía

1. VÁSQUEZ VERA, Alejandro. La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985.  
Ed. Fundación ICA  
Series: Cuadernos FICA, 24
2. ROCHA ISLAS, Martha; TOSTADO GUTIÉRREZ; Marcela; TUÑÓN PABLOS, Enriqueta. Una ciudad destruída: apuntes para la reconstrucción de su historia  
Ed. INAH, 1987  
Dirección de estudios históricos
3. TORRES DE VERA, Guadalupe. El Terremoto 1985
4. Terremoto de septiembre  
Ed. Fondo de Cultura Económica  
Presidencia de la República, Unidad de la crónica Presidencial
5. AGUILAR ZINZER, Adolfo; MORALES, Cesáreo; PEÑA; Rodolfo. (Eds.) Aún tiembla: sociedad política y cambio social: el terremoto del 19 de septiembre de 1985
6. Fundación ICA, a.c. Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985  
Ed. Limusa, 1988

7. NOELLE, Louise. Mario Pani  
CONACULTA, 2000
8. BURIAN; Edgard R. (ed). Modernidad y Arquitectura en México  
GG, 1997
9. PANI, Mario. Los Multifamiliares de Pensiones  
Ed. Arquitectura, 1952
10. ÁVILA MÉNDEZ, José Arq. Apuntes sobre el sismo
11. Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de Salud  
Organización Panamericana de la Salud (OPS) 1999
12. AMBROSE, JAMES. Estructuras  
Ed. Limusa, 1998
13. W.T. MARSHALL y H.M. NELSON. Estructuras  
Representaciones y servicios de Ingeniería, S.A., 1982
14. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal  
Arnal, Ed. Trillas. 2004
15. Facultad de Arquitectura. Repentina  
UNAM. Octubre 2005
16. [www.jornada.unam.mx](http://www.jornada.unam.mx)
17. [www.desastres.org](http://www.desastres.org)
18. [www.todoarquitectura.com](http://www.todoarquitectura.com)
19. [www.desastres.cies.edu.ni](http://www.desastres.cies.edu.ni)
20. [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)