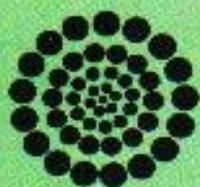


**INVESTIGACION**  
**para**  
**APRENDER**  
**de los sismos de**  
**SEPTIEMBRE**  
**1985 en**  
**MEXICO**



CONACYT

**México**



**EUA**

# INVESTIGACION PARA APRENDER DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE 1985 EN MEXICO

Informe técnico preparado por  
comités conjuntos del

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
(México)



y el  
NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
(EUA)



Enero de 1986

# **DEDICATORIA**

A todos los que han trabajado arduamente para librar a México de la amenaza de los terremotos y a la memoria de los miles que perecieron porque aún hay mucho que aprender sobre la atenuación de los peligros sísmicos.

# PROLOGO

Este informe fue preparado conjuntamente por dos grupos de expertos, uno de los Estados Unidos y otro de México, como parte del Programa de Cooperación Científica y Técnica establecido entre los gobiernos de los dos países. Por México, el grupo fue convocado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del Dr. Daniel Reséndiz, secretario general. Por los Estados Unidos, el grupo fue reunido por el Committee on Earthquake Engineering (CEE), Commission on Engineering and Technical Systems, del National Research Council, grupo operativo de la National Academy of Sciences (NAS) y la National Academy of Engineering (NAE), encabezado por el profesor George W. Housner, del California Institute of Technology, como presidente, y por el Dr. Riley M. Chung como director.

El 16 y 17 de diciembre de 1985 tuvo lugar una reunión conjunta de los grupos en la ciudad de México. El CONACYT y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) fueron los responsables de la organización del evento.

El grupo de expertos que participó por los Estados Unidos en esta reunión estuvo formado por Robert V. Whitman (presidente), Christopher Arnold, Jacobo Bielak, James O. Jirsa, Joanne M. Nigg, Roger E. Scholl, Mete A. Sozen y George W. Housner (miembro ex officio). Los representantes de las agencias de los Estados Unidos fueron A.J. Eggenberger y Mike Gaus, de la National Science Foundation (NSF); Richard W. Krimm, de la Federal Emergency Management Agency (FEMA), Y Edgar V. Leyendecker, del National Bureau of Standards.

El grupo de expertos que participó por México estuvo formado por Gustavo Alatorre, de la Comisión Federal de Electricidad (CFE); Luis Esteva, Ovsei Gelman, Roberto Meli, Jorge Prince, Miguel Romo, Emilio Rosenblueth, Sonia Ruiz, Francisco J. Sánchez Sesma y Shri Krishna Singh, de los institutos de Ingeniería y Geofísica de la UNAM; Guillermo Guerrero, de la firma DIPLASA; Alfonso Rico, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Francisco Robles, de la Universidad Autónoma Metropolitana, y Daniel Reséndiz, del CONACYT.

# CONTENIDO

I.	Introducción	9
II.	Movimientos del terreno	11
III.	Problemas geotécnicos y de cimentación	13
IV.	Respuesta y comportamiento de estructuras	17
V.	Ingeniería de redes de infraestructura	19
VI.	Restablecimiento y reparación	23
VII.	Respuesta al desastre y mitigación	25
VIII.	Problemas arquitectónicos: configuración de los edificios, elementos no estructurales y equipamiento	29

# INTRODUCCION

# I

Todos los terremotos, cual sea el territorio en que ocurran, dan oportunidad de adquirir información aplicable a la atenuación de los peligros de eventos similares en otros países. Observar y aprender de los trágicos experimentos a que somete la naturaleza a edificios, estructuras e instalaciones industriales, y de los procedimientos que la sociedad sigue en respuesta a la emergencia, son acciones necesarias para mejorar la práctica dirigida a la reducción de los peligros que acarrearán los terremotos.

Esto es especialmente cierto en el caso del sismo que sacudió a México el 19 de septiembre de 1985. Numerosos edificios que habían sido diseñados para satisfacer estrictas normas comparables a las utilizadas en otras partes del mundo, fueron severamente dañados, tanto en la región del epicentro a lo largo de la costa del Pacífico como en la ciudad de México. En ambas áreas existían redes de instrumentos para medir las aceleraciones del terreno, lo que permitió una buena colección de datos sobre tales movimientos y sobre los efectos del suelo local y de las condiciones geológicas. Hubo muchos casos de colapso o severo daño en las estructuras, así como muchos ejemplos de excelente comportamiento. Las redes de infraestructura fueron puestas a prueba. Los procedimientos de respuesta a la emergencia se vieron severamente presionados. En suma, este terremoto fue una prueba integral de las prácticas de atenuación del peligro de los terremotos.

Sacar lecciones de semejante evento es un gran reto. La identificación de los datos disponibles es una tarea crucial, y la compilación de los que adicionalmente se requieran puede resultar un enorme esfuerzo. Se necesitarán análisis detallados para interpretar y comprender esos datos y habrá muchas oportunidades de realizar estudios profundos, dado el número de edificios y otras estructuras severamente sacudidas. La compilación de datos, su análisis y la evaluación de los resultados puede ser de gran beneficio para la cooperación entre investigadores mexicanos y estadounidenses. Sin embargo, se requiere una planeación cuidadosa para identificar las oportunidades más importantes, es decir aquellas que son factibles y que conducirían a lecciones que den resultados de aplicabilidad general.

Este informe es una *agenda* para sacar lecciones del terremoto mexicano, que se preparó para orientar a quienes estén interesados en participar en investigaciones

sobre el tema. El contenido de la *agenda* fue determinado durante una reunión conjunta de expertos de los Estados Unidos y México, en la ciudad de México en diciembre de 1985. El grupo de expertos recurrió a las experiencias de los ingenieros en México; al informe "Impresiones sobre las oportunidades de investigación en torno al terremoto del 19 de septiembre de 1985 en México", preparado por un grupo de reconocimiento de la National Academy of Sciences (NAS) y del Earthquake Engineering Research Institute (EERI) que visitó México durante la semana siguiente al terremoto; el informe "Investigación para prevención y atención de desastres en México", preparado por comités del CONACYT, y las sugerencias sometidas por individuos y organismos diversos como resultado de ambos informes.

El presente documento contiene observaciones, comentarios y tópicos de investigación recomendados en cada una de las siete áreas identificadas como de interés común para ambas naciones. Estas siete áreas son:

- Movimientos del terreno
- Problemas geotécnicos y de cimentación
- Respuesta y comportamiento de las estructuras
- Ingeniería de redes de infraestructura
- Reparación y restablecimiento
- Prevención y atenuación de desastres
- Problemas arquitectónicos: configuración de los edificios, elementos no estructurales y equipos

Inevitablemente existe un cierto traslape entre algunas de estas áreas. La lista no pretende ser restrictiva y se reconoce que existen otros tópicos dignos de estudio.

En México está en proceso una amplia investigación sobre el terremoto y sus efectos. Parte de ella se menciona aquí. En casi todos los casos existe la oportunidad de que investigadores mexicanos y estadounidenses participen en estudios conjuntos y se complementen. También se están realizando grandes esfuerzos en México para compilar y documentar la información que puede perderse con el tiempo, y el grupo de expertos conjunto desea resaltar la importancia de este vital esfuerzo.

# MOVIMIENTOS DEL TERRENO

## II

El terremoto del 19 de septiembre de 1985 produjo movimientos del terreno de gran interés para la ingeniería sísmica. El movimiento en el centro de la ciudad de México fue de duración poco usual, con una aceleración máxima de casi 0.2g y con un periodo dominante de 2 segundos. Este movimiento fue especialmente perjudicial para ciertos tipos de construcciones. Por otra parte, en la región epicentral la intensidad de las aceleraciones fue mucho menor de lo que normalmente se hubiera esperado de un terremoto de esta magnitud. El número y ubicación de acelerógrafos no permitieron registrar la razón de estas características.

La buena comprensión del movimiento del terreno es fundamental para diseñar con economía y seguridad las estructuras e instalaciones en zonas sísmicas. Tal comprensión permitiría anticipar confiablemente los movimientos que pueden esperarse en futuros terremotos de diversas magnitudes. El reciente sismo de México y las sacudidas subsecuentes brindan oportunidad de obtener valiosa información al respecto.

Los siguientes nueve puntos señalan algunas de esas oportunidades de investigación. Cada punto puede contener varios tópicos:

**1. Estudio de los eventos del 19 y 20 de septiembre:** precursores del terremoto del 19 de septiembre; mecanismos de la fuente; caracterización para fines de ingeniería de los movimientos de tierra en campos cercanos y lejanos; causas de las bajas aceleraciones en el campo cercano y relativamente grandes en la ciudad de México.

**2. Estudio de la atenuación y amplificación de las ondas sísmicas en el Valle de México:** desarrollo de una microzonificación del valle; con ese propósito, instalación y operación de instrumentos superficiales y en perforaciones para registrar microsismos y temblores más intensos.

**3. Planeación e instalación de una red de acelerógrafos de gama amplia en el Valle de México** para registrar sucesos futuros y así obtener datos sobre las características e intensidad de los movimientos del terreno en la ciudad de México; en cuanto estén disponibles, suministro de copias de todos los datos registrados a los investigadores interesados; análisis de los datos para explicar los daños observados durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985; uso de los datos para calibrar

modelos del Valle de México.

**4. Evaluación de los procedimientos de simulación de sismos a la luz de los registros** obtenidos de los terremotos del 19 y 20 de septiembre y desarrollo de las mejoras requeridas.

**5. Evaluación de la recurrencia de terremotos importantes**, como el del 19 de septiembre, a lo largo de la costa del Pacífico de México; estimación del peligro sísmico de tales sucesos en el área del epicentro y en la ciudad de México.

**6. Mejoramiento de la red de medición de movimientos a lo largo de la costa** de manera adecuada para obtener datos adicionales en los eventos futuros significativos para fines técnicos.

**7. Comparación de los movimientos del terreno y sus efectos en la ciudad de México** para el terremoto del 19 de septiembre con posibles eventos que se originen en regiones sísmicas más cercanas.

**8. Estudio de la factibilidad social y técnica de un sistema de alerta** para la ciudad de México utilizando, por ejemplo, instrumentos sísmicos a lo largo de la costa.

**9. Diseño e instalación de un arreglo tridimensional denso acelerógrafos** en la ciudad de México para determinar, con fines técnicos, la naturaleza de la propagación de las ondas sísmicas.

# PROBLEMAS GEOTECNICOS Y DE CIMENTACION

## III

Dos aspectos del sismo de México acaecido el 19 de septiembre son de particular importancia para la práctica de la ingeniería geotécnica. Primero, el grado de amplificación del suelo experimentado en grandes porciones de la ciudad de México no había sido observado antes en ninguna gran ciudad; y segundo, como resultado de la intensa sacudida, muchas cimentaciones sufrieron un excesivo hundimiento, inclinación o daño. La magnitud del daño no tiene precedente en la ciudad de México.

Los movimientos del terreno durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985 están entre los más grandes que se han experimentado en la ciudad. De hecho, excepto por los registros obtenidos en un lugar cercano al epicentro, las aceleraciones registradas en la ciudad de México fueron las más grandes dentro de toda el área afectada. Esto es particularmente significativo puesto que la ciudad está ubicada a 400 km. del epicentro.

El factor más importante responsable de este comportamiento fue la amplificación dinámica de las ondas sísmicas incidentes en el lecho sedimentario del viejo Lago de Texcoco. La evidencia de esta amplificación del suelo proviene de acelerómetros localizados dentro de la región lacustre que registraron un máximo de aceleración de aproximadamente 0.2g, con un periodo dominante de cerca de 2 segundos; el valor correspondiente registrado fuera del lecho del lago fue 0.04g. Además del daño en la ciudad de México, asociado principalmente con los suelos arcillosos, ocurrieron también daños por compactación y licuación de arenas a lo largo de la costa del Pacífico, cerca del epicentro.

Claramente, las condiciones del suelo en la ciudad de México son extremas. Sin embargo, existen las mismas condiciones cualitativas y los mismos efectos en otras partes del mundo. Las conclusiones del estudio del sismo de septiembre 19 contribuirán a mejorar la técnica en los Estados Unidos y en otros países.

Para entender mejor las causas y posibles efectos de futuros terremotos tanto en México como en otras partes del mundo se sugieren las siguientes investigaciones:

### **1. Características geológicas y geotécnicas del valle de México**

- Características geológicas y geotécnicas del Valle de México

- Caracterización geológica
- Caracterización estratigráfica
- Estudios geofísicos
- Pruebas de laboratorio para entender mejor el comportamiento de la arcilla de la ciudad bajo cargas cíclicas y sostenidas

## **2. Desarrollo de modelos de comportamiento dinámico del Valle de México**

- La Universidad Nacional Autónoma de México está desarrollando un modelo tridimensional para analizar la respuesta global del Valle; sería deseable la cooperación de investigadores estadounidenses
- Modelos bidimensionales para analizar los efectos de las irregularidades locales
- Comparación de resultados de modelos tridimensionales, bidimensionales y unidimensionales
- Comparación de los movimientos del terreno observados y previstos.

## **3. Efecto de las condiciones e irregularidades locales en el movimiento del terreno**

- Influencia de inclusiones blandas y duras y de estructuras subterráneas en el movimiento del terreno
- Efectos de las variaciones horizontales en las propiedades del suelo sobre el movimiento del terreno

## **4. Relación entre las respuestas a micro y macrotemblores**

## **5. Revisión de la práctica de microzonificación dada la experiencia mexicana**

### **6. Interacción suelo-estructura**

- Efecto de la deformabilidad de la cimentación en la respuesta estructural para los perfiles típicos de suelo y los tipos de cimentación usuales en la ciudad de México, incluyendo el efecto de grandes deformaciones del suelo
- Interacción estructura - suelo – estructura

### **7. Deformación permanente del suelo de cimentación**

- Evaluación en el campo y el laboratorio del comportamiento de la arcilla de la ciudad de México bajo la combinación de cargas cíclicas y sostenidas
- Pruebas de campo en pilotes de fricción bajo cargas cíclicas y sostenidas
- Comportamiento sísmico de pilotes de fricción y pilotes de punta considerando las condiciones de hundimiento regional

### **8. Descripción, inventario y estudio estadístico de daños de cimentaciones.**

El trabajo se realizaría en una primera fase por investigadores mexicanos, pero es posible la participación adicional de investigadores estadounidenses

- Cimentaciones poco profundas
- Cimentaciones compensadas
- Cimentaciones de pilotes

**9. Estudios de caso detallados de cimentaciones con hundimientos o inclinaciones por sismo**

- La selección de los casos se hará con base en la disponibilidad de información relevante
- Casos en que la cimentación fue responsable del daño estructural

**10. Revisión del comportamiento de las cimentaciones en Lázaro Cárdenas y otros lugares dentro de la región epicentral**

- Licuación en carreteras y puentes
- Avería de un muelle, aparentemente como resultado de licuación

**11. Respuesta transitoria y deformación permanente de grandes cortinas de tierra y enrocamiento** instrumentadas en la región del epicentro. Estas cortinas, que se han asentado moderadamente durante terremotos anteriores, experimentaron una deformación adicional durante el sismo de septiembre de 1985.



# RESPUESTA Y COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS

## IV

El comportamiento de las construcciones en la ciudad de México durante el terremoto del 19 de septiembre es de gran interés para la ingeniería. Sufrieron colapso o daños mayores aproximadamente 300 estructuras. Este fue sólo un pequeño porcentaje del número total de construcciones, la mayoría de los cuales subsistieron sin ningún daño estructural importante. El terremoto abrió gran diversidad de posibilidades de investigación cuyos resultados serán de provecho para la ingeniería en México y Estados Unidos.

El objetivo general de la investigación sobre comportamiento estructural es probar y mejorar los métodos de análisis y diseño utilizando los datos de comportamiento estructural que generó el terremoto. El estudio de las construcciones deberá incluir, según proceda, las evaluaciones de los siguientes puntos: efectos de redundancia, el concepto de columna fuerte y trabe débil, el comportamiento de los sistemas estructurales de losa reticular y el impacto de los resultados de todo ello en los códigos de construcción. Se buscará que estén disponibles los planos arquitectónicos y estructurales de algunas construcciones como apoyo para los proyectos de investigación.

Los siguientes tópicos, algunos de los cuales ya se están atacando en México, son apropiados para proyectos de investigación mexicanos, estadounidenses o mexicano - estadounidenses:

- 1. Comportamiento de diversos tipos de edificación** de acero, concreto, madera y precolados.
- 2. Comportamiento de elementos de concreto reforzado** bajo cargas alternantes como las producidas por el terremoto.
- 3. Deterioro de la adherencia de barras de refuerzo** en concreto producido con diversos tipos de agregados.
- 4. Determinación de las propiedades de los elementos estructurales** en ciertas construcciones mediante pruebas no destructivas.
- 5. Comportamiento de construcciones de concreto** con sistemas de losa plana.
- 6. Influencia de la interacción suelo - estructura** sobre la respuesta sísmica de las construcciones.
- 7. Importancia de los efectos  $p-\Delta$**  bajo excitación sísmica.
- 8. Influencia de planta baja débil** sobre la respuesta y el comportamiento de

las construcciones.

**9. Respuesta de torsión** debida a la asimetría de rigideces resultante de la falla de algunos muros de relleno

**10. Estudio estadístico de construcciones** (severamente dañadas, moderadamente dañadas y sin daño) en la ciudad de México.

**11. Correlación de los daños con el movimiento del terreno** y las condiciones del suelo.

**12. Instrumentación de construcciones seleccionadas y sitios de campo** libre para registrar futuros terremotos.

**13. Estudio de estructuras que resistieron bien el terremoto.**

**14. Identificación de sistemas,** análisis y pruebas en construcciones seleccionadas no dañadas severamente; instalación de instrumentos para realizar estudios de identificación de sistemas en construcciones sujetas a futuros terremotos.

**15. Análisis estructural de cierto número de construcciones destruidas o severamente dañadas** por el sismo para determinar si el comportamiento observado pudo haber sido previsto.

**16. Análisis estructural de cierto número de construcciones dañadas moderadamente** para determinar si el comportamiento pudo haber sido previsto.

**17. Efecto de rigidez de la edificación en el comportamiento de las estructuras y contenidos.**

**18. Evaluación del efecto de diversos tipos de muros** de relleno (por ejemplo no reforzados y apuntalados diagonalmente) sobre el comportamiento de las construcciones.

**19. Comportamiento de sistemas de construcción especiales** o poco usuales en la ciudad de México (por ejemplo, sobre rodillos y edificios con pisos colgados de una torre central).

**20. Efectos de choque en el comportamiento** de las construcciones en la ciudad de México (separación de construcciones y juntas de expansión).

**21. Comportamiento de las construcciones que fueron reforzadas** sísmicamente antes del terremoto del 19 de septiembre de 1985.

**22. Evaluación de los efectos de terremotos repetidos** en las construcciones.

**23. Elaboración de un informe conjunto Estados Unidos - México** sobre las conclusiones derivadas del terremoto del 19 de septiembre de 1985 y sus efectos prácticos en el diseño sísmico.

# INGENIERIA DE REDES DE INFRAESTRUCTURA

## V

Las redes de infraestructura de una ciudad incluyen: energía eléctrica, comunicaciones, agua, sistema de alcantarillas, gas y transportes. La interrupción de estas redes por un terremoto puede tener como consecuencia impactos indeseables y agravar severamente la situación de desastre. La vulnerabilidad de las redes aún no se conoce bien y, por consiguiente, es importante aprovechar lo sucedido durante el terremoto para analizar y estudiar tanto los casos de daño como de buen comportamiento de las redes. El terremoto del 19 de septiembre brinda la oportunidad de realizar tales estudios. Los tópicos con mayor cantidad de material potencial para la investigación son los siguientes:

**1. Sistemas de energía eléctrica.** El sistema nacional de generación y transmisión de energía eléctrica no sufrió un daño directo significativo por la sacudida; sin embargo, la mitad de la ciudad de México quedó durante un día sin electricidad, debido a que las construcciones derruidas rompieron los cables. Las subestaciones no sufrieron daño en la ciudad de México.

El diseño del sistema eléctrico mexicano puede señalar normas para porciones de los Estados Unidos donde la aceleración máxima esperada es próxima a 0.2g.

**2. Red de abastecimiento de agua.** El daño a los sistemas de abastecimiento de agua ocurrió principalmente en un acueducto en la parte sur de la ciudad de México y en la red de distribución. Estas averías redujeron el abastecimiento en aproximadamente 20 por ciento. En la red primaria se contaron 167 averías y en la red secundaria 7,200. La mayor parte de las averías se encontraron en las juntas y recodos.

Como resultado del daño substancial observado en las tuberías se formó una comisión para preparar un código de diseño sísmico para el abastecimiento de agua, drenaje y tuberías de gas. Se requiere para esto investigación con el fin de evaluar los efectos de las diferentes condiciones del suelo. El terremoto ha brindado la oportunidad de revisar los métodos para pronosticar la resistencia de las tuberías enterradas. Podrán desarrollarse modelos matemáticos para la simulación del

comportamiento de redes de tuberías con objeto de probar diseños alternativos y desarrollar sistemas resistentes a terremotos que sean más confiables y económicos.

**3. Sistemas de alcantarillado.** Se reportó poco daño en las tuberías que conducen aguas negras de la ciudad de México. Debe hacerse un estudio para explicar este comportamiento satisfactorio.

**4. Gas natural.** El gas natural llega a la ciudad de México por medio de un gasoducto. Existe un conducto de gas natural que atraviesa la ciudad y da servicio en particular a las plantas industriales del norte de la ciudad. No existen tuberías de distribución de gas natural en la ciudad de México. No se reportó daño alguno en el conducto principal ni en las terminales de este conducto.

**5. Gas propano.** Los sistemas de gas propano no sufrieron daño significativo a causa del terremoto. El daño y colapso que sufrieron las construcciones causaron ciertas fugas y fueron supuestamente la causa de los aproximadamente 200 incendios que se produjeron en el desastre. El único incendio importante reportado a causa de una fuga de gas fue el del Hotel Regis, donde el gas de las tuberías rotas causó una explosión y un incendio.

**6. Comunicaciones.** Teléfonos de México, la compañía nacional de teléfonos, sufrió el principal daño en su equipo de transmisión de llamadas de larga distancia y pérdida de vidas entre su personal cuando los tres pisos superiores de un edificio de cinco pisos se derrumbaron. El servicio a todas las regiones fuera de la ciudad de México se suspendió. Un mes después del terremoto se restableció el servicio en un 40 por ciento. La comunicación telefónica dentro de la ciudad de México enseguida del terremoto funcionó esporádicamente, ya que varios de los edificios que albergaban el equipo fueron severamente dañados.

Las operaciones de rescate y las comunicaciones sociales se vieron obstaculizadas a causa de las fallas en el sistema telefónico. Es importante considerar aquí la primordial necesidad de protección de las áreas clave del sistema de teléfonos y el importante papel que juega este tipo de comunicación después de un desastre de esta magnitud.

**7. Transporte.** El daño a las calles y puentes dentro de la ciudad de México fue poco y se presentó en la forma de pandeo del pavimento y daños menores por golpeteo en los puentes. El Metro suspendió el servicio después del terremoto para inspección, e inmediatamente después restableció el funcionamiento. Esta situación es de particular interés ya que algunas partes del Metro pasan a través del lecho del viejo lago donde hubo fuertes movimientos. El excelente comportamiento del sistema es quizá atribuible a los detalles antisísmicos incorporados en el diseño. Los aeropuertos afectados por el sismo en general no fueron dañados y entraron en funcionamiento después de su inspección el mismo día del terremoto.

Estos ejemplos de comportamiento bueno o excelente brindan la oportunidad de probar métodos de análisis y diseño de puentes, túneles y pavimentos. También pusieron a prueba, dado el nivel de sacudimiento experimentado en la ciudad, los detalles de construcción de puentes y túneles. Por tanto, el estudio de estos ejemplos puede ser de valor para algunas partes de los Estados Unidos.

Uno de los dos carriles dobles adyacentes a los puentes de concreto que cruzan el Río Balsas cerca de Lázaro Cárdenas fue severamente dañado por golpeteo entre

tramos, movimiento de los empotramientos y hundimiento de los accesos al puente. Este puente deberá ser estudiado para establecer las causas del daño y para probar métodos de análisis de ese tipo de estructura.



# RESTABLECIMIENTO Y REPARACION

## VI

El terremoto del 19 de septiembre de 1985 dejó una gama de construcciones en la ciudad de México con daños de diversos grados. Este inventario presenta la oportunidad de estudiar a escala natural los problemas y soluciones de reparación. Las normas de emergencia en vigor en el Distrito Federal después del sismo señalan que la reparación debe proporcionar en ciertos casos una resistencia lateral del mismo nivel que en edificaciones nuevas. Se requerirán estudios tanto de corto como de largo plazo para apoyar el desarrollo de procedimientos de diseño y reparación.

La comunidad de ingenieros de la ciudad de México planea documentar:

- Las reparaciones emprendidas después del sismo de 1957; cuando esto sea posible, se evaluará el comportamiento de dichas estructuras durante el sismo de 1985.
- Las reparaciones realizadas después del evento de 1985; esta documentación será proporcionada en detalle de manera que ante futuros sismos se pueda realizar una evaluación más precisa de lo que fue posible para las reparaciones de 1957.

Esta documentación estará a cargo de profesionales mexicanos y el esfuerzo que se realice será esencial para lograr un registro preciso que sirva a todos los estudios futuros sobre reparaciones. Cabe mencionar que la evaluación del estado de las edificaciones, la determinación de la factibilidad de reparación, y el diseño de las reparaciones necesarias ya se han iniciado y se realizan rápidamente. El número de construcciones disponibles para un estudio detallado en fechas posteriores será muy limitado.

Sin embargo, dentro de este contexto existen oportunidades para que se realicen estudios cooperativos entre los Estados Unidos y México en materia de reparaciones. Los datos de campo (levantamiento de condiciones, requerimientos normativos, decisiones de diseño, técnicas de reparación, y comportamiento de las estructuras reparadas) servirán para estimular el desarrollo de políticas y requerimientos para la reparación y restablecimiento a nivel mundial.

Cuatro tópicos específicos de investigación parecen tener un interés común:

### **1. Evaluación de la resistencia y rigidez de las estructuras y elementos**

**dañados.** La influencia de sismos previos, asentamientos de la cimentación o problemas del suelo serán difíciles de evaluar. Se requieren estudios que correlacionen datos de campo con los de laboratorio. Se anticipa que la mayor parte del trabajo de reparación se enfocará sobre las estructuras de concreto reforzado.

**2. Comportamiento de los elementos y estructuras reparados para mejorar su comportamiento.** Las técnicas que más probablemente serán utilizadas en la ciudad de México incluyen la adición de muros de cortante y el encamisado de miembros. De especial interés es la distribución de los muros de cortante, la rigidez que den tales muros y la estructura existente, los detalles utilizados para unir los muros de cortante a la estructura existente, el comportamiento de los muros de relleno, y el impacto de los muros de cortante en el comportamiento de la cimentación. También interesará la reparación y restauración de la capacidad de los sistemas de losa reticular y el suministro de sistemas alternos de resistencia lateral.

Las técnicas de uso más probable son las relativamente simples; es decir, las que no requieren trabajo altamente calificado o materiales caros. Los investigadores en México planean utilizar las técnicas de vibración para evaluar la respuesta antes y después de la reparación de unas cuantas estructuras seleccionadas. Dichos estudios podrían ser completados por pruebas de laboratorio y estudios analíticos para evaluar de manera cuantitativa la eficiencia de las técnicas de reparación.

**3. Desarrollo y evaluación de sistemas y dispositivos** que puedan añadirse a las construcciones existentes para reducir la amplitud de vibración debida a movimientos del terreno. Tales dispositivos pueden incrementar el amortiguamiento o modificar el periodo natural.

**4. Recimentación** para reducir o controlar los problemas de hundimiento y mejorar el comportamiento sísmico. Debe considerarse el incremento de solicitaciones sobre la cimentación como resultado del reforzamiento de la estructura. Se requiere especial atención para desarrollar técnicas de construcción que permitan reparaciones sin impedir el uso de la estructura y sin producir daño.

Después de la supervisión y documentación del trabajo de reparación deberá hacerse la diseminación de dicha información a los profesionales del diseño; esta tarea puede realizarse mejor mediante un taller en donde se discutan los datos de campo, los datos de laboratorio y el impacto de los reglamentos. Dicho taller podría incluir ingenieros y funcionarios de ambos países.

# RESPUESTA AL DESASTRE Y MITIGACION

## VII

El terremoto del 19 de septiembre de 1985 en México ofrece oportunidades únicas de investigación para los científicos mexicanos y estadounidenses que están interesados en la respuesta ante desastres, la recuperación y la atenuación. La ocurrencia de un terremoto destructivo en una ciudad importante proporciona un laboratorio natural en el que pueden probarse e investigarse las políticas y sistemas existentes de respuesta y recuperación y las suposiciones en las que ellas se basan.

Se han identificado tres áreas generales de investigación, cada una con varios puntos de particular interés dada la experiencia del terremoto en México.

### 1. Problemas de respuesta a la emergencia

De obvio interés para cualquier país que se enfrenta a desastres potenciales es la forma de mejorar el desempeño de los esfuerzos de alivio o atenuación del desastre para reducir el sufrimiento de la población. Las cuestiones que aquí surgen se refieren al periodo inmediato siguiente a la emergencia, cuando los responsables de reaccionar ante el desastre se encuentran todavía tratando de entender la magnitud y naturaleza del suceso para determinar la mejor respuesta. El enfoque del estudio es investigar los esfuerzos de respuesta realizados durante un desastre en la vida real y utilizar los resultados para mejorar los sistemas de manejo de emergencias existentes en ambos países.

Los estudios de respuesta a la emergencia pueden desarrollarse a lo largo de dos líneas. Primero, es esencial el análisis de la respuesta del gobierno a una situación de emergencia de rápido impacto, en el contexto de los planes y estructuras de organización existentes y en particular con respecto a los siguientes puntos:

- Técnicas de evaluación del daño estructural y su relación con la toma de decisiones.
- Técnicas de evaluación de desgracias personales y su relación con la toma de decisiones.
- Prestación de servicios médicos de emergencia.
- Operaciones de búsqueda y rescate, especialmente las relacionadas con las estructuras de acero y concreto que sufrieron colapso.
- Decisiones relacionadas con el manejo de cadáveres e instalaciones para el establecimiento de una morgue temporal.

- Atención masiva y provisión de refugios.
- Procedimientos y criterios de evacuación de edificios y diseminación de información sobre evacuación.

En segundo lugar este terremoto proporcionó la oportunidad de estudiar la dinámica de la respuesta del público en el periodo inmediato posterior al impacto, especialmente en relación con:

- El comportamiento de los ocupantes de edificios y su respuesta a la situación prevaleciente.
- Disrupción familiar (por ejemplo, separación de familias y pérdida o incapacitación de miembros de ella).
- La aparición y continuación de grupos voluntarios de asistencia.

## **2. Primera fase de recuperación**

Cuando la situación de emergencia inicial empezó a controlarse y la sociedad volvió a un estado de más normalidad, se generaron algunas situaciones en la ciudad de México que sugieren puntos de investigación adicional:

- Surgimiento de problemas psicológicos y eficiencia de los mecanismos disponibles para atenderlos.
- Perturbación de los servicios públicos y privados y capacidad de proveedores alternativos de esos servicios.

## **3. Problemas de recuperación a largo plazo**

Aun cuando se sabe que los grandes desastres tienen consecuencias sociales, psicológicas, económicas y políticas de largo plazo en el área de desastre, la experiencia en la ciudad de México proporciona ejemplos dramáticos de la relación entre los problemas de recuperación después de un terremoto y el desarrollo de las políticas de atenuación para reducir la amenaza del siguiente terremoto.

Los aspectos de investigación más relevantes incluyen:

- El desarrollo de metodologías para evaluar la vulnerabilidad de los servicios sociales necesarios (por ejemplo, servicios médicos, educativos, de transporte, de comunicación y financieros).
- La utilización de los estudios de microzonificación sísmica para cambiar los reglamentos de uso de la tierra existentes dentro del Distrito Federal.
- Una evaluación de las soluciones al problema de la vivienda resultante de la pérdida de unidades habitacionales.
- Problemas de la recuperación de la actividad económica (con énfasis en los problemas a que se enfrentan los negocios pequeños).
- Cuestiones relacionadas con la reubicación de negocios y residentes en áreas fuera de la ciudad de México.
- Efectos de las modificaciones a los códigos de construcción y refuerzo de edificaciones sobre el desarrollo futuro de la ciudad de México.

Estos tópicos de investigación son de interés teórico y empírico para ambos países en relación con los efectos sociales de los desastres. Sin embargo, es de preverse que las recomendaciones que resulten de estos esfuerzos de investigación serán diferentes para México y los Estados Unidos a causa de los diferentes contextos

dentro de los cuales se realiza la planeación nacional y se establecen las prioridades nacionales. Se recomienda que se establezcan proyectos de colaboración, para que de estos esfuerzos de investigación puedan derivarse prácticas y políticas específicas para cada país.



# PROBLEMAS

# ARQUITECTONICOS:

# CONFIGURACION DE LOS

# EDIFICIOS, ELEMENTOS NO

# ESTRUCTURALES Y

# EQUIPAMIENTO

## VIII

Esta sección trata problemas en general relacionados con la influencia de las decisiones arquitectónicas sobre el comportamiento sísmico de los edificios. Esto incluye decisiones de diseño conceptual que determinan la forma del edificio y la disposición de los principales elementos que influyen en su diseño y comportamiento estructural. Además incluye el comportamiento de los elementos que, junto con la estructura, constituyen el edificio, la relación entre el comportamiento sísmico del equipamiento y el contenido del edificio para la funcionalidad de éste después de un terremoto, así como el costo de reparación.

A causa de la severidad de los daños en los edificios de la ciudad de México, un estudio sistemático de estas cuestiones sobre un cierto número de edificios seleccionados puede ser muy fructífero. Sin embargo, hay limitaciones en los datos disponibles sobre el conjunto de tópicos arriba señalados. Existe una gran cantidad de datos disponibles con respecto a la influencia de la configuración del edificio sobre el comportamiento sísmico, pero se ha hecho muy poco en cuanto a la compilación de información sobre los daños no estructurales, debido a la severidad de los daños estructurales y la necesidad de respuesta inmediata. Gran parte del daño no estructural en edificios estructuralmente sanos puede ser reparado con rapidez. Lo mismo es cierto para el equipo y contenido del edificio.

No obstante, es necesario realizar esfuerzos de investigación en estas dos últimas cuestiones antes de que los datos necesarios desaparezcan. Estos métodos pueden incluir la obtención de datos sobre diseño y costos a través de las compañías de ingeniería y arquitectura contratadas para realizar el trabajo. La información sobre contenido y equipo puede obtenerse de los propietarios individuales e institucionales que estén interesados en la investigación en estas áreas.

La importancia de estas cuestiones por investigar ha sido reconocida en los círculos de investigación tanto mexicanos como estadounidenses y debe dárseles más prioridad. La influencia de decisiones arquitectónicas no podrá clasificarse sino cuando se realice una investigación más sistemática con los datos mexicanos.

Lo que sigue es sólo una guía general y no intenta ser una lista restrictiva, sino una serie de tópicos donde deben desarrollarse proyectos de investigación específicos. Esos tópicos son: influencia de la configuración arquitectónica, elementos arquitectónicos no estructurales, instalaciones eléctricas y mecánicas y equipamiento

de los edificios.

### **1. Influencia de la configuración arquitectónica**

La importancia de la configuración arquitectónica (por ejemplo, forma, tamaño y proporción) sobre el comportamiento sísmico es ampliamente reconocida. Aunque se han identificado ejemplos de formas problemáticas de edificios se carece de datos sistemáticos y cuantitativos sobre el comportamiento de esos ejemplos. Los datos de la ciudad de México pueden ayudar a llenar este vacío.

Las soluciones estructurales. Se necesitan datos estadísticos que validen el comportamiento de estudios en esta área deben reconocer la estrecha relación entre los conceptos arquitectónicos y los ejemplos de configuración problemática. Por otra parte, existen casos de edificios que tuvieron un buen comportamiento aún cuando en una inspección superficial sus configuraciones parecían indeseables. El estudio de estos edificios también sería de gran valor.

El propósito general de esta investigación debería ser realizar algunos progresos en la determinación de la importancia relativa de estos factores arquitectónicos en relación con otras variables que influyen en el comportamiento sísmico de los edificios.

### **2. Elementos arquitectónicos no estructurales**

El conjunto de elementos arquitectónicos que deben estudiarse incluye:

- Escaleras: investigación de su influencia sobre daños a la estructura principal del edificio y viceversa. Hay disponibles muchos ejemplos de ambas influencias.
- Fachadas y ventanería exterior: estudios preliminares sugieren que el comportamiento de estos elementos fue mejor de lo que se había previsto. En particular sería de mucho valor el estudio del buen comportamiento general de las fachadas con vidrios grandes sujetas a considerable deformación estructural.
- Muros divisorios: aunque los muros divisorios ligeros son comunes, muchos edificios mexicanos usan muros divisorios de tabique. Aunque éstos sufrieron muchos daños, debe estudiarse el papel que jugaron en la disipación de energía, como último recurso contra las altas intensidades sísmicas.
- Plafones: muchos edificios mexicanos emplean aplanado directo sobre las losas, con lámparas de iluminación sobrepuestas. Sin embargo, también se usan, como en los Estados Unidos, los falsos plafones, por lo que puede obtenerse información valiosa de interés mutuo sobre el comportamiento de este sistema.

### **3. Instalaciones eléctricas y mecánicas**

Sería de interés estudiar todos los elementos en estos sistemas, incluyendo los elevadores. Las prácticas mexicanas y estadounidenses son directamente comparables en estos casos.

#### **4. Contenido de los edificios**

En este rubro el comportamiento del equipo que afecta directamente a la función del edificio es de particular interés. Los estudios sobre el daño a hospitales y equipo de procesamiento de datos son de particular interés.