



*EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS SISMOS DE **SEPTIEMBRE DE 1985** EN LOS EDIFICIOS DE LA CDMX*

Roberto Meli, Eduardo Miranda,
Carlos López N. y Oscar López Bátiz



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®

***EVALUACIÓN
DE LOS EFECTOS
DE LOS SISMOS DE
SEPTIEMBRE DE 1985
EN LOS EDIFICIOS DE
LA CDMX***





INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985 EN LOS EDIFICIOS DE LA CDMX

Roberto Meli, Eduardo Miranda,
Carlos López N. y Oscar López Bátiz

CONTENIDO DE ESTA SERIE

PARTE I. EVALUACIÓN DE DAÑOS

R. Meli y E. Miranda

Comienza con una presentación de la serie de informes y del contenido de esta primera parte, que es una versión actualizada del informe preliminar elaborado en noviembre de 1985. El informe describe, primero, la metodología empleada para la recopilación y evaluación de la información obtenida. Presenta la subdivisión de la zona dañada de la Ciudad de México en 18 subzonas, a cada una de las cuales se asignó una brigada de dos o tres evaluadores que levantaban una ficha técnica para cada edificio que mostraba daños. Estudia, después, la distribución geográfica de los daños y las características de los edificios dañados, en términos del tipo de sistema estructural, número de pisos, fecha de construcción, tipo de daños y su incidencia. Se incluyen tablas y figuras que fueron empleadas ampliamente en publicaciones y documentos relativos al sismo.

PARTE I. ANEXO A. FORMA PARA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS

R. Meli y E. Miranda

[abrir ►](#)

PARTE I. ANEXO B. FOTOGRAFÍAS DE MODOS DE FALLA TÍPICOS

R. Meli Y E. Miranda

[abrir ►](#)

PARTE I. ANEXO C. DATOS ESPECÍFICOS DE 330 EDIFICIOS. ZONAS I A IV

R. Meli, E. Miranda y N. Rigaud

Contiene información básica de los edificios incluidos en la evaluación estadística del texto principal de la Parte I. En este primer anexo se incluyen los edificios ubicados en las zonas I a IV. Para cada edificio se da la dirección, la función, el año de su construcción, el número de pisos, así como croquis de la planta tipo y del sistema estructural, la descripción resumida de los daños y algunas fotografías.

[abrir ►](#)

PARTE I. ANEXO D. DATOS ESPECÍFICOS DE 330 EDIFICIOS. ZONAS V A XVIII

R. Meli, E. Miranda y O. López Bátiz

Contiene información básica de los edificios incluidos en la evaluación estadística presentada en el texto principal de la Parte I. En este segundo anexo se incluyen los edificios ubicados en las zonas V a XVIII.

[abrir ►](#)

PARTE II. EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE OCHO EDIFICIOS TÍPICOS

R. Meli y C. López Navarrete

Esta parte contiene los estados de los estudios realizados en ocho edificios dañados, de los que se obtuvo información detallada sobre su proyecto estructural. Para cada uno se hizo un levantamiento detallado de los daños y además la medición de los períodos de sus primeros modos naturales de vibración y la revisión simplificada de su resistencia a sismos. Se extraen conclusiones sobre el desempeño de diferentes sistemas estructurales.

PARTE II. ANEXO A. INFORMACIÓN DETALLADA DE LOS OCHO EDIFICIOS EVALUADOS

R. Meli y C. López Navarrete

Para cada uno de los edificios se presentan datos y planos de su proyecto estructural, así como resultados de pruebas de vibración ambiental, junto con la estimación de los períodos correspondientes a los primeros modos de vibración. Se dan estimaciones de la resistencia a cargas laterales en cada una de las direcciones principales, determinadas por un método simplificado.

[abrir ►](#)

PARTE III. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS EN SISMOS PREVIOS

O. López Bátiz, R. Meli y E. Miranda

En esta parte se evalúa el desempeño de los edificios que fueron reportados como dañados en los informes sobre el sismo de 1957 y de los referentes al sismo de 1979. Se hace una comparación de las características de los edificios dañados en esos dos eventos con las del sismo de 1985, y se extraen conclusiones sobre la eficacia de los diferentes tipos de intervención de refuerzo que habían sido aplicados en los casos anteriores.

PARTE III. ANEXO A. COMPORTAMIENTO DETALLADO DE 100 EDIFICIOS DAÑADOS EN EL SISMO DE 1957

O. López Bátiz, R. Meli y E. Miranda

Contiene información detallada sobre 100 edificios que fueron estudiados, entre los dañados en el sismo de 1957.

[abrir ►](#)

PARTE III. ANEXO B. COMPORTAMIENTO DETALLADO DE 80 EDIFICIOS DAÑADOS EN EL SISMO DE 1979

O. López Bátiz, R. Meli y E. Miranda

Contiene información detallada sobre los 43 edificios que fueron estudiados, entre los dañados en el sismo de 1979.

[abrir ►](#)

PRÓLOGO

Informes elaborados para CONACYT y Departamento del Distrito Federal, fechados en octubre de 1986.

Se trata de una serie de volúmenes en los que se presentan los resultados de estudios realizados en los meses inmediatos al sismo, con base en un levantamiento de los daños en las edificaciones de la Ciudad de México, bajo la coordinación del Instituto de Ingeniería, por parte de personal académico y estudiantes del mismo instituto, y con el apoyo de personal de otros centros universitarios y de profesionales de la ingeniería estructural. La serie consta de tres volúmenes principales, que contienen las estadísticas de los daños y sus causas, así como la comparación de estos daños con los ocurridos en los sismos de 1957 y 1979. El primero de estos volúmenes, en el que se presenta una evaluación general de los daños, se preparó también una versión en inglés, la que se incluye al final en esta serie. Los tres volúmenes vienen acompañados de anexos en los que se proporciona información detallada sobre edificios de particular interés.

Los estudios se realizaron, en un principio, para dar apoyo al Subcomité de Normas y Procedimientos de Construcción, órgano asesor del Comité de Emergencia instituido a raíz del sismo por el Departamento del Distrito Federal, con fines a la preparación de las normas de emergencia que eran necesarias para guiar la elaboración de los proyectos de refuerzo de los edificios dañados. Posteriormente, estos estudios sirvieron de base para

la elaboración de las Normas Técnicas de Diseño del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, implantado en 1987.

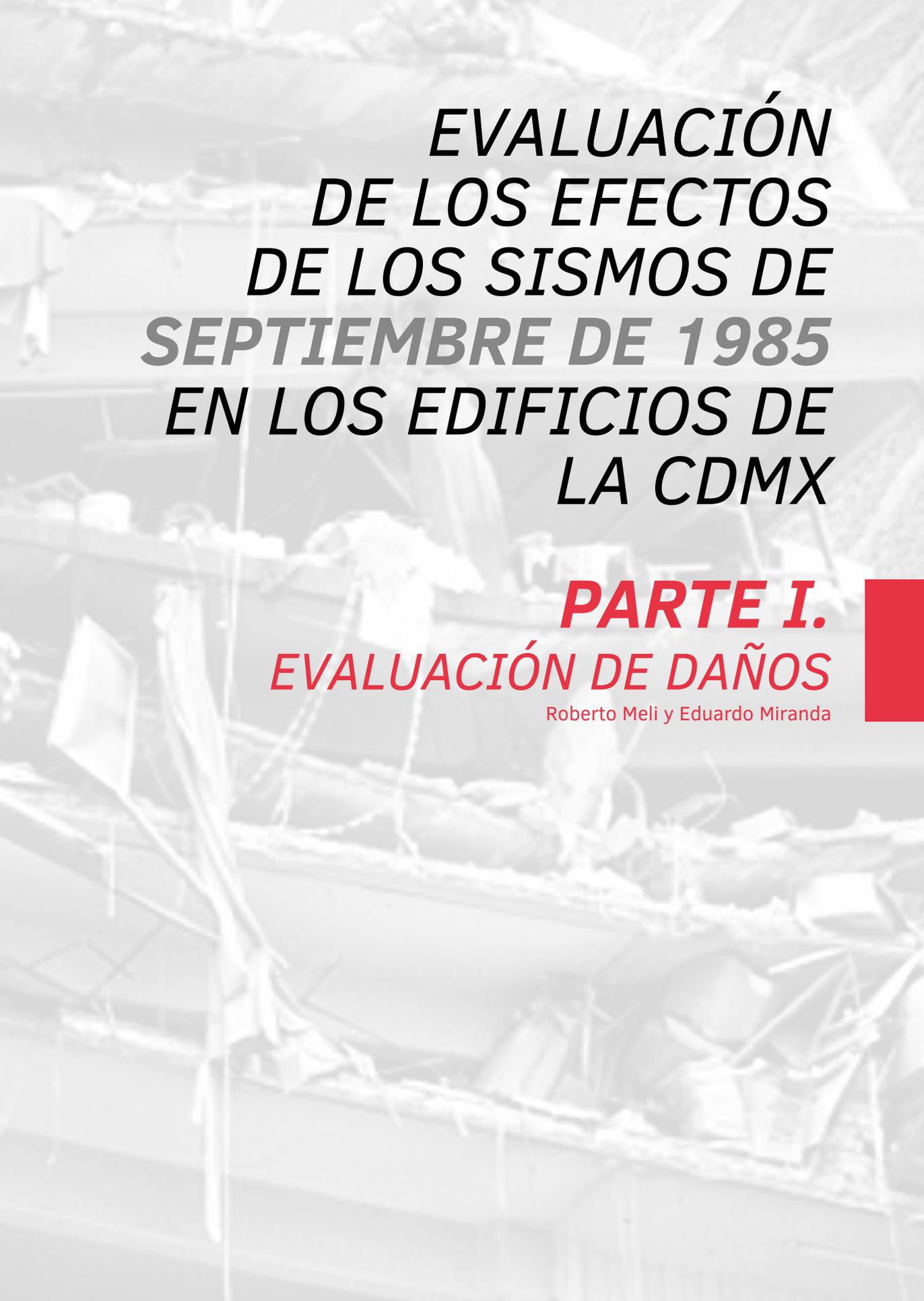
En las semanas siguientes al evento se preparó y distribuyó un informe preliminar sobre la evaluación de daños, cuyo texto se incluye al inicio de la Parte I de esta serie de volúmenes. Las principales estadísticas de ese informe preliminar fueron incluidas en un artículo publicado, en 1986, en una revista internacional: Rosenblueth, E. y R. Meli, *The 1985 earthquake. Causes and effects in Mexico City; Concrete International*, V 8, No. 5, Detroit, mayo 1986, pp 23 a 34.

La serie completa de los informes que se reproduce ahora nunca fue editada formalmente y su original, fechado en noviembre de 1986, se fotocopió para ser entregado a las instituciones patrocinadoras, y para ser distribuido a los investigadores de México y Estados Unidos que estaban a cargo de los proyectos de un programa conjunto de investigaciones sobre las lecciones de los sismos de 1985, que fue patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de México, y por la *National Science Foundation (NSF)*, de los Estados Unidos. En ese programa participaron investigadores de diversas instituciones académicas, así como algunos profesionales de la ingeniería estructural. Los resultados de los estudios principales fueron presentados en diversos foros y un buen número de ellos fueron publicados en la revista *Earthquake Spectra*, (Vol. 5, No. 1, 1989).

Hay que aclarar que los volúmenes aquí presentados cubren solo lo relativo al comportamiento estructural de los edificios y no incluyen los estudios realizados para analizar los aspectos sismológicos del fenómeno, ni los de ingeniería geotécnica. Tampoco se incluyen los estudios de registros del movimiento del terreno obtenidos de la red de acelerógrafos ubicados en distintas partes de la ciudad.

Mucho es lo que se ha estudiado y lo que se ha aprendido desde entonces, sobre las características tan peculiares de los movimientos sísmicos en la Ciudad de México y sobre los efectos de los mismos en las edificaciones. Algunos de los conceptos vertidos en estos volúmenes están ahora claramente superados y, tanto la redacción, como la edición de los informes revelan la premura con la que se procedió para hacer accesible a los especialistas

interesados la información básica sobre lo sucedido. A pesar de lo anterior, creemos que es importante que su contenido siga siendo accesible en su forma original a los interesados, aprovechando las facilidades que ofrece la tecnología actual. Por ello no se han hecho correcciones a los textos originales. Lamentablemente solo se ha contado con copias en blanco y negro y muy pobres, de las fotografías que en su mayoría eran en color, solo se han retocado algunas de ellas, pero el resultado desmerece la calidad del material original.



***EVALUACIÓN
DE LOS EFECTOS
DE LOS SISMOS DE
SEPTIEMBRE DE 1985
EN LOS EDIFICIOS DE
LA CDMX***

***PARTE I.
EVALUACIÓN DE DAÑOS***

Roberto Meli y Eduardo Miranda



PARTE I. EVALUACIÓN DE DAÑOS

Roberto Meli y Eduardo Miranda

1. ALCANCE

Este informe contiene los resultados de la evaluación de daños en las edificaciones realizada por personal de la Subdirección de Estructuras del Instituto de Ingeniería con la colaboración de especialistas de otras instituciones. Un informe preliminar al respecto se preparó con fecha 30 de septiembre de 1985. Se ha realizado una revisión y ampliación de los datos de dicho informe así como un análisis estadístico más detallado que permite extraer conclusiones más cuantitativas con respecto a la tipología de las construcciones dañadas y a las características que influyeron en las fallas. La evaluación se limita a los aspectos estructurales. Las deformaciones del suelo y los problemas de cimentación que tuvieron una influencia relevante en el comportamiento estructural y en los daños en las construcciones, solo se tratan marginalmente en este informe.

2. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

El levantamiento se llevó a cabo dividiendo el área de la ciudad en donde se tenían noticias de daños, en 17 zonas identificadas en la figura 1. Estas zonas fueron recorridas por brigadas que revisaron los edificios con evidencia de daños, llenando para cada caso una hoja de evaluación como la que se reproduce en el apéndice A. En la mayoría de los casos no fue posible obtener toda

la información solicitada en dicha hoja y solo se anotaron algunos datos esenciales relativos a la ubicación y características de la construcción y al tipo de daño. Se obtuvo además evidencia fotográfica de cada caso. Se distinguieron los siguientes niveles de daño:

1) Colapso total o parcial; se incluye un número no despreciable de daños inducidos por la falla de un edificio adyacente; la información recopilada al respecto puede considerarse prácticamente completa en lo relativo a los edificios de varios pisos, pero no se evaluaron en forma individual y no se incluyen en las estadísticas un buen número de fallas en construcciones pequeñas generalmente de materiales muy pobres y muy deterioradas.

2) Daño grave; incluye edificios con fallas en columnas, con distorsiones importantes en los entrepisos y con inclinaciones graves. También en este caso la estadística relativa a los edificios puede considerarse completa, ya que el daño pudo detectarse desde el exterior.

3) Daño estructural intermedio; incluye fallas locales en columnas y vigas que representan en general una pérdida significativa de capacidad de los elementos. La estadística para este nivel de daño y para el siguiente incluye solo una pequeña fracción de los casos reales, ya que frecuentemente este tipo de daño no es detectable desde el exterior y puede pasar desapercibido.

4) Daños menores; incluye agrietamientos de abertura pequeña y daños locales. Se trató en cada caso de identificar algunos aspectos estructurales que pudiesen haber sido causa parcial o principal del daño, tales como torsiones o irregularidades importantes, defectos de estructuración o de detallado de refuerzo y comportamiento inadecuado de cimentación. De algunas de estas características fue posible hacer una evaluación estadística que se presentará más adelante.

3. ZONIFICACIÓN DEL DAÑO

Para fines de localizar las áreas de mayor densidad de daño se tabicaron en un mapa los casos de daños de nivel 1 y 2 (colapso o daño grave) que son los más

confiables. La distribución se muestra en la figura 2, en la que se define una zona de alta densidad de daño con una superficie de aproximadamente 27 km².

Es interesante comparar la zona más dañada en esta ocasión con las correspondientes a los dos sismos anteriores para los que se cuenta con un levantamiento de daños en la ciudad: el del 28 de julio de 1957 y el del 14 de marzo de 1979. En la figura 6 la zona de mayor densidad de daño en este sismo se compara con aquellas donde se registraron en los dos sismos anteriores daños de cualquiera de los cuatro niveles descritos en el capítulo 2. En esta ocasión los daños fueron, mucho más severos y la zona dañada es más amplia, pero se aprecia cierta coincidencia entre las zonas más afectadas en los tres casos, las que se ubican al poniente de la zona de terreno compresible.

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES DAÑADAS

Para una evaluación global del daño se estudiaron algunas características que, además de tener cierta relevancia, pudieran ser determinadas aun en las edificaciones totalmente destruidas. Estas fueron: el número de pisos, el sistema estructural y la fecha de la construcción.

Los datos respectivos se presentan en la tabla 1 para cada una de las 17 zonas identificadas en la figura 1. Estos datos, como se ha anticipado, corresponden exclusivamente a los casos de daño grave o colapso y no incluyen un buen número de viviendas de pobre calidad, sobre todo en el extremo nor-orientado de la zona de mayor densidad de daño.

Las diferencias de los resultados entre las distintas zonas se deben esencialmente a la diversidad de tipos de construcción prevalecientes en cada una. Para analizar las tres características mencionadas conviene referirse al resumen para todas las zonas, presentado al final de la misma tabla y a los resultados concentrados en la tabla 2.

En lo referente al número de pisos, se aprecia que la mayor cantidad relativa de fallas corresponde a construcciones de más de 5 pisos. Las construcciones de menor altura, que son con mucho las más numerosas en la zona afectada, tienen periodos naturales muy inferiores a los periodos dominantes

del terreno en las zonas de suelo compresible y por tanto se vieron sujetas a efectos muy inferiores que los que correspondieron a las edificaciones más altas. También fue notable el buen comportamiento de la mayoría de las construcciones muy elevadas, cuyos periodos naturales excedían a los dominantes del terreno, o se alejaron de ellos al sufrir daños iniciales y disminuir su rigidez. En los edificios de mediana altura el periodo natural corresponde a ordenadas espectrales elevadas y crece hacia zonas de todavía mayor ordenada espectral al ocurrir daños que disminuyen la rigidez de la estructura.

En una evaluación de daños de una firma de ingeniería se realizó un censo aproximado de los edificios existentes en la zona más afectada, identificando número de pisos y tipo de construcción. Las áreas estudiadas, la clasificación de edificios y los criterios de evaluación del daño difieren de los considerados en este estudio, pero los resultados son muy ilustrativos. La figura 7 indica el número de edificaciones con distintas características existentes en cada zona y el porcentaje que resultó dañado. Hay que notar que se incluyen en esta evaluación casos de niveles de daño menores que los considerados anteriormente y que se cuantificaron también las construcciones pequeñas de vivienda marginal.

Resumidos para las diez zonas indicadas en la figura 7, los porcentajes de construcciones con daño severo son los siguientes:

Construcciones hasta de dos pisos	0.9%
Construcciones de 3 a 5 pisos	1.3%
Construcciones de 6 a 8 pisos	8.4%
Construcciones de 9 a 12 pisos	13.6%
Construcciones de más de 12 pisos	10.5%
Total de construcciones existentes	53,356
Porcentaje de daños sobre el total	1.4%

Con base en este sondeo resultaron dañadas 1.0% de las edificaciones de menos de 5 pisos y 10% de las de mayor altura.

En lo referente a la edad se eligieron tres intervalos correspondientes a los periodos de vigencia de distintos Reglamentos de Construcciones en la

ciudad. Antes de 1957 puede considerarse que no existía una reglamentación racional relativa al diseño sísmico; entre 1958 y 1976 estuvieron vigentes las normas de emergencia y el reglamento subsecuente que contenían requisitos detallados de diseño sísmico. En esa última fecha entró en vigor el reglamento actual, que contiene modificaciones sustanciales.

Para interpretar la distribución anterior hay que tomar en cuenta que la menor densidad de daños en algunas zonas puede deberse a que el número de construcciones del tipo más afectado por el sismo era reducido y no necesariamente a que la intensidad del movimiento fuese menor.

Existe una clara correlación entre la distribución de daños y el tipo de subsuelo. La figura 3 muestra la zonificación más comúnmente usada del subsuelo de la ciudad en la que se definen una zona de terreno firme, una de terreno compresible y una franja intermedia, llamada de transición, en la que el espesor de los estratos compresibles es pequeño. Se aprecia que la zona de mayor densidad de daños queda ubicada totalmente en la zona de terreno compresible, hacia su extremo norponiente.

La zonificación anterior del subsuelo es poco precisa para el sur de la ciudad donde los datos de sondeos eran muy escasos en la época en que se elaboró dicha zonificación. Con base en sondeos más recientes se ha encontrado que en su parte sur la zona de terreno compresible correspondiente al lecho del antiguo lago de Texcoco se une con la del lago de Xochimilco.

De acuerdo con estos datos los daños encontrados cerca del cruce de las avenidas Tlalpan y Taxqueña y más al sur de este sitio se ubican totalmente en zonas de terreno compresible.

La figura 4 muestra la estratigrafía del subsuelo en dos cortes norte-sur y oriente-poniente por la zona más afectada por el sismo. Se aprecia que abajo de los rellenos superficiales existe una primera capa de arcilla muy compresible, seguida por una primera capa dura, un segundo estrato de arcilla muy compresible y los depósitos firmes inferiores. En la figura 5 se han trazado las curvas de igual profundidad de la segunda capa dura y se aprecia que en la zona de mayor densidad de daño la profundidad de los depósitos firmes

profundos está comprendida entre 25 y 50 m. En otras zonas con profundidades similares de estos depósitos los daños fueron mucho menores. Por ello no es posible correlacionar la intensidad del daño directamente con esta variable, ni tampoco con la profundidad de la primera capa dura ni con el espesor total de las dos capas de arcilla blanda.

La extraordinaria amplificación del movimiento del terreno en dicha zona parece deberse a una coincidencia entre los periodos dominantes del movimiento que provenía de los depósitos profundos y el periodo natural de vibración de los depósitos de arcilla. Mediciones de este periodo para movimientos de pequeña amplitud provocados por microtemblores se muestran también en la figura 5 e indican para la zona dañada valores de entre 1.5 y 2.5 segundos, valores muy inferiores en la zona de transición y de terreno firme y periodos claramente superiores en el resto de la zona del lago aun donde los espesores de arcilla eran similares. El periodo natural no depende por tanto solo del espesor de los estratos sino de sus propiedades y en particular de su grado de consolidación que es probablemente mayor en la zona dañada.

El análisis de los datos de la tabla 2 no permite ser concluyente con respecto a la incidencia de esta variable, por la falta de información sobre el número de construcciones que fueron edificadas en cada periodo dentro de los tipos y zonas que resultaron más afectados por este sismo. Es posible que el número relativamente bajo de fallas de edificios posteriores a 1976 refleje una mejora de la calidad de la construcción, mientras que el número también relativamente bajo de fallas de edificaciones anteriores a 1957 se deba a que pocos fueron los edificios altos construidos antes de esa fecha.

La tercera característica analizada es el sistema estructural. En forma gruesa se distinguieron estructuras de concreto a base de columnas y vigas que forman marcos en dos direcciones, estructuras de columnas y losa reticular de concreto, estructuras de columnas de acero y vigas de perfiles laminados o de alma abierta de acero, y estructuras a base de muros de carga de mampostería. La subdivisión es muy burda y debe aclararse que las estructuras de las primeras tres categorías tenían en general abundancia de muros de mampostería de diferentes calidades y que éstos contribuyeron

significativamente a su rigidez. No fue posible identificar una categoría de construcciones con estructura de marcos rigidizados por muros de concreto. El número de edificios dañados con estas características fue pequeño, pero también es notorio que pocos de los edificios existentes en las zonas afectadas tenían muros de concreto; además la identificación de posible existencia de estos muros desde el exterior era difícil.

La estadística relativa al sistema estructural revela principalmente la muy baja incidencia de falla en construcciones a base de muros de mampostería, que son ciertamente las construcciones más abundantes, pero que por su baja altura y su rigidez caen dentro de un intervalo de periodos de vibración para el cual los efectos del movimiento del terreno en la zona compresible fueron menores.

Con respecto a los otros tres sistemas estructurales las conclusiones son menos contundentes. El número de fallas en estructuras de acero es pequeño y en buena parte se trata de construcciones bajas y antiguas con conexiones inadecuadas entre vigas y columnas. Por otra parte el número de construcciones con este tipo de estructuración es muy reducido y al menos cuatro casos de colapsos o daños graves corresponden a construcciones modernas.

La gran mayoría de las fallas ocurrieron en estructuras de concreto. Aunque el número total de construcciones a base de marcos de concreto que resultaron dañadas es elevado, proporcionalmente es mucho más alto el de edificios a base de losa reticular. Del censo de construcciones existentes mencionado anteriormente, se concluye que 2.9% de los edificios de marcos de concreto en la zona de mayor densidad de daño sufrieron daños importantes, mientras que para los de losas reticulares este porcentaje es de 5.9. Si se consideran los casos de daños graves y colapsos evaluados en este estudio la proporción de daños en edificios de losas reticulares es también de cerca del doble que en construcciones de marcos. Para las construcciones posteriores a 1976 el número de fallas es netamente mayoritario en edificios de losas planas. Esto refleja probablemente la creciente popularidad de este sistema y, quizás, una mejora en la práctica de proyecto y construcción con los otros sistemas.

5. TIPOS DE FALLAS ESTRUCTURALES

La razón de la falla de un gran número de edificios es en primer término la excepcional intensidad que el sismo alcanzó en una zona de la ciudad donde los movimientos del terreno fueron amplificados en forma extraordinaria por las características de vibración de los estratos de terreno blando que componen el subsuelo de la ciudad, las que los hacía particularmente sensible a los periodos dominantes del movimiento transmitido por el terreno firme subyacente.

El movimiento del suelo en esa zona fue caracterizado por la repetición de un número elevado de ciclos de gran amplitud y con frecuencias cercanas a los dos segundos.

Las construcciones que tenían periodo de vibración no muy inferior a dos segundos respondieron con vibraciones elevadas que introdujeron en ellas fuerzas de inercia de gran consideración y que en muchos casos provocaron daños que, al reducir la rigidez de la estructura, alimentaron su periodo natural y provocaron que se vieran sujetas a sollicitaciones cada vez más elevadas y que en ocasiones las llevaron a la falla. La evidencia de los registros instrumentales disponibles indica que las construcciones en una zona de la ciudad se vieron sometidas a sollicitaciones muy superiores a las especificadas en el reglamento de construcciones vigente hasta la fecha.

En las hojas de evaluación de daños en edificios se indicaron algunas características de las estructuras que contribuyeron a hacer más severos los efectos del sismo y se apuntaron algunos modos de fallas prevaletientes. Aunque la identificación de estas características depende de los criterios del evaluador, algunos aspectos se repitieron en un número suficiente de casos como para merecer ser destacados. En la tabla 3 se resumen algunas estadísticas al respecto, las que se comentarán al describir los principales tipos de falla.

a) Comportamiento frágil por falla de columnas. En la gran mayoría de fallas de edificios a base de marcos, el colapso fue originado por la falla de las columnas por flexocompresión o por cortante o por una combinación de ambos efectos. El estado de las vigas o losas reticulares, hace pensar que en la mayoría de los casos no hubo fluencia del refuerzo en estos elementos y que,

por tanto, no se pudo desarrollar el comportamiento dúctil que se requiere para que sean válidos los factores de reducción que por este concepto permite adoptar el reglamento actual. El modo de falla más común puede identificarse como la pérdida de capacidad de carga vertical del edificio debido al progresivo deterioro del concreto de las columnas por la repetición de un elevado número de ciclos de carga laterales que excedieron a su resistencia en flexo-compresión o en cortante. Lo anterior fue propiciado en diversos casos por la escasez de refuerzo transversal y la excesiva separación entre el refuerzo longitudinal de la columna, lo que dio lugar al pandeo de las barras de refuerzo y a un confinamiento muy pobre del concreto contenido en el núcleo de la columna. Otro factor que contribuyó a la pérdida de capacidad de las columnas fue la excesiva concentración del refuerzo longitudinal en paquetes en las esquinas. Esto provocó, además de un confinamiento defectuoso del concreto, la concentración de altos esfuerzos de adherencia en el concreto alrededor de los paquetes, lo que dio lugar a una falla progresiva por desgarramiento del concreto.

b) Efecto de muros divisorios de mampostería. Como se ha dicho, gran parte de los edificios de varios pisos en la zona afectada poseía una alta densidad de muros de mampostería que en la mayoría de los casos se suponía debían tener una función solamente de elementos divisorios y no estructurales, mientras que en otros casos estaban considerados para tener una función estructural y estaban reforzados y colocados para que cumplieran con dicho propósito. Se considera que la presencia de dichos muros fue en la mayoría de los casos beneficiosa y evitó el colapso de un gran número de edificios en la zona afectada. Esto ocurrió cuando dichos muros estaban colocados en forma simétrica y regular en todos los pisos. Estos muros absorbieron una porción mayoritaria de las cargas laterales debidas al sismo y protegieron a las columnas de su posible falla. Aun cuando esto dio lugar en muchos casos a un agrietamiento diagonal de los muros mismos, éstos siguieron contribuyendo a la resistencia y ayudaron a disipar la energía inducida por el sismo.

En otros casos la presencia de los muros de mampostería contribuyó en forma significativa a la falla, en situaciones como las siguientes:

b1) Distribución asimétrica en planta. Es notable que el 42% de los edificios que fallaron se encontraban en esquina.

En la mayoría de los casos estos edificios tenían muros de mampostería en los dos lados de colindancia y fachadas muy abiertas en los dos restantes. La torsión que provocó esta situación incrementó en forma significativa las fuerzas que se ocasionaron en las columnas de los ejes de fachadas y que contribuyeron a provocar la falla. En muchos otros casos de edificios no ubicados en las esquinas había distribución asimétrica de muros,

b2) Primer piso débil. Se suele denominar así el caso en que en los pisos superiores existe una estructura con mucho mayor resistencia y rigidez a cargas laterales que en el primer entrepiso. Esta situación se da en una gran cantidad de edificios en que hay abundancia de muros divisorios en los pisos superiores, mientras que las plantas bajas son libres para estacionamiento en los edificios de vivienda o para vestíbulos y salones en los hoteles. Esto ocasiona que una gran demanda de disipación de energía concentrada en el primer entrepiso propicie la falla de las columnas. Este modo de falla fue muy frecuente y en muchos casos asociado al caso anterior.

b3) Asimetrías causadas por la destrucción de muros. En diversos casos se observó que muros de material débil o mal anclado a la estructura se destruyeron totalmente por falla, por flexión normal a su plano o por cortante; esto hizo que se perdiera la contribución a la resistencia a cargas laterales de muros que eran vitales para mantener la simetría, lo que incrementó notablemente las fuerzas sobre las columnas. La destrucción de muros divisorios o de colindancia fue muy notable, en general, por las grandes deformaciones laterales a las que se vieron sujetos los edificios.

c) Daños previos por sismos. Era conocido que cierto número de los edificios fallados había tenido daños en sismos anteriores, y que en diversos casos no habían sido reparados o lo habían sido en forma deficiente. Se está realizando una evaluación caso por caso de los edificios indicados como dañados en sismos previos, para verificar la eficiencia de los remedios que se tomaron. Las indicaciones preliminares son que en la mayoría de los casos se repitieron los mismos problemas de sismos pasados, pero a un nivel más deformables.

En caso de que se usen muros de mampostería, éstos deberán desligarse apropiadamente de la estructura principal con procedimientos que garanticen un trabajo independiente de las dos partes. En los sismos recientes prácticamente en ningún caso las precauciones que se habían tomado para desligar los muros funcionaron y el daño fue muy elevado en estos elementos tanto por efecto de las fuerzas en su plano como por volteamiento. El empleo de muros divisorios de mampostería ofrece problemas mucho menores en estructuras que tienen alta rigidez a cargas laterales.

d) Debe prestarse atención a los problemas de interacción suelo-estructura y tomar en cuenta los movimientos de la base en el diseño sísmico de los edificios.

e) Es necesaria una supervisión más estricta de las construcciones para asegurar que los requisitos de las normas y del proyecto se cumplan rigurosamente. La no observancia de las separaciones entre edificios adyacentes y las alteraciones en las estructuras para alojar ductos y otras instalaciones son ejemplos muy evidentes de prácticas que contribuyeron a los daños.

Para la mayoría de los puntos anotados es necesario realizar estudios específicos que conduzcan a recomendaciones detalladas y cuantitativas. Algunas de las recomendaciones anteriores han sido ya consideradas en las Modificaciones de Emergencia al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. ■□

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 1. Daños en edificaciones para cada zona.

ZONA	TIPO DE DAÑO	NO. DE PISOS				TIPO DE CONSTRUCCIÓN					EDAD DE CONTRUCCIÓN			TOTAL
		MENOS DE 5	6 A 10	11 A 15	MÁS DE 15	MARCO CONCRETO	MARCO ACERO	LOSA RETICULAR	MAMPOSTERÍA	OTRO	ANTERIOR A 1957	1957-1976	POSTERIOR A 1976	
I	COLAPSO	5	3	1	0	3	0	2	1	3	2	3	4	9
	GRAVE	3	3	1	0	0	0	3	1	3	2	5	0	7
	TOTAL	8	6	2	0	3	0	5	2	6	4	8	4	16
II	COLAPSO	8	7	0	0	6	0	7	1	1	6	9	0	15
	GRAVE	3	3	0	0	5	0	0	1	0	2	4	0	6
	TOTAL	11	10	0	0	11	0	7	2	1	8	13	0	21
III	COLAPSO	9	20	4	0	18	0	10	3	2	16	13	4	33
	GRAVE	4	9	3	1	9	1	5	1	1	4	8	5	17
	TOTAL	13	29	7	1	27	1	15	4	3	20	21	9	50
IV	COLAPSO	14	21	4	3	14	10	16	0	2	18	22	2	42
	GRAVE	0	7	5	0	6	0	6	0	0	4	6	2	12
	TOTAL	14	28	9	3	20	10	22	0	2	22	28	4	54
V	COLAPSO	27	17	2	0	25	0	16	4	1	5	37	4	46
	GRAVE	0	14	2	0	4	0	11	0	1	2	7	7	16
	TOTAL	27	31	4	0	29	0	27	4	2	7	44	11	62
VI	COLAPSO	13	23	3	1	12	0	22	2	4	4	30	6	40
	GRAVE	13	14	8	1	13	1	11	11	0	10	19	7	36
	TOTAL	26	37	11	2	25	1	33	13	4	14	49	13	76
VII	COLAPSO	1	5	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	6
	GRAVE	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	TOTAL	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	7	0	7
VIII	COLAPSO	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	GRAVE	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	3
	TOTAL	3	1	0	0	0	0	1	3	0	3	0	1	4
IX	COLAPSO	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3
	GRAVE	4	2	0	0	0	0	4	2	0	2	2	2	6
	TOTAL	4	5	0	0	0	0	7	2	0	2	2	5	9

Continúa Tabla 1 ►

PARTE I. EVALUACIÓN DE DAÑOS

ZONA	TIPO DE DAÑO	NO. DE PISOS				TIPO DE CONSTRUCCIÓN					EDAD DE CONSTRUCCIÓN			TOTAL
		MENOS DE 5	6 A 10	11 A 15	MÁS DE 15	MARCO CONCRETO	MARCO ACERO	LOSA RETICULAR	MAMPOSTERÍA	OTRO	ANTERIOR A 1957	1957-1976	POSTERIOR A 1976	
X	COLAPSO	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	GRAVE	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
	TOTAL	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	2
XI	COLAPSO	4	2	0	0	0	0	5	1	0	0	4	2	6
	GRAVE	1	2	1	0	2	0	2	0	0	0	1	3	4
	TOTAL	5	4	1	0	2	0	7	1	0	0	5	5	10
XII	COLAPSO	2	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	3
	GRAVE	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	TOTAL	2	2	0	0	0	0	2	0	2	1	2	1	4
XIII	COLAPSO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GRAVE	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2
	TOTAL	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2
XIV	COLAPSO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GRAVE	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
	TOTAL	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
XV	COLAPSO	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2
	GRAVE	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
	TOTAL	2	1	0	0	2	0	1	0	0	0	3	0	3
XVI	COLAPSO	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	GRAVE	4	0	0	0	3	0	0	1	0	0	3	1	4
	TOTAL	5	0	0	0	3	0	1	1	0	0	3	2	5
XVII	COLAPSO	2	0	0	2	1	0	1	0	0	0	2	0	2
	GRAVE	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	2	0	2
	TOTAL	4	0	0	4	2	0	1	1	0	0	4	0	4
TODAS	RESUMEN													
	COLAPSO	89	103	14	4	82	10	91	13	14	52	129	29	210
	GRAVE	40	58	20	2	45	2	44	23	6	30	63	27	120
	TOTAL	129	161	34	6	127	12	135	36	20	82	192	56	330

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 2. Resumen estadístico de daños en edificios.

ESTRUCTURACIÓN	TIPO DE DAÑO	AÑO DE CONTRUCCIÓN			NO. DE PISOS				TOTAL
		ANTERIOR A 1957	1957-1976	POSTERIOR A 1976	MENOS DE 5	6 A 10	11 A 15	MÁS DE 15	
MARCOS DE CONCRETO	COLAPSO	27	51	4	27	46	8	1	82
	GRAVE	16	23	6	10	28	6	1	45
MARCOS DE ACERO	COLAPSO	7	3	0	4	3	1	2	10
	GRAVE	1	1	0	0	0	2	0	2
LOSA PLANA	COLAPSO	8	62	21	36	49	5	1	91
	GRAVE	4	22	18	5	26	12	1	44
MAMPOSTERÍA	COLAPSO	6	5	2	11	2	0	0	13
	GRAVE	9	13	1	22	1	0	0	23
OTROS	COLAPSO	4	8	2	12	2	0	0	14
	GRAVE	0	4	2	2	4	0	0	6
TOTAL	COLAPSO Y GRAVES	82	192	56	129	161	34	6	330

Tabla 3. Características que influyeron en la falla.

PORCENTAJES DE CASOS EN QUE SE OBSERVÓ LA CARACTERÍSTICA	
ASIMETRÍA NOTABLE DE RIGIDEZ	15%
EDIFICIO DE ESQUINA	42%
PRIMER PISO FLEXIBLE	8%
COLUMNAS CORTAS	3%
SOBRECARGA EXCESIVA	9%
HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES PREVIOS	2%
PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN	13%
CHOQUE CON EDIFICIOS CERCANOS	15%
DAÑOS PREVIOS POR SISMO	5%
PUNZONAMIENTO DE LOSAS RETICULARES	4%
FALLA EN PISOS SUPERIORES	38%
FALLA EN PISOS INTERMEDIOS	40%

Tabla 4. Modos de falla prevalecientes.

NÚMERO DE CASOS EN QUE SE OBSERVÓ EL MODO DE FALLA EN UN TOTAL DE 330 EDIFICIOS	
CORTANTE EN COLUMNAS	54
FALLA DE COLUMNAS POR EFECTO NO IDENTIFICABLE	52
FLEXOCOMPRESIÓN EN COLUMNAS	35
CORTANTE (TENSIÓN DIAGONAL) EN TRABES	29
CORTANTE EN LOSAS PLANAS	29
COMBINACIÓN DE DAÑOS EN LA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA	28
TENSIÓN DIAGONAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA	27
FLEXIÓN EN TRABES	8
FLEXIÓN EN LOSAS	4
CORTANTE EN MUROS DE CONCRETO	3
FLEXIÓN EN MUROS DE CONCRETO	2
TORSIÓN EN COLUMNAS	2
OTROS	22
NO IDENTIFICABLES	81

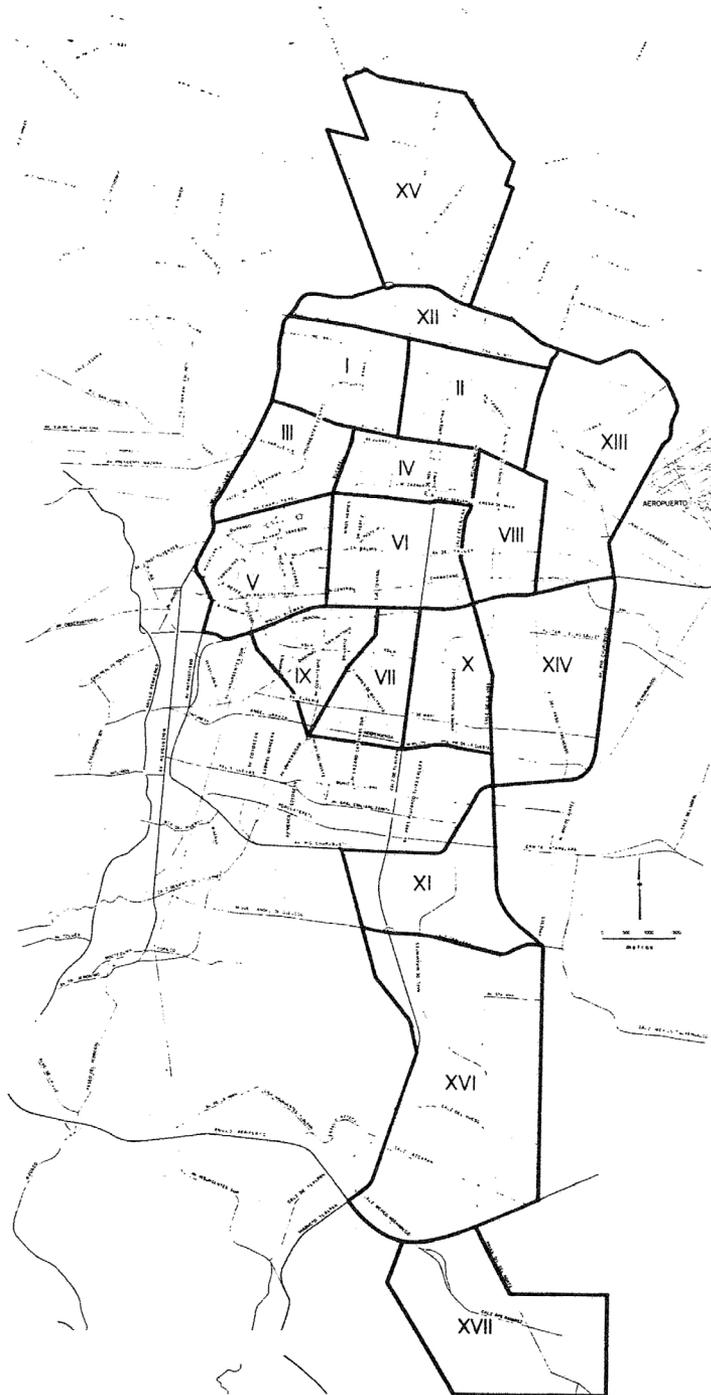


Figura 1. Zonas para levantamiento de daños.



Figura 2. Ubicación de construcciones que sufrieron daño grave o colapso.

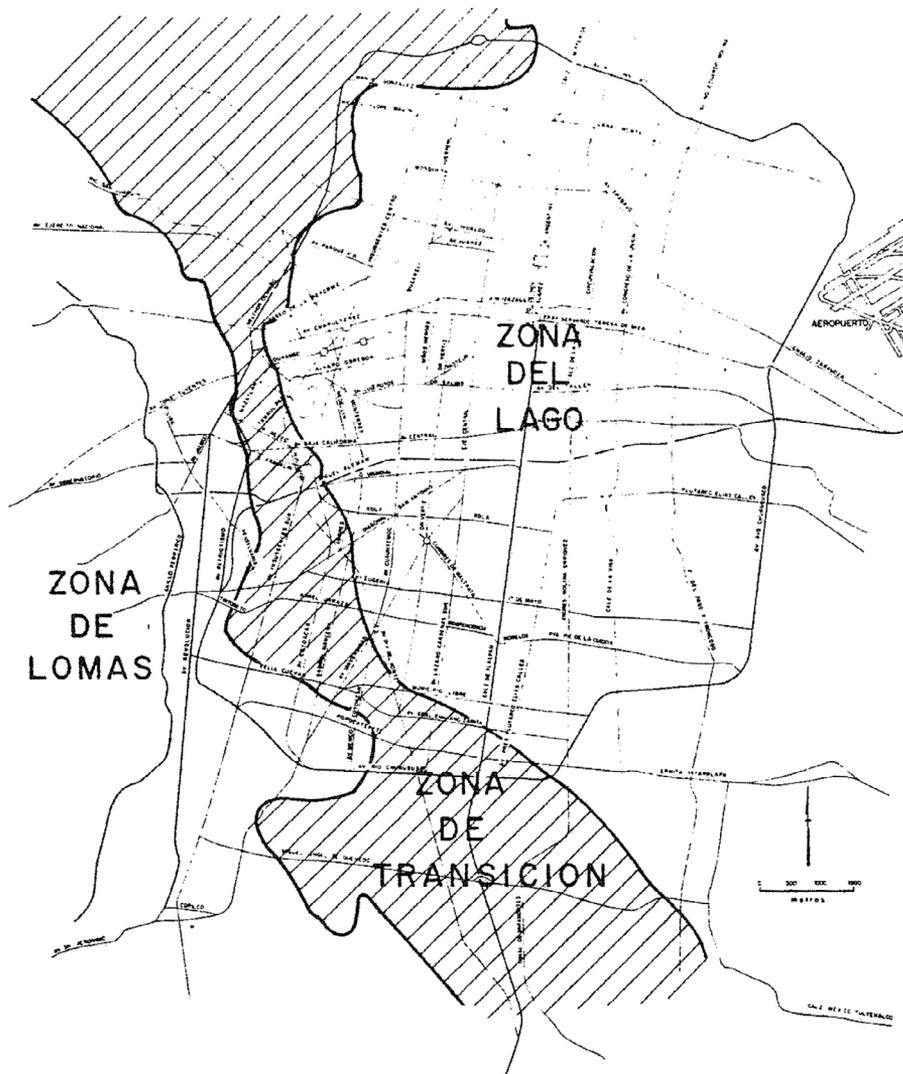


Figura 3. Zonificación del subsuelo de la Ciudad de México.

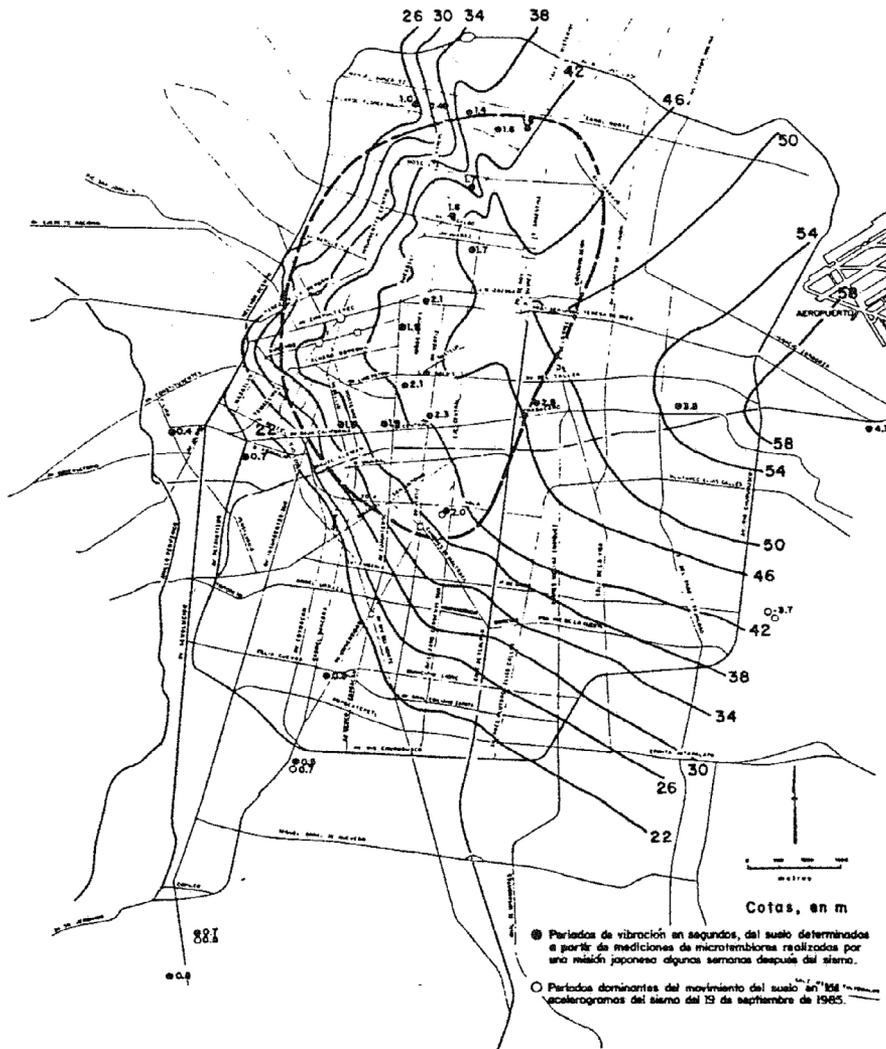


Figura 5. Curvas de igual profundidad de depósitos profundos.

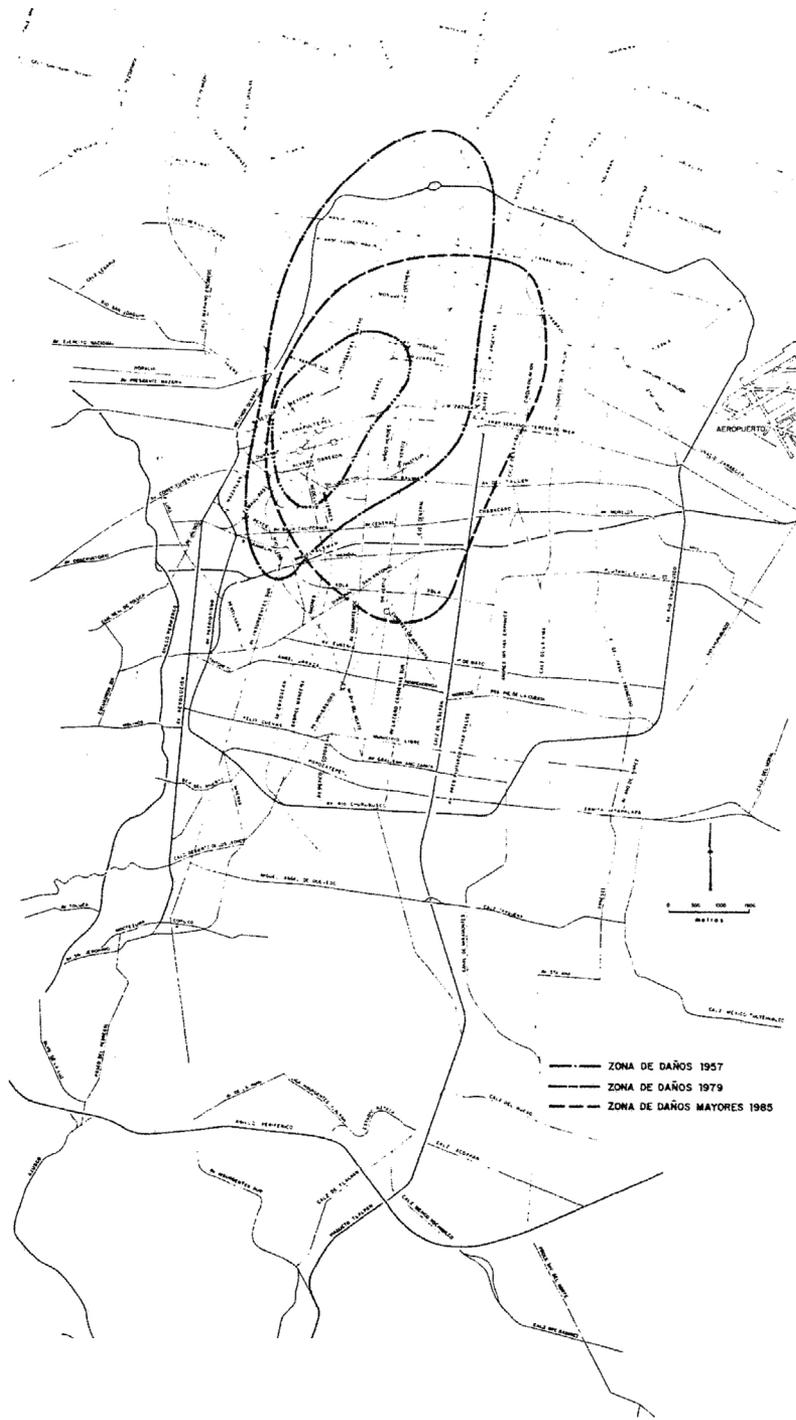


Figura 6. Ubicación de zonas dañadas.

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

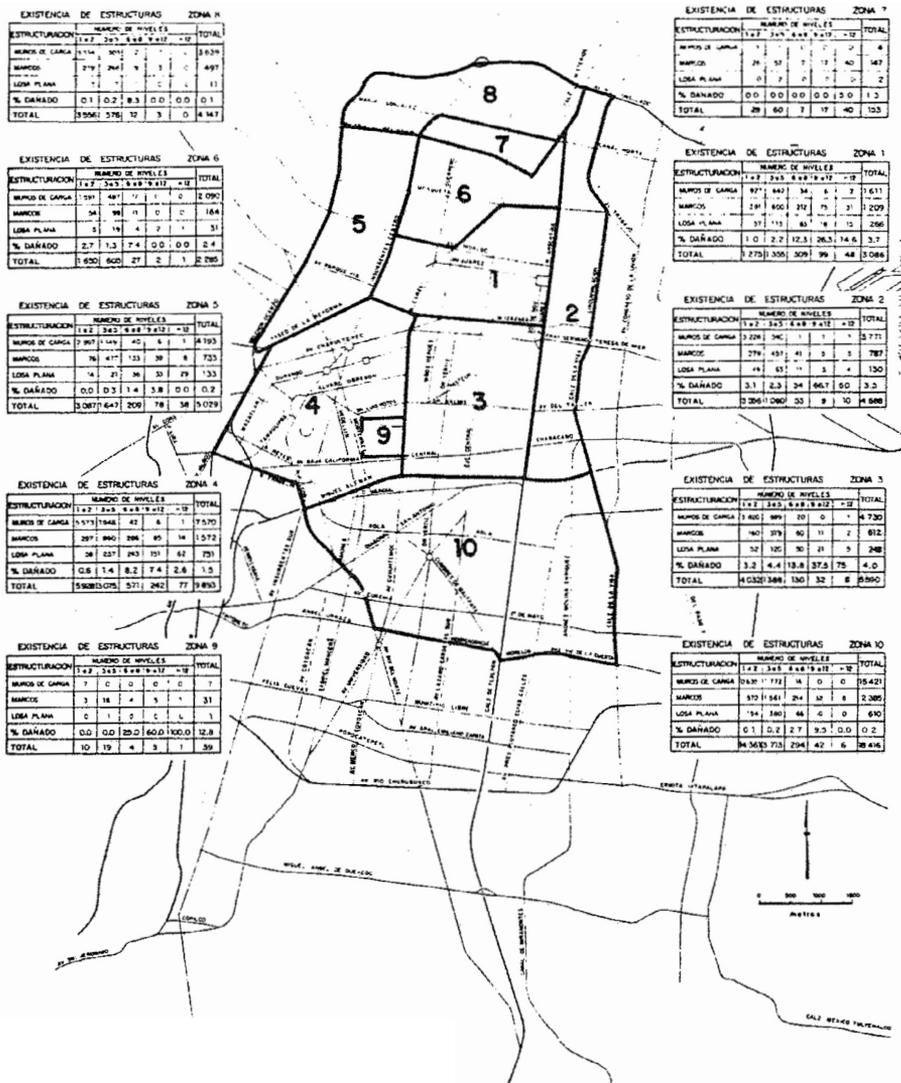


Figura 7. Levantamiento de edificios existentes en la zona dañada.

ANEXO A.

FORMA PARA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS

ANEXO B.

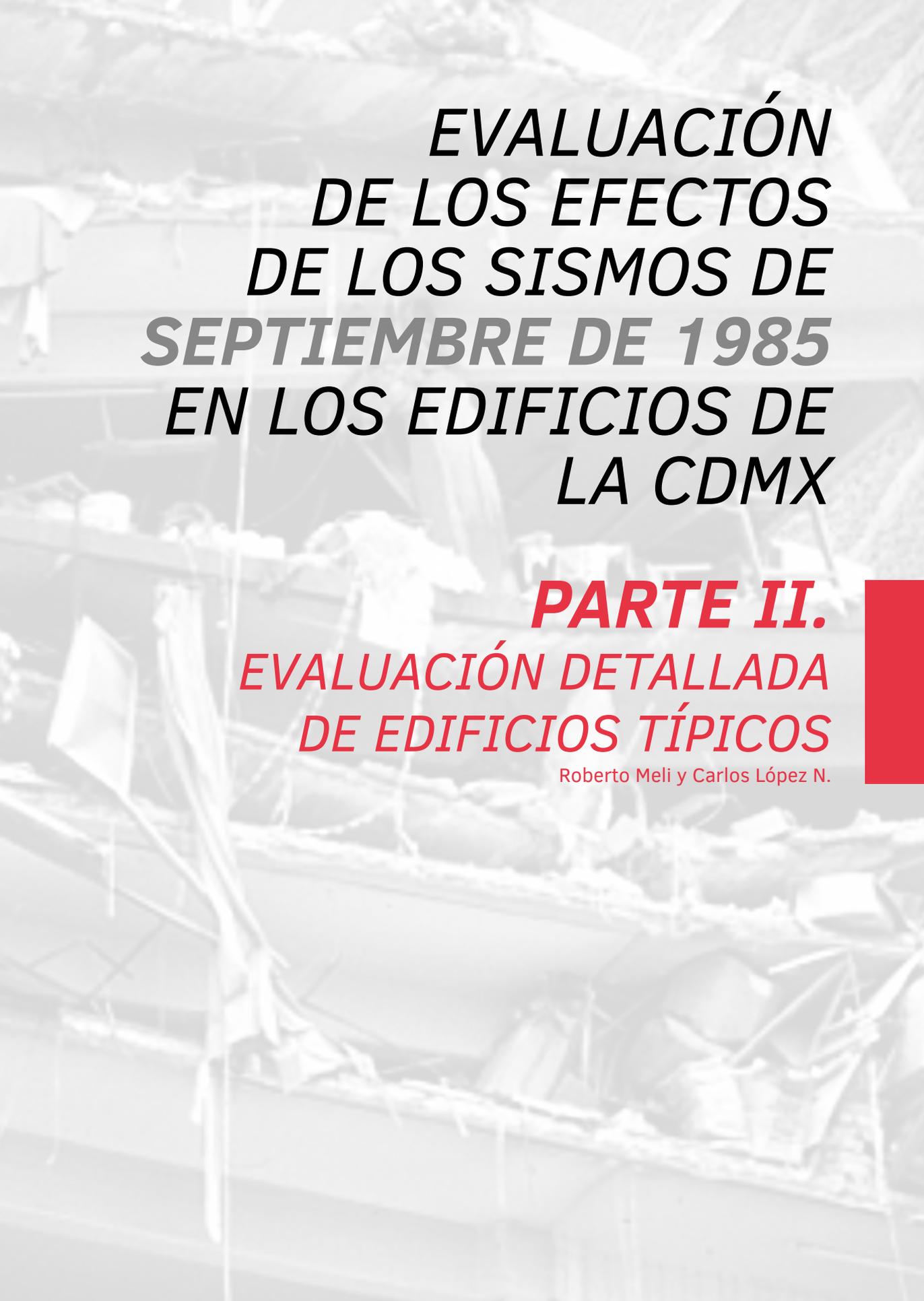
FOTOGRAFÍAS DE MODOS DE FALLA TÍPICOS

ANEXO C.

DATOS DE EDIFICIOS. ZONAS I A IV

ANEXO D.

DATOS DE EDIFICIOS. ZONAS V A VII



***EVALUACIÓN
DE LOS EFECTOS
DE LOS SISMOS DE
SEPTIEMBRE DE 1985
EN LOS EDIFICIOS DE
LA CDMX***

***PARTE II.
EVALUACIÓN DETALLADA
DE EDIFICIOS TÍPICOS***

Roberto Meli y Carlos López N.

PARTE II. EVALUACIÓN DETALLADA DE EDIFICIOS TÍPICOS

Roberto Meli y Carlos López N.

1. ALCANCE

Esta parte del estudio tuvo como objetivo principal reunir información detallada y confiable sobre un número reducido de edificios típicos que tuvieron diferentes niveles de daño durante los sismos de septiembre, con el fin de que pudiesen realizarse análisis de su respuesta sísmica y así poder explicar el comportamiento observado.

Para ocho edificios ubicados en la zona de lago se obtuvieron planos estructurales completos, se realizó un levantamiento detallado de daños y se determinaron algunas características en el sitio. Con ello se pudo realizar primero una evaluación cualitativa del comportamiento, identificando los modos de falla y algunas características que contribuyeron al daño. También se aplicaron a estos casos algunos métodos cuantitativos aproximados de evaluación de daños con el objeto principal de calibrar dichos métodos y de tener algunos índices de la intensidad sísmica requerida para provocar el comportamiento observado.

La interpretación más importante de estos casos es la que se hará mediante análisis elásticos e inelásticos de modelos detallados de las estructuras y que permitirá evaluar por una parte la capacidad de estos métodos de análisis sísmico para predecir en detalle el comportamiento de estructuras reales y por otra detectar las características de las estructuras que más influyen en la

seguridad. Esta última parte es objeto de un estudio independiente y no se presenta en este informe.

2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El criterio para la selección de los casos estudiados fue que pudiese contarse con planos estructurales confiables y completos, que los edificios fuesen representativos de la construcción en la ciudad, que tuviesen forma y estructuración relativamente sencillas, que hubiesen sufrido daños entre moderados y graves y que fuese factible el acceso a ellos para el levantamiento de daños y de propiedades en sitio.

Para ello se solicitó a diferentes oficinas de diseño estructural proporcionasen planos de casos en que tuviesen certeza de que correspondían realmente a lo ejecutado en la obra. Algunos datos de estos planos fueron corroborados mediante medición directa. Las principales características de los ocho edificios seleccionados se describen en la tabla 1.

El levantamiento de daños consistió en una inspección de todos los elementos estructurales principales con anotación de grietas y de tipo de daños en croquis de plantas y elevaciones en que se indicaba la trayectoria de las grietas y algún índice del tipo de grieta y de la gravedad de la misma, en función de la abertura y del estado del acero de refuerzo. En la tabla 2 se explica la convención que se eligió para calificar la gravedad del daño en cada elemento. Además de lo relativo al daño estructural, se hicieron mediciones para identificar hundimientos de los edificios, posibles distorsiones de las plantas y otros signos de mal comportamiento.

En todos los edificios se hicieron determinaciones del periodo natural de vibración, mediante un acelerógrafo portátil de tres componentes (una vertical y dos horizontales ortogonales) que registraba los movimientos del edificio debidos a la vibración ambiental por el tráfico y el viento. El aparato se colocaba usualmente en la azotea, orientada en las direcciones principales de la estructura y registraba una traza suficientemente regular del movimiento del edificio para identificar con buena aproximación el periodo correspondiente al primer modo de vibrar. Un ejemplo de registro así obtenido se muestra en

la figura 1. Los periodos medidos se emplearon para obtener una estimación del daño estructural al compararlos con los teóricos para la estructura sana y servirán también para calificar la eficiencia del proceso de reparación a que se verán sometidos, al comparar con los que se medirán una vez terminado dicho proceso. La información sobre los periodos medidos en cada dirección y sobre algunas características del daño que se explicarán más adelante, se consigna en la tabla 3. En algunos de los edificios se realizaron comprobaciones de la calidad de los materiales mediante la extracción y ensayos de núcleos de concreto.

3. INFORMES DE EVALUACIÓN

Para cada edificio se elaboró un informe en que se concentró la información más relevante relativa a las características de la estructura, a los daños observados y a la evaluación del comportamiento.

El formato de cada informe de evaluación se muestra en el anexo 1. Se consignan inicialmente algunos datos que permiten identificar el edificio y el sistema estructural. La descripción de la estructura se basa en croquis de plantas y cortes con identificación de armados de elementos típicos y de los detalles peculiares de la estructura y de su cimentación.

Los daños se describen principalmente a través de croquis de elevación de marcos y de plantas de sistemas de piso en que se identifican las grietas junto con índices de calificación del daño. Se mencionan los datos recabados de mediciones directas en la obra y se incluyen fotos de la estructura y de su estado de daño. Finalmente se describen los análisis efectuados y la comparación del comportamiento observado y el predicho.

Los informes detallados de los ocho edificios evaluados se presentan en el anexo 1. Las características esenciales se resumen en la tabla 1. En resumen, los ocho son edificios de concreto ubicados en la zona de lago y construidos después de 1969; el número de pisos varía entre cinco y quince; seis de ellos son de losa reticular y los otros dos de vigas y losa monolítica; tres tienen muros de concreto y los ocho tenían algunos muros de mampostería al menos en una dirección. Todos tienen retícula de contra trabes de cimentación con

compensación parcial y pilotes de fricción en todos los casos menos uno. Todos presentan daños entre moderados y severos y están siendo sometidos a un proyecto de refuerzo.

4. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS

Se describen aquí brevemente los edificios cuyos informes detallados aparecen en el anexo y se hacen algunos comentarios cualitativos sobre su comportamiento.

LR12-01. Se trata de un edificio de 12 niveles de planta trapezoidal en esquina. Tiene losa reticular de poco espesor y refuerzo longitudinal escaso, las columnas son de sección relativamente pequeña para un edificio de esa altura, ambos hechos hacen al edificio extraordinariamente flexible. Hay muros de colindancia en dos lados del edificio y fachadas abiertas con pretilos de mampostería en los lados de esquina. Esto junto con la posición ligeramente asimétrica del núcleo de muros de concreto para escaleras y elevadores y el efecto de las rampas de estacionamiento genera torsiones. Las rampas dan lugar también a algunas columnas cortas en los pisos inferiores. El examen de daños revela la formación incipiente de tres modos de falla: formación de líneas de fluencia de momento negativo y positivo en la losa reticular, hundimiento generalizado del núcleo de concreto con agrietamiento por flexión de la losa y falla de columnas por cortante. Puede argumentarse que inicialmente el núcleo de concreto absorbió una parte importante de las fuerzas laterales, lo que provocó momentos de volteo elevados en su base y fuerzas en la cimentación, mismas que ocasionaron el hundimiento de los pilotes de sus extremos y la rotación de la base del núcleo, con ello las fuerzas sísmicas sobre las columnas y la losa crecieron. La capacidad a cortante de los entrepisos era notablemente baja y se presentaron los daños mencionados. La alta flexibilidad de la estructura, especialmente en dirección transversal, dio lugar a la destrucción prácticamente total de las paredes divisorias y muros de colindancia. Los periodos naturales de vibración medidos fueron notablemente elevados, especialmente en dirección transversal. Esto revela la excesiva flexibilidad de la estructura y el grado elevado de daño que redujo considerablemente la rigidez.

MMIQ-02. Se trata de un edificio regular de planta rectangular con sótano, planta baja de 4.95 m de altura y nueve plantas tipo. En dirección transversal la resistencia a cargas laterales está proporcionada esencialmente por dos muros robustos en cada extremo, mientras que en dirección longitudinal esa función la cumplen los marcos de concreto. El edificio se diseñó como del grupo A, con un 30% de incremento en el coeficiente sísmico. Se aprecia una buena calidad de ejecución y detallado. La cuantía de refuerzo transversal en las columnas y en las juntas es superior a la usual. La cimentación es con piletas de fricción.

El daño se concentró en los primeros 5 pisos y consiste esencialmente en la formación de articulaciones plásticas de momento negativo (en algunos casos también de positivo) en los extremos de las vigas por el trabajo de marco en dirección longitudinal. Hay un ligero agrietamiento de tensión diagonal en las columnas y signos de principio de falla por flexión en la base de las columnas de planta baja. No se aprecia daño alguno por la acción sísmica en dirección transversal, donde los muros proporcionaron una resistencia y rigidez a fuerza cortante notablemente superiores, aunque el factor de seguridad para momento flexionante en la base de los muros no era superior al requerido por el código de 1976 (para coeficiente de $0.06 \times 1.3 = 0.078$). Por otra parte la capacidad en flexo compresión de las columnas era al menos 50% superior a la de las vigas que concurrían al nudo, dando lugar a una estructuración tipo columna fuerte-viga débil.

El periodo natural medido en la dirección longitudinal fue 61% del correspondiente a la dirección transversal, reflejando no solo la menor rigidez lateral de dicha dirección sino también el daño que en ella había ocurrido.

Es notable la diferencia de comportamiento de los dos sistemas estructurales; ambos permitieron sobrevivir el sismo sin colapso, pero el sistema con muros de rigidez lo hizo sin daño y el de marcos solo con daño estructural intenso y con deflexiones laterales notables.

MM05-03. Se trata de un edificio de planta rectangular de cinco niveles con un sótano muy profundo y un primer piso de doble altura con mezzanine en una pequeña parte de la planta y con columnas muy esbeltas en ese primer

piso. Los sistemas de piso son de losa monolítica con vigas acuarteladas de un peralte relativamente pequeño para el claro de 7.5 m en ambas direcciones. En la dirección transversal el edificio cuenta con un muro de concreto que rellena una de las crujías y en otra un muro de mampostería reforzado con malla de acero electro soldada recubierta con un mortero de cemento de 4 cm de espesor. En la dirección longitudinal hay un muro de tabique en toda la longitud de uno de los lados separado de las columnas con una tira de celotex de 1 cm de espesor. Sin embargo, las dadas a media altura y los castillos intermedios están anclados a la estructura principal. En el otro extremo, de fachada, existe también en todos los pisos desde el mezzanine, un muro de tabique apoyado sobre un volado que sobresale cerca de 1 m del eje de columnas. El armado del edificio muestra algunos defectos, como escasez de estribos, traslape de un número excesivo de barras en una misma sección y recubrimientos exagerados, todo ello en las columnas, así como un pobre anclaje entre el muro de concreto y las vigas y columnas de los marcos.

El daño principal consistió en la falla por cortante del muro de concreto en la dirección transversal en la planta baja y en el primer piso. La grieta diagonal en el muro penetró también en las columnas que lo limitan. Algunas columnas entre los niveles 1 y 3 muestran también agrietamiento de cortante. La alta flexibilidad del primer piso produjo probablemente una amplificación importante en las fuerzas laterales en los pisos inmediatamente superiores donde el daño fue máximo. El periodo medido en la dirección transversal es muy largo para un edificio de 5 pisos, mientras que en la dirección longitudinal el periodo es notablemente inferior, lo que revela que la contribución a la rigidez de los muros de mampostería en los dos ejes extremos fue mayor que la de los dos muros de cortante colocados en la dirección transversal.

LR07-04. Este es un edificio de planta aproximadamente cuadrada de siete pisos destinados a fábrica de ropa y probablemente sujeto a cargas vivas muy elevadas en el momento en que ocurrió el sismo. La estructura está constituida por columnas y losa reticular. En las dos fachadas de colindancia en la dirección transversal había muros de relleno de mampostería pobre, probablemente reforzados con diagonales de concreto en dos de las crujías en cada

extremo. La planta baja es de gran altura y las columnas resultan exageradamente esbeltas. La cantidad de refuerzo, especialmente el transversal, es pobre en dichas columnas.

El daño es muy generalizado en los primeros cinco pisos y consiste principalmente de grietas severas de cortante y flexo-compresión en las columnas, con pandeo del refuerzo longitudinal en algunos casos. En la losa plana hay algunas líneas de fluencia de momento negativo, paralelas a la dirección longitudinal, pero principalmente hay abundante agrietamiento de cortante en las nervaduras y en las zonas macizas alrededor de las columnas, en estas últimas se aprecian signos de aplastamiento del concreto en el contacto con la losa, indicando que ocurrieron grandes rotaciones en la conexión. El cubo de escaleras y elevadores de mampostería pobre quedó casi totalmente destruido. El edificio está inclinado con un desplome de más de 20 cm hacia la calle. No se pudo averiguar si este desplome, o parte de él, existían ya antes del sismo. El mecanismo de falla por flexión en la losa es más claro en la dirección transversal mientras que en la dirección longitudinal domina la cortante en las columnas.

El periodo fundamental medido en la dirección longitudinal es extraordinariamente largo poniendo en evidencia la flexibilidad original de la estructura y el grado de daño que esta sufrió. En la dirección transversal el periodo resultó menor indicando que los muros de mampostería proporcionaban un efecto rigidizante importante, a pesar del grave daño que sufrieron.

LRll-05. Se trata de un edificio rectangular de 11 pisos de dimensión reducida en la dirección de la calle. Tiene columnas circulares robustas (de un 1 m de diámetro en los pisos inferiores) y una losa reticular de 40 cm de peralte para tableros de 6 x 8.9 m. La zona sólida alrededor de las columnas es muy pequeña en la dirección corta. En los lados largos habían muros de mampostería pobre, se tiene así una planta baja débil en la dirección corta.

El daño principal está constituido por agrietamiento de cortante en las columnas que presentan también grietas verticales debidas a carga axial. El daño se concentra en la planta baja, pero subsiste también en los pisos superiores hasta cerca de la mitad de la altura del edificio. No hay evidencia

de daño en la losa reticular. Los muros de relleno interiores sufrieron gran destrucción, especialmente los alineados en la dirección corta. Los muros de colindancia quedaron en muy buenas condiciones manteniendo una alta rigidez de la estructura en esa dirección, como se comprueba por el bajo periodo de vibración medido en dicha dirección.

LR10-O7. Se trata de un edificio de planta aproximadamente cuadrada de 10 pisos, con losa reticular de 45 cm para claros de 8.25 m en cada dirección. Este edificio había sufrido daño no estructural importante en el sismo de 1979, con algún agrietamiento de las columnas de la fachada posterior en el sótano. Se repusieron los muros del cubo de servicios de gran dimensión en el centro de la planta, mediante mampostería de buena calidad con abundancia de castillos y dalas. Se agregaron muros de mampostería en la fachada posterior, también reforzados con dalas y castillos. En algunos casos estos muros no abarcaban toda la altura, sino dejaban una abertura de 50 cm a todo lo largo de la crujía.

El daño consistió ahora principalmente en agrietamiento diagonal de las columnas especialmente en los pisos superiores y en la dirección E-W. Una columna en la esquina S-E falló totalmente por cortante. La losa reticular muestra abundante agrietamiento por flexión y por tensión diagonal en las nervaduras, especialmente entre los pisos 5 y 7. Los muros de mampostería se agrietaron notablemente especialmente los interiores. El edificio tiene un hundimiento generalizado y un asentamiento diferencial máximo de cerca de 50 cm hacia la esquina N-E. El cubo central de servicios tiene un hundimiento relativo al resto de la construcción de más de 20 cm, reflejando un mecanismo de falla similar al descrito para el edificio LR10-01: la concentración de rigidez lateral y la falta de un apoyo adecuado hicieron que el cubo se hundiera.

Los periodos naturales medidos son muy elevados, indicando una alta flexibilidad lateral del edificio.

LR15-0 8 Este edificio es parte de un conjunto de tres unidades similares destinadas a oficinas. Los dos primeros niveles son de dimensiones mayores en planta y arriba de ellos siguen 13 plantas tipo. La estructuración es con columnas, bastante robustas en la dirección longitudinal, con dos muros de

concreto en la dirección transversal. El sistema de piso es una losa reticular de 45 cm de peralte. El acero de refuerzo es de grado 50.

El daño fue moderado en los primeros cuatro pisos; de allí hasta el nivel 11 se apareció un agrietamiento generalizado de cortante en las columnas, especialmente en la cercanía del núcleo de servicios donde se localizan los muros de cortante. En esta misma área hay un agrietamiento severo por cortante de la losa reticular en la zona sólida alrededor de las columnas.

Se aprecian signos de que el edificio sufrió desplazamientos laterales extraordinariamente elevados durante el sismo. También en este caso el núcleo central rígido muestra un hundimiento diferencial con respecto al resto de la planta. Las diferencias llegan a ser de más de 25 cm. Estos asentamientos produjeron solo un ligero agrietamiento en la losa.

El periodo medido en la dirección longitudinal, sin muros de concreto, fue 25% superior que el registrado en la dirección transversal. Un edificio gemelo del mismo conjunto había sido ya reforzado con muros adicionales de concreto, especialmente en la dirección transversal. El periodo fundamental se redujo a 1.5 seg en ambas direcciones comparado con los 2.6 seg medidos en la dirección más flexible del edificio aquí estudiado.

5. EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL DAÑO

Se estableció un procedimiento de evaluación cuantitativa del daño con el fin de comparar el comportamiento de los edificios, y para que sirviera de base para estudios estadísticos sobre grupos mayores de edificio. También se empleó este índice para correlacionarlo con otros índices aproximados de la resistencia sísmica de los edificios y para extraer conclusiones sobre la vulnerabilidad de diferentes construcciones en distintas zonas de la ciudad.

El índice de daño pretende ser una medida del grado en que se ha afectado la capacidad de la estructura para resistir efectos sísmicos, toma como base el grado de daño de los elementos estructurales principales, al que se le asigna una calificación de I a V en la forma que se indica en la tabla 4. El índice asignado a cada elemento depende de la importancia que tenga el elemento en la

estabilidad de la estructura completa y del grado de ductilidad a fragilidad del modo de falla que puede presentarse por el daño detectado.

Así una grieta vertical en una columna es mucho más grave que una viga porque en la primera indica problemas de capacidad por carga vertical de la misma y en la segunda solo trabajo en flexión del elemento. En una viga una grieta diagonal es más grave que una vertical, porque la primera se relaciona con una falla por tensión diagonal que tiene características menos dúctiles.

Con base en estos valores se obtiene un índice de daño de cada entrepiso en cada una de sus dos direcciones principales. Este se determina a partir del nivel de daño asociado (relación de fuerza cortante basal a peso total del edificio) para el cual la fuerza lateral aplicada a cada piso iguala la fuerza cortante resistente de dicho piso. Para un edificio se tiene así un juego de valores de coeficientes sísmicos resistentes: uno para cada piso y para cada dirección.

La fuerza cortante actuante en cada piso se obtiene por el método estático de diseño sísmico. La fuerza cortante resistente se determina como la suma de las capacidades de todos los elementos verticales (columnas, muros de concreto y muros de mampostería). La capacidad de los elementos verticales puede estar regida por su resistencia a cortante o flexocompresión o puede ser limitada por la capacidad a flexión o cortante de los elementos de piso que los conectan (vigas o losa plana).

Cuando se conocen el refuerzo y las propiedades de los materiales de los elementos estructurales, pueden calcularse con métodos convencionales simplificados las resistencias, para los distintos estados límite, de los miembros involucrados en el mecanismo de falla crítico y de allí la fuerza cortante resistente del entrepiso. Cuando no se cuenta con planos estructurales detallados solo es posible hacer una estimación burda del cortante resistente de entrepiso, asignando un esfuerzo cortante resistente a cada elemento. En la referencia 1 se han deducido para las condiciones usuales de la Ciudad de México, esfuerzos resistentes que varían entre 5 y 10 kg/cm por columnas, dependiendo de su relación de altura a peralte; y entre 12 y 20 kg/cm² para muros de concreto según su relación de aspecto. Para muros de mampostería estos esfuerzos se hacen variar entre 1 y 2 kg/cm² de acuerdo con el tipo

de material y del refuerzo. Cabe resaltar que puede haber sobrestimaciones graves de la resistencia al proceder de esta manera, cuando la capacidad del entrepiso está regida por la de elementos de piso particularmente débiles.

La fuerza cortante resistente del entrepiso se obtiene como la suma de las contribuciones de los distintos elementos individuales, afectadas por un factor de participación que toma en cuenta que las capacidades máximas de los distintos elementos no se alcanzan simultáneamente. Estos factores varían entre 0.7 y 1.0.

Para tomar en cuenta distintos efectos que pueden producir concentraciones de fuerzas sísmicas en algunas partes de la estructura o que pueden reducir la resistencia de algunos elementos o entrepiso, el coeficiente sísmico obtenido con el procedimiento anterior se modifica por un factor correctivo de irregularidad estructural. Este se obtiene como el producto de factores parciales relacionados con la asimetría en planta y en elevación con discontinuidades de resistencia y rigidez entre los diferentes pisos y con la esbeltez del edificio.

El coeficiente sísmico resistente, determinado de esta manera burda, se correlacionó con el índice de daño de los ocho edificios estudiados, para cada dirección y para el entrepiso en que el índice de daño fue máximo. Los resultados se presentaban en forma gráfica en la figura 2. A pesar de la notable dispersión y la escasez de datos en algunas zonas, se aprecia una disminución clara del índice de daño cuando el coeficiente sísmico resistente crece, indicando que el procedimiento de evaluación aproximada de la seguridad sísmica puede resultar confiable.

6. CONCLUSIONES

Los ocho edificios incluidos en la evaluación habían sido objeto de un diseño sísmico y, aunque no se ha hecho aun una determinación precisa, es probable que todos cumplieren con los requisitos del reglamento en vigor en cuanto a resistencia a carga lateral; la calidad de los materiales y de la ejecución fue en general buena, aunque en diversos casos el detallado del refuerzo era muy pobre, especialmente en lo que se refiere a refuerzo transversal.

Todos los edificios eran excesivamente flexibles al menos en una dirección y en la mayoría de los casos no cumplían con los requisitos de desplazamiento lateral admisible por el reglamento, cuando estos desplazamientos se calculan con hipótesis realistas acerca de la rigidez de los elementos estructurales, especialmente los de piso. Los periodos fundamentales medidos fueron extraordinariamente largos: en promedio la relación entre el periodo (en segundos) y el número de pisos fue 0.18. La gran flexibilidad indicada por estos periodos tan largos puede atribuirse solo en parte al daño estructural sufrido por los edificios; se debe esencialmente a la poca rigidez lateral de la estructura y a la contribución significativa de la rotación de la base por el tipo de cimentación de losa corrida y de pilotes de fricción. Las características que contribuyeron a la alta flexibilidad de la estructura fueron la baja rigidez del sistema de piso prevaeciente de losa reticular, la frecuente gran altura de la planta baja y en general, la excesiva esbeltez de las columnas, propiciada por la práctica de hacer mínimo el peralte de las mismas en una dirección, para facilitar la circulación y el aprovechamiento del espacio.

El daño se concentró en las columnas, especialmente por efectos de fuerza cortante; la contribución de los muros de mampostería a la capacidad a cargas laterales fue significativa. De la inspección de la tabla 3 se aprecia que el nivel de daño y el periodo natural de los edificios fueron siempre menores en las direcciones donde existían muros diafragma en los ejes de colindancia.

En tres edificios se observó el hundimiento del núcleo rígido central con respecto al resto de la estructura, indicando que no se había proporcionado una cimentación adecuada para soportar las altas concentraciones de fuerzas que estos elementos absorben.

El examen de los resultados de la evaluación cuantitativa del daño en los ocho edificios (figura 2) muestra que el nivel de daño se correlaciona esencialmente con el nivel de resistencia a carga lateral de la edificación en cada dirección, sin que se aprecien diferencias por algunos factores que se han considerado significativos en la vulnerabilidad de los edificios. Desde luego, el tamaño de la muestra es tan reducido que no pueden hacerse afirmaciones contundentes al respecto.

No se aprecia diferencia en el nivel de daño entre los seis edificios ubicados en la zona de mayor densidad de daños (según se define en la Parte I de este informe) con respecto a los dos restantes (MR10-07 y LR15-08) que se localizan en suelo blando. Pero fuera de dicha zona, un buen número de edificios tienen periodos de vibración cercanos a los 2 seg; sin embargo, no hay evidencia de diferencias en nivel de daño en aquellos cuyos periodos difieren sustancialmente de dicho valor. Tampoco se aprecia diferencia en el nivel de daño que ocurrió en la dirección NS y el correspondiente a la dirección EW de los edificios.

Se considera importante realizar la evaluación de un número mayor de edificios, no solo para determinar la relación entre el nivel de daño y el índice de resistencia, sino también para estimar la influencia que factores como los tres antes mencionados tuvieran en el daño.

Tabla 1. Características de los edificios evaluados.

CLAVE	NIVELES	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	USO	FORMA	SISTEMA ESTRUCTURAL	TIPO DE DAÑO
LR12-01	Sótano+PB+11 Tipo	1980-1982	Estacionamiento hasta N2 y oficinas	Trapezoidal, esquina	Losa reticular, cubo de muros, concreto, pilotes de fricción.	Cortante y flexocompresión losa, hundimientos diferenciales.
MM10-02	Sótano+PB+9 Tipo	1970-1971	Oficinas	Rectangular regular	Marcos de concreto, muros de rigidez, cajón de cimentación.	Articulaciones plásticas extremos de vigas, algunos daños en columnas (dirección larga).
MM05-03	Sótano+PB+4 Tipo	1965	Comercio	Rectangular esquina	Marcos de concreto, vigas acarteladas, muros de rigidez, cajón de cimentación.	Falla en muros de concreto, grietas cortante en columnas.
LR07-04	Sótano+PB+6 Tipo	1968-1969	Taller de costura y comercio	Aproximadamente cuadrada	Losa reticular, columnas rectangulares, muros de mampostería con diagonales robustas.	Grietas de cortante y flexo compresión en columnas, agrietamiento en capiteles N1 a N5.
LR11-95	Sótano+PB+10 Tipo	1971	Taller de costura	Rectangular regular	Losa reticular, columnas circulares robustas, cajón de cimentación con pilotes de punta.	Grietas de cortante en columnas (dirección corta), falla en nervaduras fuera del capitel, principios.
LR08-06	8 losas tipo	1979	Habitación	Rectangular con dos cubos de luz	Losa reticular, columnas rectangulares, planta baja débil en dirección cortante, pilotes de fricción.	daño sustancial en muros divisorios, agrietamiento, columnas PB dirección corta, daños apreciables en losas.
LR10-07	Sótano+PB+9 Tipo	1975	Oficinas	Aproximadamente cuadrada	Losa reticular, columnas cuadradas, cubo de servicio de mampostería confinada.	Hundimiento notable agrietamiento cubo servicios, falla por cortante de columnas y losa.
LR15-08	Sótano+2 pisos grandes+13 reducidos	1980-1981	Oficinas	Aproximadamente cuadrada con aplicación en primeros pisos	Losa reticular, columnas rectangulares y dos muros de concreto en una dirección.	Falla de cortante en losa reticular, algunos daños en columnas, asentamiento cubo de servicios.
LR10-07	Sótano+PB+9 Tipo	1975	Oficinas	Aproximadamente cuadrada	Losa reticular, columnas cuadradas, cubo de servicios de mampostería confinada.	Hundimiento notable, agrietamiento cubo de servicios, falla por cortante de columnas y losa.
LR15-08	Sótano+2 pisos grandes+13 reducidos	1980-1981	Oficinas	Aproximadamente cuadrada con ampliación en primeros pisos	Losa reticular, columnas rectangulares y dos muros cortos de concreto en una dirección.	Falla de cortante en losa reticular, algunos daños en columnas, asentamiento en

PARTE II. EVALUACIÓN DETALLADA DE EDIFICIOS TÍPICOS

Tabla 2. Clave de asignación de nivel de daño en elementos estructurales.

NIVEL	DEFINICIÓN
I	Fisuras (abertura < 0.2 mm)
II	Grieta clara (abertura 0.2 > 1.0 mm)
III	Agrietamiento importante (abertura 1.0 > 5 mm) o principio de aplastamiento o desprendimiento del concreto
IV	DEsprendimiento importante del concreto con exposición del refuerzo
V	Pandeo de refuerzo, aplastamiento del concreto dentro del núcleo, distorsión del elemento estructural

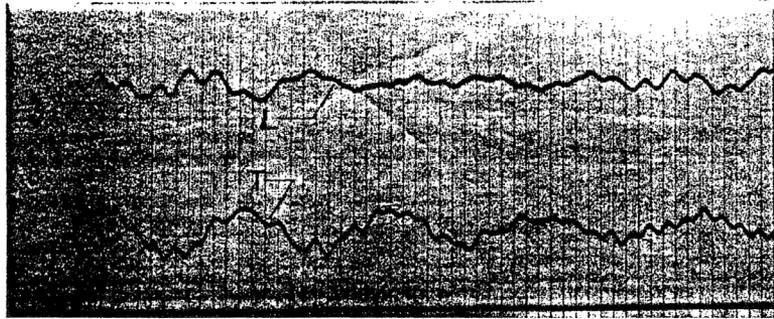
Tabla 3. Índices determinados para los edificios.

CLAVE	DIRECCIÓN N-S			DIRECCIÓN E-W		
	PERIODO (SEG.)	ÍNDICE DE DAÑO	COEFICIENTE DE RESISTENCIA	PERIODO (SEG.)	ÍNDICE DE DAÑO	COEFICIENTE DE RESISTENCIA
LR12-01	1.7	5.7 (3)	0.11	2.3	4.7 (7)	0.12
MM10-02	1.3	0.5 (6)	0.30	2.1	6.9 (4)	0.11
MM05-03	1.1	4.5 (2)	0.18	0.7	7.1 (2)	0.13
LR07-04	2.1	7.0 (2)	0.11	1.3	7.0 (2)	0.16
LR11-95	2.5	2.5 (3)	0.21	2.6	3.5 (5)	0.19
LR08-06	0.7	5.0 (1)	0.08	0.4	5.0 (1)	0.13
LR10-07	2.2	6.7 (7)	0.12	1.9	7.7 (7)	0.11
LR15-08	2.1	3.8 (4)	0.13	2.6	4.3 (5)	0.12
LR10-07						
LR15-08						

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

ÍNDICE DE DAÑO DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	PORCENTAJE DE ELEMENTOS CON ESTE DAÑO EN EL ENTREPISO	ÍNDICE DE DAÑO DEL ENTREPISO
I	Grietas delgadas en vigas, aligerado o muros de concreto (ancho menor a 0.2 mm).	Menor que 10	0.1
		10 a 30	0.2
		30 a 50	0.3
		más de 50	0.5
II	Grietas delgadas en columnas (0.2 mm). Grietas visibles en vigas, losas y muros (con ancho entre 0.2 mm y 1.0 mm).	Menor que 10	0.3
		10 a 30	0.5
		30 a 50	0.7
		más de 50	1.0
III	Grietas visibles en columnas (entre 0.2 mm y 1.0 mm). Grietas mayores (mayores a 1.0 mm) o caída del recubrimiento del concreto en vigas, losas o muros.	Menor a 5	0.5
		5 a 10	1.0
		10 a 30	1.5
		30 a 50	2.5
		más de 50	3.5
IV	Grietas mayores (mayores a 1.0 mm) en columnas o caída del recubrimiento del concreto con exposición de acero y pandeo del acero. Caída del concreto, exposición de acero, acero pandeado en vigas, losas o muros.	Menor que 5	1.0
		5 a 10	1.5
		10 a 30	2.5
		30 a 50	3.5
		más de 50	5.0
V	Caída del recubrimiento del acero de refuerzo en columnas, estribos abiertos. Gran deformación en visitas y losas, indicios de penetración de columna en losa o de falla por cortante.	Menor que 5	2.0
		5 a 10	2.5
		10 a 30	3.5
		30 a 50	5.0
		más de 50	7.5

Edificio LR 12-01

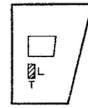


Registro Low

Periodos estimados

L 1.6 s

T 2.26 s



Localización del instrumento



Registro High

Figura 1. Registro típico de vibración ambiental.

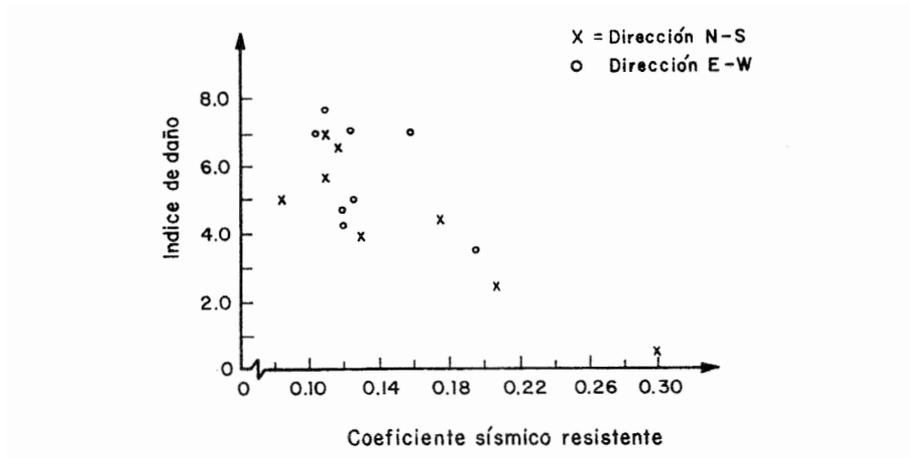
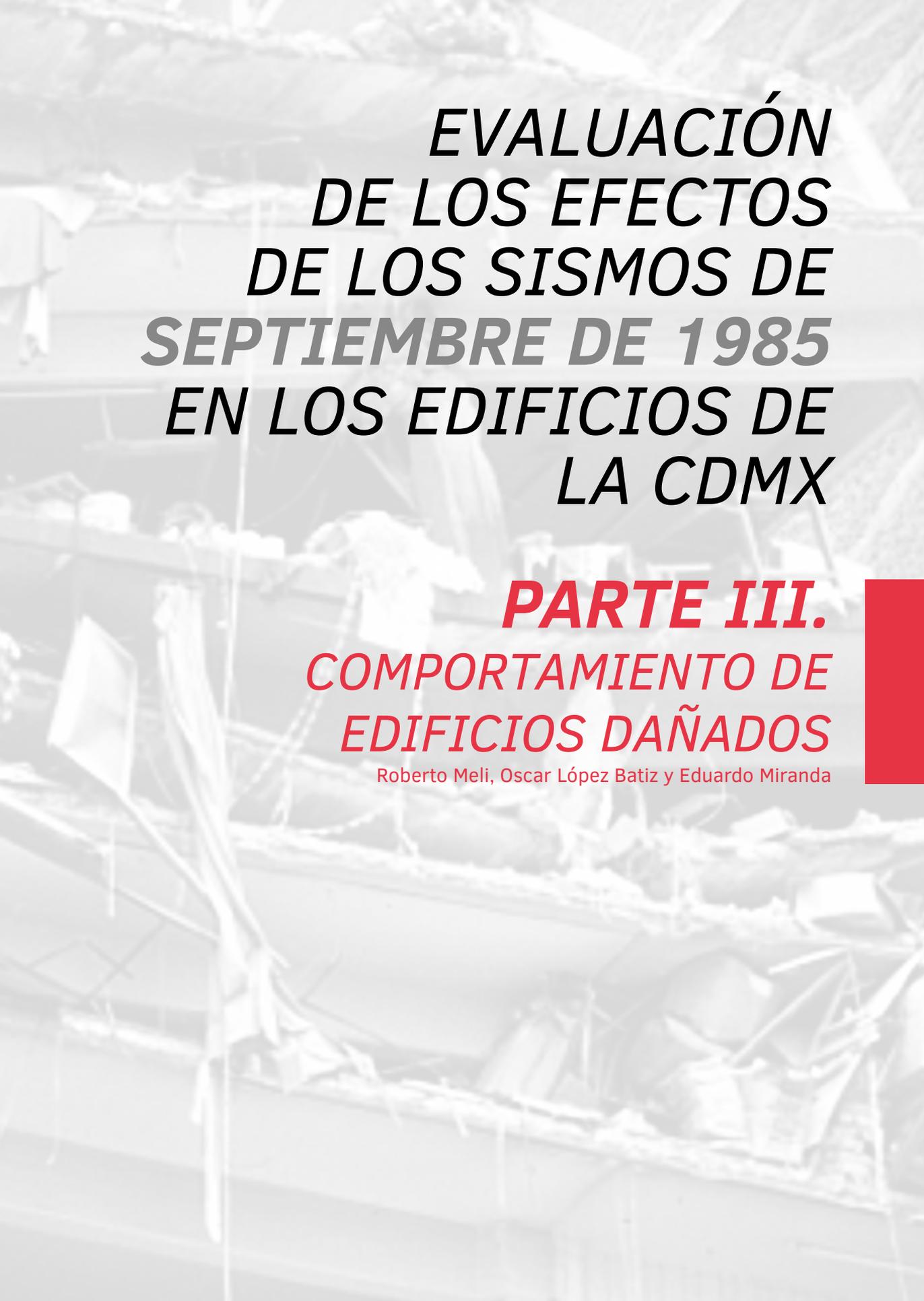


Figura 2. Resultados de la evaluación aproximada de ocho edificios.

ANEXO A.

DATOS DE LOS EDIFICIOS EVALUADOS



***EVALUACIÓN
DE LOS EFECTOS
DE LOS SISMOS DE
SEPTIEMBRE DE 1985
EN LOS EDIFICIOS DE
LA CDMX***

***PARTE III.
COMPORTAMIENTO DE
EDIFICIOS DAÑADOS***

Roberto Meli, Oscar López Batiz y Eduardo Miranda

PARTE III. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS

Roberto Meli, Oscar López Batiz y Eduardo Miranda

Se hizo un seguimiento de los edificios que habían sido reportados como dañados en los informes de los sismos ocurridos en 1957 y 1979 en la Ciudad de México. Se determinaron las acciones de reparación a las que habían sido sometidos y se evaluó el comportamiento en los sismos de septiembre de 1985. De la información recabada se extraen algunas estadísticas y ciertas conclusiones cualitativas acerca de la eficiencia de los procedimientos de refuerzo adoptados. Se concluye que esta eficiencia fue muy pobre porque los edificios se reforzaron para resistir fuerzas muy inferiores a las que se vieron sujetos en los sismos recientes, porque en general las acciones se limitaron a refuerzos locales y porque con frecuencia la calidad de la ejecución fue pobre.

1. INTRODUCCIÓN

Los sismos recientes dejaron un gran número de edificios afectados en su estabilidad, que deben ser reparados. La evidencia de la intensidad excepcional de movimiento sísmico ha conducido además a la revisión de las normas de diseño hacia exigencias mucho más estrictas, por lo que no es suficiente restaurar la condición original de los edificios afectados, sino que estos deben ser reforzados para resistir fuerzas sísmicas sustancialmente superiores a las que tenían antes del sismo.

La problemática del refuerzo de estructuras dañadas es compleja tanto desde el punto de vista técnico como del económico y social.

El desarrollo tecnológico con respecto a los criterios y procedimientos de reparación es limitado, aunque recientemente se han producido recomendaciones relativamente amplias al respecto, sobre todo en Japón (referencia 1) y en los países balcánicos (referencia 2). Una recopilación de las técnicas más convenientes de reparación se publicó en México algunos meses después del sismo (referencia 3). Una gran oportunidad para evaluar la eficiencia de diferentes procedimientos de refuerzo la ofrece la observación del comportamiento de edificios que habían sido dañados en temblores previos y que habían sido sometidos a diferentes procesos de reparación. Esta evaluación es el objetivo principal de este trabajo, que se basó en el seguimiento de dos grupos de edificios que habían sido reportados como dañados en 1957 y 1979.

Se pudo contar con un excelente informe que describe en forma detallada las características y el comportamiento de 100 edificios dañados en el sismo de 1957 (referencia 4). Además se tenía un informe sobre el comportamiento de 43 edificios dañados en el sismo de 1979 (referencia 5).

Se trató de seguir la historia de cada uno de estos edificios, investigando las modificaciones y reparaciones de las que fueron objeto y evaluando su comportamiento en el sismo de 1985.

De la información recabada se extrajeron algunas estadísticas y ciertas interpretaciones cualitativas que se cree pueden ser de utilidad para decisiones sobre futuras reparaciones.

2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La información de partida para este estudio es la contenida en los informes sobre los sismos previos. El informe sobre daños a los edificios en 1957 (referencia 4) incluye los siguientes datos sobre 100 edificios: croquis de la planta y elevación, ubicación, sistema estructural, tipo de cimentación, calidad de ejecución de la construcción; resistencia de proyecto del concreto y coeficientes sísmicos empleados (en algunos casos).

También se describen los daños no estructurales indicando el porcentaje de elementos dañados, así como el tipo, su localización y causa probable. En la mayoría de los casos se incluyen comentarios sobre el comportamiento observado y estadísticas sobre las características de las construcciones dañadas y sobre los modos de falla que presentaron.

El informe sobre daños a edificios en el sismo de 1979 (referencia 5) contiene datos de 44 casos que incluyen: sistema estructural, fecha de construcción, descripción y clasificación del daño, así como comentarios sobre naturaleza y causas del daño.

Ambos informes incluyen fotografías de las construcciones en su conjunto y de sus partes afectadas; estas fotos resultan de utilidad para identificar las modificaciones y las reparaciones efectuadas, así como para verificar los niveles de daño de acuerdo con un criterio común. Solo 5 edificios son comunes a los dos informes, por lo que el número de casos con que se contó fue de 139.

Existen además, informes más generales sobre los efectos de los sismos que tratan de explicar las causas de los daños observados y las lecciones que se derivan del sismo de 1957 (referencia 6 y 7) y del de 1979 (referencia 8).

El trabajo realizado en el presente estudio consistió en visitar los edificios identificados como dañados en los dos sismos previos, para verificar primeramente los datos de los informes respectivos, determinar las reparaciones y modificaciones realizadas después de los sismos anteriores y evaluar el comportamiento durante el último temblor.

Con respecto a las reparaciones previas, la información se obtuvo inicialmente de entrevistas con los encargados de vigilancia, ocupantes, propietarios o ingenieros de mantenimiento con los que se pudo establecer contacto. En un número reducido de casos se pudieron conseguir planos de la estructura original y de sus reparaciones. La información recabada de esta forma se verificó por inspección directa y detallada de los edificios.

La inspección del edificio sirvió para determinar el comportamiento en los sismos recientes. La evaluación se hizo con lineamientos similares a los que se siguieron en los dos informes anteriores. Se llegó a calificar el daño estructural y no estructural en tres niveles: grave, moderado y leve.

El daño no estructural se refirió esencialmente a muros divisorios y elementos de fachada, recubrimientos y plafones. También incluyó algunos elementos estructurales secundarios que no forman parte de la estructura principal resistente a cargas verticales y horizontales, tales como elementos de escalera. El nivel con que se calificó el daño no estructural depende más del porcentaje de elementos afectados que del grado de daño en ellos (leve: menos de 10% de elementos afectados; grave: mayor de 30% y moderado para un porcentaje intermedio).

El daño estructural se calificó tanto para los elementos particulares como para la estructura en su conjunto. El daño estructural de un elemento se calificó como grave cuando presentaba agrietamientos con aberturas a superiores a 1.0 mm, o aplastamientos del concreto o pandeo del refuerzo; como moderado si había grietas atribuibles a cargas externas con espesores entre 0.2 y 1.0 mm y como leve para grietas menores.

El daño de la estructura en su conjunto se calificó grave cuando habían suficientes casos de daño grave en elementos aislados para poner en peligro la estabilidad de una parte importante de la construcción; como moderado cuando los elementos con daños graves eran aislados o había más de 20% de elementos con daño calificado como moderado. Finalmente, el daño estructural del conjunto se calificó como leve cuando solo había daños leves en los elementos aislados o daños moderados en no más del 20% de los elementos. También se tomó en cuenta el posible desplome del edificio en la calificación del daño de la estructura, calificando como graves aquellos casos en que el desplome excedía de 50%, moderados aquellos en que se encontraba entre 30 y 50% y leves los que tenían desplomes entre 15 y 30%.

Con respecto a la calificación de la reparación que pudo haber tenido el edificio, ésta se definió como refuerzo cuando hubo una intervención que se juzgó, tendía no solo a subsanar los efectos del daño sino a eliminar los defectos o la escasez de resistencia que había ocasionado dicho daño. No se calificó como refuerzo cuando solo se había procedido a un resane local de los elementos, como estos últimos casos eran difíciles de detectar se incluyeron en un caso general de edificios no reforzados.

De los 100 casos correspondientes al sismo de 1957, 12 ya habían sido demolidos antes del sismo, sea por daños o por obsolescencia; en 8 edificios no pudo tenerse acceso por impedimentos diversos.

De los 44 casos correspondientes al sismo de 1979, cuatro no fueron localizados o no pudo tenerse acceso y cuatro más habían sido demolidos; cuatro de los restantes son comunes a los de 1957. La información estadística se refiere a un total de 111 edificios.

Para cada caso se elaboró un informe que contiene, además de los datos generales del edificio y características estructurales, la descripción de los daños observados en sismos previos, las acciones de reparación efectuadas y el comportamiento en los sismos recientes, se adjuntan comentarios sobre el comportamiento, plantas, croquis y documentación fotográfica. La tabla 1 presenta las características principales de los edificios dañados, el tipo de daño que sufrió en los sismos previos, las acciones que se tomaron y el comportamiento en los sismos recientes. La misma información se resume en la tabla 2 definiendo los niveles de daño estructural y no estructural.

3. COMPARACIÓN DE DAÑOS

3.1 Distribución geográfica

De la comparación de los tipos de estructuras dañadas y de las características de los daños mismos pueden extraerse algunas conclusiones interesantes sobre las diferencias de las construcciones en las tres épocas y sobre las diferencias entre los tres movimientos sísmicos. Con relación a la distribución geográfica del daño conviene reproducir los mapas de ubicación de edificios dañados, incluidas en los informes de los tres sismos (referencia 6 y 7). Estos aparecen en las figuras 1, 2 y 3. La figura 4 reproduce la comparación entre las tres zonas identificadas como de mayor daño a partir de la inspección de las figuras anteriores. Hay que puntualizar que mientras que las áreas correspondientes a los sismos de 1957 y 1979 cubren prácticamente la totalidad de las zonas donde se presentaron daños de cierta importancia, lo que corresponde a 1985 se refiere únicamente a la zona en que la densidad de construcciones

dañadas fue muy elevada y que el daño se extiende a casi la totalidad de la zona de lago en que existen construcciones, sobre todo, de más de dos niveles.

La comparación de las áreas dañadas refleja las situaciones siguientes:

a) La mayor extensión del daño en 1985 se debe principalmente a la mayor intensidad del movimiento sísmico, pero también a que el número de los edificios del tipo más sensible a los efectos sísmicos ha crecido y estos se encuentran distribuidos en una zona más extensa.

b) Las zonas de mayor gravedad de daños muestran buena coincidencia en los tres casos e indican amplificación mayor del movimiento del suelo en un área en que los depósitos de arcilla tienen ciertas características de espesor y compactación que les proporcionan un periodo natural de vibración del orden de 2 seg. Sin embargo no hay que olvidar que dicha zona es la de mayor densidad de edificios de altura mediana o grande y que pueden existir otras zonas donde la intensidad del movimiento haya sido igualmente elevada pero donde la densidad de edificios sea baja. Las diferencias en la ubicación de las zonas más dañadas en los tres casos se deben también en parte a que las zonas de mayor densidad de edificios altos han cambiado con el tiempo.

3.2 Tipología de edificios dañados y modos de falla

De la información contenida en los informes de los tres eventos sísmicos se pueden extraer algunas estadísticas con respecto a los tipos de edificios más afectados. Dichas estadísticas se resumen en las tablas 3 a 5 y permiten extraer algunas conclusiones.

a) Número de edificios dañados. La diferente intensidad de los tres eventos se aprecia al comparar el número de edificios con daño estructural, desde 22 en 1979 a 69 en 1957 y 331 en 1985. Hay que considerar además, que mientras los informes de 1957 y 1979 contienen casi la totalidad de construcciones dañadas, el de 1985 deja afuera un número considerable de ellos.

b) Número de niveles. Es notable que en los tres eventos el mayor número de edificios dañados coincide en el intervalo entre 6 y 15 niveles, revelando la mayor vulnerabilidad de las construcciones cuyos sistemas estructurales y características de vibración son típicos de edificios de esa altura.

c) Sistema estructural. Hay también concordancia en los tres eventos en lo relativo a que la mayoría de los daños ocurre en estructuras de concreto mientras que en las de acero el número de casos es reducido y referido en 1957 y en 1985 a estructuras muy antiguas con excepción de un par de casos. Las construcciones de mampostería tienen una tasa de daño muy reducida. Las de 1957 se refieren esencialmente a construcciones atípicas, de alturas de muros excepcionalmente elevadas, de materiales muy deteriorados y de baja calidad.

d) Características de los edificios dañados. Entre las características que se presentaron con mucha frecuencia en los tres casos destacan; la ubicación en esquina, los problemas previos de cimentación y el choque con edificios adyacentes. No se detectó en los sismos anteriores un número elevado de fallas en pisos superiores como ocurrió en este último evento.

e) Modos de falla. Destaca que mientras en 1957 el modo de falla predominante fue por cortante en vigas, en 1979 hubo una proporción casi uniforme de media docena de nodos de falla y en 1985 dominó la falla por cortante o flexocompresión de columnas y los problemas en losas reticulares, las que no existían prácticamente en 1985.

Las diferencias de modos de falla pueden atribuirse por una parte a las distintas características de los movimientos del terreno, sobre todo la mayor duración del sismo de 1985 puede haber propiciado un deterioro progresivo de la capacidad de las columnas. Por otro la práctica de diseño aumentó la seguridad ante falla por cortante en vigas e introdujo las losas reticulares en las que se hacen más críticos los efectos en las columnas.

4. ESTADÍSTICA DE COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS EN SISMOS ANTERIORES

Con base en la calificación del nivel de daño sufrido en los sismos anteriores y del tipo de acción que se tomó para remediarla (refuerzo estructural o solo reposición o reparación que no incrementó sustancialmente la resistencia sísmica) pueden extraerse conclusiones acerca de la eficiencia de las medidas adoptadas. El resumen estadístico se presenta en la tabla 6.

De 111 edificios, 46 habían sufrido en temblores anteriores daño no estructural únicamente y 65 daño estructural de distintos niveles. De los edificios que habían sufrido solo daño no estructural, 11 habían sido reforzados y de ellos cerca de la mitad tuvieron ahora daño estructural importante, prácticamente en la misma proporción que para aquellos que no habían sido sometidos a un refuerzo estructural. De los 27 edificios que habían sufrido daño estructural leve, solo 10 fueron reforzados y de ellos 4 sufrieron ahora daño moderado o grave, mientras que de los 13 que no fueron reforzados, 7 mostraron daños graves o moderados.

De los 38 edificios que habían sufrido daño estructural moderado o grave, 14 fueron demolidos, de 3 no hay información, 19 fueron reforzados y de ellos 11 volvieron a sufrir daños moderados o graves. De los 9 que no fueron reforzados, 6 sufrieron ahora daños graves o moderados.

Las cifras anteriores indican que el porcentaje de edificaciones dañadas anteriormente y que sufrieron ahora daño estructural importante fue muy elevado (60%). Para los edificios que habían sido sometidos a un proceso de refuerzo, este porcentaje fue solo ligeramente inferior al de los que no lo habían sido (55 contra 62%). Estos resultados llevan a concluir que la eficiencia de los procedimientos de refuerzo fue en términos generales muy baja.

Hay que tomar en cuenta que el proyecto del refuerzo tuvo probablemente como objetivo alcanzar la resistencia exigida por el reglamento en vigor, la cual es mucho menor que la necesaria para soportar el sismo del 19 de septiembre. Esto explica en parte el gran número de fallas. Sin embargo, el elevado porcentaje de fallas graves o colapsos también hace pensar que las medidas de refuerzo fueron en muchos casos solo locales y no lograron eliminar algunas debilidades intrínsecas que volvieron a ocasionar daños similares o más graves que los anteriores.

5. OBSERVACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS EDIFICIOS REPARADOS

La observación de carácter más general que puede hacerse es que cuando las medidas tomadas tendieron a una restructuración global del edificio, el

comportamiento fue en la mayoría de los casos satisfactorio, excepto que se presentaron con frecuencia problemas en la cimentación ya sea de inclinaciones del edificio o de daños locales por las concentraciones de esfuerzos que los nuevos elementos inducen en su base. Los refuerzos locales dieron lugar, como se ha dicho, casi siempre a nuevos daños. Es también evidente el incremento en la gravedad de daños de edificios que habían sufrido solo daño no estructural o estructural leve en 1957 y 1979 y que ahora fueron severamente dañados, reflejando la mayor intensidad del movimiento sísmico, más que el posible deterioro de la estructura.

A continuación se hace una relación de observaciones particulares:

a) En la mayoría de los edificios era abundante el número de muros divisorios de mampostería, generalmente ligados a la estructura. Se observó en un gran número de casos evidencia de cambios de posición de estos muros con el tiempo, los que daban lugar a modificación en el comportamiento estructural. En los edificios en que estos muros estaban desligados, las precauciones para reforzarlos contra volteamiento eran en general inadecuadas. Los cubos de escaleras y elevadores se encontraban generalmente en una posición asimétrica. Todo esto dio lugar a un gran número de casos de daños en muros divisorios y en escaleras. Las reparaciones que se habían hecho en escaleras no evitaron en general que las concentraciones de esfuerzos que éstas generan en su conexión con el resto de la estructura y en los muros que las limitan provocaran nuevamente graves daños locales.

b) La falla de apéndices como tanques y casetas de elevadores en azoteas fue muy frecuente. El desprendimiento de recubrimientos pesados en fachadas fue común en edificios construidos antes de 1957 y poco frecuente en construcciones más recientes.

c) La forma más frecuente de refuerzo fue mediante aumento de las secciones de columnas y vigas, colocando refuerzo exterior y colando un recubrimiento grueso. En este tipo de reparación se notó con frecuencia que no se había hecho preparación alguna al concreto existente para lograr buena adherencia con el nuevo y que este último mostraba en muchos casos baja calidad con ausencia de agregado grueso. Este tipo de refuerzo se realizó

en general solo en la longitud dañada de la viga o columna, por lo que el daño apareció ahora en muchos casos en las porciones de estos elementos que no se habían reparado y en otros casos en las zonas reparadas, por la falta de trabajo de conjunto con la estructura original. Los refuerzos locales de este tipo para subsanar fallas por cortante en vigas mostraron ser particularmente ineficientes, ya que volvieron a aparecer grietas similares a las de ocasiones anteriores.

d) Los refuerzos de columnas con encamisados de ángulos y placas metálicas funcionaron en general adecuadamente, pero presentaron en ocasiones comportamiento defectuoso por falta de un anclaje adecuado en sus extremos a las vigas o losas planas.

e) Los refuerzos mediante adición de elementos rigidizantes como muros de concreto o diagonales de contraventeo tuvieron un comportamiento mucho más satisfactorio en general que los que consistieron únicamente en el refuerzo de vías y columnas. En este tipo de refuerzo hubo algunos casos de fallas locales en la conexión de los elementos rigidizantes con la estructura existente.

f) En un número elevado de casos el daño por sismos anteriores se debió en buena parte al choque con edificios adyacentes. Los procedimientos de refuerzo adoptados rara vez intentaron aumentar sustancialmente la rigidez lateral o aumentar la separación entre los edificios, por lo que estos daños se repitieron ahora y fueron de mayor gravedad.

g) Algunas medidas drásticas consistieron en demoler partes del edificio que por su estructuración o posición dentro del conjunto habían tenido o provocado problemas locales. Estas medidas condujeron en general a un mejor comportamiento de la estructura. Fue poco común que se llegara como medida correctiva a la reducción de la masa del edificio mediante la demolición de algunos pisos superiores. Hubo casos que aunado al refuerzo se procedió a aumentar pisos a la construcción, con resultados muy negativos.

h) Los daños en columnas fueron más frecuentes en los ejes de colindancia y de fachada. Hay diversas razones que pueden dar lugar a ello: los choques con edificios colindantes, las concentraciones de esfuerzos inducidas por

muros de mampostería o por pretilas de fachada, la práctica de tener secciones más reducidas en estos elementos porque su área tributaria es menor que la de las columnas interiores y los efectos de torsión que son máximos en los ejes extremos y finalmente las cargas axiales introducidas por el momento de volteo que también son mayores en esos ejes y que contribuyeron seguramente a la falla en edificios con solo dos o tres crujeas de una dirección.

i) Los problemas de cimentación en los edificios reforzados fueron frecuentes; el refuerzo indujo, como se ha dicho, fuerzas mayores y más concentradas en la cimentación. Además un número significativo de edificios cuyos desplomes habían sido corregidos con pilotes de control, tuvieron fallas en los sistemas de control, lo que ocasionó nuevos desplomes.

6. CONCLUSIONES

El análisis caso por caso de los edificios estudiados permitirá a los proyectistas extraer sus propias lecciones de lo sucedido. La documentación completa se encuentra anexa a este informe. En las otras partes de este estudio se incluyen algunos casos que se estudiaron con mayor detalle.

La conclusión más clara es que la eficiencia de las intervenciones de refuerzo realizadas anteriormente fue baja porque se tendió a procurar una resistencia menor que la necesaria para soportar un sismo como el de 1985; porque se trató en la mayoría de los casos de refuerzos locales sin buscar la rigidización y refuerzo global de la estructura y de su cimentación; porque no se cuidaron los detalles de conexión de los refuerzos con la estructura existente y porque en un número significativo de casos de calidad de la ejecución del refuerzo fue pobre.

Se cuenta ahora con técnicas de eficiencia comprobada en México y en otros países para reforzar las construcciones dañadas de manera que alcancen la seguridad ante sismo prevista en las Normas de Emergencia. Es de esperarse que la observancia de estas normas y el empleo de las técnicas adecuadas de proyecto y ejecución permita evitar se vuelva a presentar una alta incidencia de daños en estructuras reforzadas.

7. REFERENCIAS

1. Sugano, S. "An overview of the state of the art in seismic strengthening of existing reinforced concrete buildings in Japan" Proc. of the Third Seminar on repair and retrofit of structures, Univ. of Michigan, may 1982.

2. "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings" United Nation Development Programme: Building construction under seismic conditions in the Balkan Region, vol. 5, Vienna, 1985.

3. Iglesias, J. et al "Reparación de estructuras de concreto y mampostería" Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México, D.F., 1985.

4. Saucedo, S.E "Estudio estadístico de daños ocasionados por el sismo del 28 de julio de 1957" Informe a la Dirección General de Obras Públicas del DDF, jun. 1960.

5. Meli, R. et al "Evaluación de los efectos del sismo del 14 de marzo de 1979 en las edificaciones del Distrito Federal". Instituto de Ingeniería, Informe interno, México, D.F., may 1979.

6. Hiriart, F., R. Marsal y E. Rosenblueth "Los efectos del terremoto del 28 de julio y la consiguiente revisión de los criterios para el diseño sísmico de estructuras" INGENIERIA, D.F., ene 1958.

Tabla 1. Características de los edificios evaluados.

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
79, A-1	Losa reticular, columnas y traves de concreto.	14	Nulo.	Leve, muros del 4º nivel.	Nulo.	Nulo.	Moderado, muros, todos los niveles.
79, A-2	Losa maciza, columnas y traves de concreto, dos torres.	11 y 9	Nulo.	Leve, muros del 4º nivel hacia abajo.	Nulo.	Tensión diagonal grave en traves de sótano y planta baja.	Moderado, muros, 3º y 5º niveles.
79, A-3	Marcos y muros de concreto.	13	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Flexión en traves de escaleras, pisos 2 y 7, tensión diagonal en traves de estacionamiento. Leve.	Ligero.
79, A-4	Marcos de concreto y muros de relleno.	8	Nulo.	Sustancial.	Reposición no estructural.	Compresión en columnas de planta baja. Grave.	Elevado.
79, A-5	Marcos de concreto, marcos de alero forrados de concreto. Son cuatro cuerpos.	8	Nulo.	Ligero.	Reestructuración y reparación menores.	Nulo.	Sustancial.
79, A-6	Columnas de concreto, losa aligerada	12	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Torsión en nudo losa-columna. 3º piso. Leve.	Elevado.
79, A-7	Marcos de acero y fosa maciza de concreto. Cubo de servicios de concreto.	6	Nulo.	Ligero.	Reparación no estructural.	Cortante en losa de concreto, en todos los niveles, en la zona de unión de los cuerpos de alero con el cubo de concreto.	Elevado.
79, A-8	Marcos de concreto, muros contraventeados.	13	Carga axial en contraventeo de muro. 4º piso, leve.	Elevado.	No hay información.	Derrumbado.	
79, A-9	Marcos de concreto.	13	Torsión y cortante en uniones viga-columna. Planta baja, leve.	Elevado.	Reparación estructural, reposición no estructural.	Tensión diagonal y flexión en traves. Piso 7 hacia abajo, aplastamiento en columnas, flexión en losas, 5º piso. Grave. Será demolido.	Elevado.

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
79, A-10	Marcos de concreto, losa aligerada, muros de relleno.	11	Cortante en trabes, niveles intermedios. Leve.	Elevado.	Reposición no estructural.	Cortante en losas (fachada). Todos los niveles: grave. Tensión diagonal en trabes de escaleras; Primeros 2 niveles: moderado; Flexión y cortante en losas de rampa de estacamiento. Grave.	Elevado.
79, A-11	Marcos de concreto.	2 de 3 y 1 de 8	Torsión y cortante en unión trabe-columna. Grave. Torsión y cortante en columnas. Leve. Pisos 1 al 4.	Elevado.	Reparación mayor, no estructural.	Torsión y cortante en uniones trabe-columna; grave. Tensión diagonal en trabes; leve. Todos los pisos presentan torsión en columnas. Pisos 5 y 6; grave.	Elevado.
79, B-1	Marcos de concreto y muros de relleno.	9	Flexión en trabe. Planta baja. Leve.	Sustancial	Reposición no estructural.	Derrumbe de 4 niveles superiores.	
79, B-2	Marcos de concreto y muros de relleno.	12	Estructura de escaleras en general grietas y desniveles en losas. Todos los pisos. Leve.	Sustancial	No hay información.	Derrumbado.	
79, B-3	Marcos de concreto y muros de relleno.	11	Grietas (probablemente por cortante) en losas del 3º y 4º nivel. Moderado a grave.	Sustancial.	No hay información.	No se pudo entrar al edificio, fue demolido.	
79, B-4	Marcos de acero forrados de concreto.	12	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Flexión y cortante en trabes de escaleras. Todos los niveles: moderado.	Elevado.
79, B-5	Marcos de concreto.	10	Torsión en columnas, pisos 5 al 10, cortante en losas, pisos 5 y 6. Leve.	Ligero.	Reposición no estructural.	Torsión en columnas, de gravedad en pisos 5 y 6, leve en todos los demás.	Sustancial.
79, B-6	Marcos de estructura mixta alero concreto.	14	Nulo.	Elevado.	Reestructuración (deligando cuetipos).	Cortante en muros de concreto; Planta baja; grave.	Ligero.
79, B-8	Muros y marcos de concreto.	18	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
79, C-1	Marcos de concreto.	11	Tensión diagonal en trabes; Todos los pisos: moderado.	Elevado.	Demolido.		
79, C-2	Marcos de concreto.	10	Cortante en columnas extremas al cubo de servicio, niveles 1 a 3 sobre mezanine. Moderado.	Elevado.	Reparación mayor.	Compresión, flexión y cortante en columnas. Pisos 1 a 6 sobre mezanine. Grave. Flexión y tensión diagonal en trabes. Todos los pisos. Moderado y grave.	Elevado.
79, C-3	Marcos de concreto.	13	Nulo.	Elevado.	No hay información.	Derrumbado.	
79, C-4	Marcos de concreto.	6	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes. Pisos 2 hacia abajo; agrietamiento en losas pisos 6 hacia abajo. Leve.	Sustancial.
79, C-5	Muros de carga.	2	Cortante en muros. Grave.	Elevado.	Demolido.		
79, C-7	Marcos de acero.	11	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Nulo.	Elevado.
79, C-8	Marcos de concreto.	8	Nulo.	Sustancial.	Reposición no estructural.	Flexocompresión en columna de planta baja, cortante en columnas, escaleras, pisos 1 y 2, cortante en losas de voladizo, todos los pisos. Grave.	Elevado.
79, C-9	Marcos de concreto.	7	Nulo.	Sustancial.	Reparación mayor.	Penetración losa- columna, cortante en losas. Todos los niveles: Grave.	Elevado.
79, C-10	Marcos de concreto.	9	Nulo. En 1982 presentó tensión diagonal en trabes, todos los pisos arriba de planta baja, grave.	Elevado.	Reparación mayor, producto de daños en 1982.	Flexión en columnas de mezanine; cortante en columnas, pisos 4 y 5; grave; Flexión y tensión diagonal en trabes; flexión en losas. Todos los pisos. Grave.	Elevado.
79, C-11	Marcos de concreto.	13	Tensión diagonal en trabes en sótano, planta baja y 1º piso. Moderada.	Elevado.	Reparación menor. Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes. En sótano, planta baja y 1º piso. Moderada.	Elevado.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
79, C-12	Marcos de concreto.	17	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Nulo.	Elevado.
79, C-13	Columnas de concreto. Losa aligerada 4 niveles. Tridilosa el resto.	14	Fracturas en la tridilosa de los 10 niveles superiores. Grave.	Elevado.	Reestructuración mayor (se eliminaron 10 niveles)	Agrietamientos en losa aligerada alrededor de columnas, similar a efectos de penetración. Pero al parecer son previos al sismo por mala reparación e intemperismo.	Nulo.
79, C-15	Marcos de concreto, losa aligerada, muros de relleno.	14	Nulo.	Elevado.	Recimentación, reposición no estructural.	Cortante en columnas. Todos los pisos. Grave.	Elevado.
79, C-16							
79, C-17	Marcos de concreto.	9	Torsión en columnas. Sótano. Leve.	Sustancial.	Reparación menor, no estructural.	Torsión en columnas de sótano, torsión en unión losa-columna, todos los pisos excepto el 6º, cortante en columnas de 4º piso. Leve. Torsión en unión losa-columna, piso 6º moderado. Cortante en columnas, pisos 6 a 8. Grave.	Elevado.
79, C-18	Marcos de concreto.	8	Tensión diagonal en trabes. 5 primeros pisos.	Elevado.	Reparación mayor, reposición no estructural.	Compresión y cortante en columnas, mezanine; tensión diagonal en trabes, 5 primeros pisos. Grave.	Elevado.
79, D-4	Marcos y muros de concreto. Cuatro torres.	16	Nulo.	Ligero.	Nulo.	Falla en pilotes de cimentación, algunos de los cuales ya lo estaban antes del sismo. Grietas en muros de concreto, todos los pisos. Leve a moderado.	Sustancial.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
79, D-5	Columnas y losa aligerada de concreto	7	Penetración losa-columna todos los pisos; flexión en columna, P.B. y 10 piso. Grave.	Elevado			
79, D-6	Marcos de acero remachados	11	Nulo	Elevado	Demolido		
79, D-7	Columnas y losa aligerada de concreto	13	Nulo	Sustancial	Reconstrucción mayor	Nulo: La reparación fue hecha por los daños ocasionados por un sismo en 1982	Ligero
79, D-9	Marcos de concreto. Muros de relleno	11	Cortante en columnas, primeros 3 pisos; tensión diagonal en traves, todos los pisos. Grave.	Elevado	Reconstrucción mayor	Nulo	Ligero
79, D-10	Marcos de concreto. Muros de relleno	7	Flexión y tensión diagonal en traves. Todos los pisos cortantes en unión trabe-columna. Sótano. Moderado.	Ligero	Reparación menor	Derrumbado	
57.3	Losa maciza, traves y columnas de concreto	10	Flexión en columnas; tensión diagonal en traves y flambeo en losas. En los niveles 2, 3 y 4. Grave.	Elevado	Reparación menor	Tensión en traves, flexión, cortante y tensión en losas. En los 6 primeros niveles. Grave	Elevado
57.4	Marcos de concreto	8	Nulo	Nulo	Reparación mayor producto de daños en 1982	Flexión en columnas, mezzanine, cortante en columnas, pisos 4 y 5 Grave. Flexión y tensión diagonal en trabe; flexión en losas. Todos los pisos. Grave.	Elevado
57.5	Marcos de concreto	13	Flexión en columnas; tensión diagonal en traves y tensión en losa. En escaleras y pisos 2, 3 y 4. Moderado.	Elevado	Reestructuración y reparatación menor	No se pudo entrar al edificio el cual fue demolido a los daños que presentó.	
57.6	Marcos de concreto. Muros de relleno y tensores.	16	Tensión diagonal en traves. En los pisos 3 y 4. Leve	Sustancial		Demolido después de los daños que sufrió en el sismo del 14 marzo, 79. No hay información.	

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57, 7	Marcos de concreto, muros de relleno.	6	Flexión diagonal en trabes del tercer piso. Leve.	Ligero.	Reposición no estructural.	Torsión en columna del 8º piso. Leve.	Ligero.
57, 8	Marcos de concreto.	10	Nulo.	Sustancial	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial
57, 9	Armaduras de acero, columnas de concreto y muros de relleno.	2	Derrumbe de muro de rigidez posterior del cine y agrietamientos graves en los restantes.	Sustancial	Reestructuración mayor del muro.	Nulo.	Nulo.
57, 12	Marcos de concreto.	8	Flexión en columnas. 4º piso. Leve.	Sustancial	Reestructuración mayor.	Nulo.	Ligero.
57, 13	Marcos de concreto. Muros de relleno.	5	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Nulo.
57, 14							
57, 15	Muros de carga y relleno.		Esfuerzo cortante en muros y tensión simple en losas. Grave. Derrumbe parcial.	Elevado.	Reposición de muros derrumbados.	Esfuerzo cortante en muros y tensión simple en losas; cortante en trabes de planta baja. Grave.	Elevado.
57, 17	Muros de carga.		Esfuerzo cortante en muros. Moderado.	Sustancial	Demolido.		
57, 19	Marcos de concreto.		Flexión en columnas, tensión diagonal en trabes, tensión en losas. Toda la estructura. Grave.	Elevado.	Demolido.		
57, 20	Marcos de concreto.		Nulo.	Ligero.	Reestructuración mayor.	Nulo.	Ligero.
57, 21	Marcos de concreto.		Flexión en columnas, tensión diagonal en trabes, planta baja. Grave.	Sustancial	Demolido.		

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57_22	Marcos de concreto.	4	Flexión en columnas, tensión diagonal en traves, planata baja. Grave.	Sustancial.	Demolición y reparación mayor.	Nulo.	Ligero.
57_24	Muros de carga, armadura de madera.	1	Flexión en vigas de vestíbulo y fachada. Grave.	Nulo.	Demolido.		
57_25	Marcos de concreto.	11	Flexión en traves, pisos 2 a 4. Leve.	Elevado.	Reestructuración mayor y refuerzo.	Nulo.	Elevado.
57_26	Marcos de concreto y muros de relleno.	9	Tensión diagonal en traves. Pisos 1º y 3. Leve.	Sustancial.	Reparación menor. Reposición N.E.	Tensión diagonal en traves, 2º piso; cortante en nudos 2º y 3º pisos. Moderado.	Ligero.
57_27	Marcos de acero acartelados y forrados de concreto. Tensores.	21	Nulo.	Sustancial.	Nulo.	Cortante en muro de concreto del cubo de elevadores. Pisos 3 al 8. Grave y moderado.	Elevado.
57_29	Marcos de concreto.	11	Nulo.	Ligero.	Nulo.	Cortante en nudos; tensión diagonal en traves de los primeros 6 pisos. Torsión en columna de 5º piso. Grave.	Elevado.
57_31	Concreto y acero.	3	Esfuerzo cortante en muros de apoyo. Grave. Flexión en viguetas. Leve.	Sustancial.	Demolido.		
57_33	Marcos de concreto, muros de relleno.	9	Tensión diagonal en traves 2º y 3º pisos. Grave.	Elevado.	Demolido.	Después de los daños que sufrió en el sismo del 14 de marzo de 1979. No hay información.	
57_34	Marcos de concreto, muros de relleno.	11	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural (N.E.)	Torsión en columnas; tensión diagonal en traves de escaleras. Pisos 3 a 5. Tensión diagonal traves 2º piso. Grave.	Sustancial.
57_36	Armaduras de acero, columnas de concreto.	3	Nulo.	Ligero.	Reestructuración mayor.	Nulo.	Ligero.

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIORAL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57/ 37	Marcos de concreto, muros de relleno.	9	Tensión diagonal y esfuerzo cortante en trabes. Flexión en columnas. Pisos 5 a 8. Grave.	Ligero.	Reparación menor.	Derrumbado.	
57/ 38	Marcos de concreto.	5	Flexión en columnas de planta baja. Grave.	Nulo.	Reparación mayor.	Nulo.	
57/ 41	Marcos de concreto.	5	Flamdeo en columnas del 3º piso. Leve.	Ligero.	Reposición no estructural	Torsión en columnas y tensión diagonal en trabes de planta baja. Leve. (muy probable anteriores al sismo)	Sustancial
57/ 42							
57/ 44	Marcos de concreto, muros de relleno.	8	Tensión diagonal en trabes, 2º piso. Moderado.	Elevado.	Reestructuración mayor. Reposición no estructural.	Nulo.	Ligero.
57/ 45	Marcos de concreto, muros de relleno.	13	Tensión diagonal en trabes. Pisos 1 al 7. Leve.	Sustancial.	Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes. Pisos 1 al 7. De moderado a Grave.	Elevado.
57/ 46	Marcos de concreto, armadura de acero sobre columnas de concreto y muros.	1	Flexión en columnas. Toda la planta. Grave. Derrumbe de los marcos de concreto.	Elevado.	Demolido y reconstruído.	Nulo.	Nulo.
57/ 48	Marcos de concreto.	13	Nulo.	Sustancial.	Reestructuración menor.	Torsión y cortante en columnas; tensión diagonal y aplastamiento en trabes; cortante en muro de concreto (de reestructuración), cortante en losas. Pisos 1 a 4. Grave.	Elevado.
57/ 49	Marcos de acero forrado de concreto y muros de relleno.	17	Nulo.	Ligero.	Reparación menor. Reposición no estructural.	Nulo.	Ligero.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57_50	Marcos de concreto, muros de relleno.	11	Tensión diagonal y esfuerzo cortante en traves, tensión simple en losas. Planta baja y pisos 2 a 4 moderado.	Ligero.	No se tiene información.	Derrumbado.	
57_51	Marcos de concreto.	7	Nulo.	Sustancial.		Demolido poco tiempo después para construir otro edificio del banco.	
57_52	Marcos de acero con acartelamiento.	14	Tensión diagonal en traves, flambes en columnas. Todos los pisos. Grave.	Elevado.	Demolido.		
57_53	Marcos de concreto, muros de relleno.	7	Flexión en columnas, tensión diagonal en traves. Lindero Norte, pisos 2 a 4. Moderado.	Sustancial.	Aumento de niveles. Reestructuración menor. Reposición N. E.	Derrumbe de 4 niveles superiores.	
57_55	Columnas de concreto, armaduras de madera, muros de relleno.	2	Volcamiento de armaduras de techo. Grave.	Elevado.	Demolición total y reconstrucción.	Nulo.	Nulo.
57_56							
57_57	Marcos de concreto.	11	Tensión, tensión diagonal y cortante en traves. Pisos 2 a 4. Leve.	Elevado.	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial.
57_59	Marcos de concreto, muros de relleno.	15	Nulo.	Sustancial.	Nulo.	Tensión diagonal en traves, todos los pisos. Leve. Compresión en columnas de planta baja y pisos 1, 2 y 3. Leve.	Elevado.
57_60	Marcos de concreto.	13	Flexión en columnas, tensión diagonal en traves. Pisos 6 al 12. Moderado.	Sustancial.	Reestructuración mayor.	Cortante 1 compresión en una columna; tensión diagonal en una trabe. Planta baja. Grave.	Elevado.

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACION	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57, 61	Marcos de concreto, muros de relleno.	11	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes, cortante en columnas, flexión en losas. Todos los niveles. Grave.	
57, 62							
57, 63	Marcos de concreto.	12	Tensión diagonal en trabes Pisos 1 al 5. Moderado.	Elevado.	Demolición.	Tensión diagonal en trabes de planta baja y pisos 1, 2 y 3. Moderado. En los demás pisos de moderado a leve.	Elevado.
57, 64	Marcos de concreto.	8	Nulo.	Sustancial.	Nulo.	Tensión diagonal y flexión en trabes. Piso 7 hacia abajo: aplastamiento en columnas, el 7º piso presenta flexión en losas. 5º piso grave. Será demolido.	Elevado.
57, 65	Marcos de concreto.	11	Destrucción del apoyo y de la unión del control de los pilotes. Grave.	Ligero.	Recimentación.		Elevado.
57, 66							
57, 67							
57, 69	Marcos de concreto.	14	Compresión y tensión diagonal en trabes; flexión en columnas; pisos 2 al 5. Grave.	Ligero.	Reparación mayor. Reestructuración menor.	Compresión y tensión en trabes, flexión en losas; Grave. Torsión en columnas. Moderado. En los primeros 5 pisos. Tensión diagonal en trabes, resto moderado.	Elevado.
57, 70	Marcos de acero forrados de concreto.	19	Flexión en trabes, cubo de elevadores, pisos 6 al 9. Leve.	Elevado.	Reparación menor. Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57. 71	Marcos de acero forrados de concreto.	24	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Ligero.
57. 72	Marcos de concreto.	18	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Cortante y/o torsión en columna. Pisos 3, 4 y 5. Leve.	Sustancial.
57. 73	Marcos de concreto, muros de relleno.	18	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Nulo.	Ligero.
57. 74	Muros de acero.	14	Flexión en columnas. Pisos 1, 2 y 3. Grave.	Elevado.	Reparación mayor y reestructuración menor.	Derrumbe de la parte reestructurada que consistió en aumentar un nivel con estructura de concreto y habilitar un cubo de luz como de servicios, de concreto.	Elevado.
57. 75	Marcos de concreto, tensores.	9	Tensión diagonal en trabes; tensión simple en losas. Pisos 2 al 5 (cubo de escaleras). Leve.	Sustancial.	Reestructuración menor. Reposición estructural.	Tensión diagonal en trabes. Leve tensión diagonal en trabes; tensión simple y cortante en losas. Estructura de escaleras, grave. Pisos 1 al 5.	Sustancial.
57. 76	Marcos de concreto.	14	Flexión en columnas; tensión simple en trabes. Pisos 3 al 8. Grave. Tensión diagonal en trabes. Pisos 2 al 6. Leve.	Ligero.	Reestructuración menor. Reposición estructural.	Compresión y cortante en columna. Piso 9. Grave. Tensión en losas, Pisos 1 al 9. Leves.	Sustancial.
57. 78	Marcos de concreto, muros de relleno.	4	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Nulo.	Nulo.
57. 79							
57. 80	Marcos de concreto, muros de relleno.	7	Tensión diagonal en trabes. Pisos 1 al 3. Leve.	Sustancial.	Reposición no estructural.	Compresión en columnas de fachada. Piso 5. Grave.	Ligero.
57. 81	Marcos de concreto.	14	Nulo.	Elevado.	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial.

IDENTIFICACION	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACION	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57/ 82							
57/ 83	Muros de carga	3	Tensión simple en losa de terraza. Leve.	Nulo.	Demolición y reposición estructural.	Muy deteriorada por escaso mantenimiento, no por el sismo.	
57/ 85	Marcos de acero acartelados.	11	Nulo.	Sustancial	Reestructuración menor.	Derrumbado.	
57/ 86	Marcos de concreto.	7	Flexión en columnas. Pisos 2 al 6. Moderado.	Elevado.	Reposición estructural.	Derrumbe provocado por el derrumbe vecino.	
57/ 87	Marcos de acero forrados de concreto.	8	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial
57/ 88	Marcos de concreto.	6	Flexión en columnas: tensión diagonal en trabes. Pisos 1 al 3. Grave.	Elevado.	Demolido.		
57/ 89	Columnas y trabes de concreto. Armaduras de acero.	3	Flambeeo de las columnas que sostentan techo y entrepiso. Grave.	Elevado.	Demolido.		
57/ 90	Muros de carga y relleno.	3	Tensión simple en muros y losas. En los voladizos de cubos de luz de todo el inmueble. Grave.	Sustancial.	Reestructuración menor.	Falla por efectos combinados de impacto del edificio vecino y compresión. En muros de colindancia (No reparados previamente)	Sustancial.
57/ 91	Marcos de concreto, muros de relleno.	13	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Nulo.	Sustancial.
57/ 92	Marcos de concreto.	11	Tensión diagonal en trabes. Planta baja. Leve.	Sustancial.	Reparación, reposición no estructural.	Tensión diagonal en una trabe, pisos 3, 4,6 y 7. Moderada.	Ligero.
57/ 93	Marcos de concreto, muros de relleno.	14	Flexión en columnas, tensión en losas; cortante en trabes. Pisos 3 al 11. Moderada.	Sustancial.	Reposición no estructural.	Tensión en losas, todos los pisos. Moderada.	Sustancial.

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	NO. DE NIVELES	DAÑO ANTERIOR AL SISMO		TIPO DE REPARACIÓN	ESTADO ACTUAL DE DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DE 1985	
			ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL		ESTRUCTURAL	NO ESTRUCTURAL
57_94	Marcos de concreto, tensores.	11	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes; flexión en losas. Pisos 1 al 3. Grave. Los demás pisos, leve. Tensores o contravientos por tensión o compresión. Grave.	Elevado.
57_95							
57_96	Marcos de concreto.	12	Nulo.	Elevado.	Reparación mayor. Reposición no estructural.	Tensión diagonal en trabes, compresión en columnas. Escaleras, graves. Tensión diagonal en trabes, pisos 3 a 5, grave; en el resto, leve. Cortante en losas, pisos 1 al 6, grave. Torsión en nudos, todos los pisos, grave. Compresión en columnas, todos los pisos, leve.	Elevado.
57_97	Marcos de concreto, muros de relleno.	10	Nulo.	Ligero.	Reposición no estructural.	Cortante y torsión en columnas en planta baja. Moderado.	Sustancial.
57_98	Marcos de concreto.	8	Tensión diagonal en trabes. Planta baja y pisos 1 al 4. Grave.	Elevado.	Reestructuración mayor.	Nulo.	Nulo.
57_99	Marcos de concreto.	13	Nulo.	Ligero.	Nulo.		Elevado.
57_100	Marcos de concreto.	10	Nulo.	Ligero.	Nulo.	Nulo.	Sustancial.

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 2. Clasificación de daños en sismos previos.

IDENTIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL EDIFICIO POR EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957				REPARADO O REFORZADO	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ACTUALES			
	N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE		N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE
57.3			X		si				X
57.4	X				si				X
57.5		X			si				X
57.6		X				demolido después del sismo del 14 de marzo de 1979			
57.7		X			no		X		
57.8	X				no	X			
57.9		X			si	X			
57.12		X			si	X			
57.13	X				no	X			
57.14									
57.15			X		no				X
57.17			X			demolido			
57.19				X		demolido			
57.20	X				si	X			
57.21				X		demolido			
57.22				X	si	X			
57.24				X		demolido			
57.25		X			si	X			
57.26		X			si		X		
57.27	X				no			X	
57.29	X				no				X
57.31				X		demolido			
57.33			X			demolido después del sismo del 14 de marzo de 1979			
57.34	X				no			X	
57.36	X				si	X			
57.37				X					X
57.38				X	si	X			
57.41		X			no		X		
57.42									
57.44		X			si	X			
57.45		X			no			X	

PARTE III. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS

IDENTIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL EDIFICIO POR EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957				REPARADO O REFORZADO	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ACTUALES			
	N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE		N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE
57, 46				X	si	X			
57, 48	X				si				X
57, 49	X				si	X			
57, 50			X						X
57, 51	X					demolido			
57, 52				X		demolido			
57, 53		X			si				X
57, 55				X		demolido			
57, 56									
57, 57		X			no	X			
57, 59		X			no			X	
57, 60			X		si			X	
57, 61	X				no				X
57, 62									
57, 63			X			demolido			
57, 64	X				no			X	
57, 65			X		si				X
57, 66									
57, 67									
57, 69				X	si				X
57, 70		X			si		X		
57, 71	X				no	X			
57, 72	X				no		X		
57, 73	X				no	X			
57, 74				X	si				X
57, 75		X			si			X	
57, 76			X		si			X	
57, 78	X				no	X			
57, 79									
57, 80		X			no			X	
57, 81	X				no		X		

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

IDENTIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL EDIFICIO POR EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957				REPARADO O REFORZADO	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ACTUALES			
	N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE		N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE
57, 82									
57, 83		X			no	X			
57, 85	X				si				X
57, 86			X		si				X
57, 87	X				no	X			
57, 88				X		demolido			
57, 89				X		demolido			
57, 90			X		si		X		
57, 91	X				no	X			
57, 92		X			no		X		
57, 93			X		no			X	
57, 94	X				no			X	
57, 95			X		si	X			
57, 96	X				si				X
57, 97	X				no		X		
57, 98				X	si	X			
57, 99	X				no				X
57, 100	X				no	X			
79, A-1	X				no	X			
79, A-2	X				no			X	
79, A-3	X				no		X		
79, A-4	X				no				X
79, A-5	X				si		X		
79, A-6	X				no		X		
79, A-7	X				no			X	
79, A-8		X							X
79, A-9 *		X			no				X
79, A-10		X			no			X	
79, A-11				X	si				X
79, B-1 *	X				no				X
79, B-2 *		X							X

PARTE III. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS

IDENTIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL EDIFICIO POR EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957				REPARADO O REFORZADO	CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ACTUALES			
	N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE		N. E.	E. LEVE	E. MOD.	E. GRAVE
79, B-3 *		X							X
79, B-4	X				no		X		
79, B-5					no				
79, B-6		X			si			X	
79, B8		X			no	X			
79, C-1			X			demolido			
79, C-2		X			si				X
79, C-3	X								X
79, C-4	X				no		X		
79, C-5				X		demolido			
79, C-7	X				no			X	
79, C-8	X				no			X	
79, C-9	X				si				X
79, C-10 *				X	si				X
79, C-11		X			no		X		
79, C-12	X				no	X			
79, C-13				X	si			X	
79, C-15	X				si				X
79, C-16									
79, C-17		X			no			X	
79, C-18			X		si				X
79, D-4	X				no			X	
79, D-5				X		demolido			
79, D-6		X				demolido			
79, D-7			X		si	X			
79, D-9				X	si	X			
79, D-10			X						X

Nota: Se están incluyendo en este sismo dos daños ocasionados por el sismo de 1982.

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 3. Resumen estadístico de daños en edificios, sismo de 1985.

A) Características de los edificios dañados.

ESTRUCTURACIÓN	TIPO DE DAÑO	AÑO DE CONTRUCCIÓN			NO. DE PISOS				TOTAL
		ANTERIOR A 1957	1957-1976	POSTERIOR A 1976	MENOS DE 5	6 A 10	11 A 15	MÁS DE 15	
MARCOS DE CONCRETO	COLAPSO	27	51	4	27	46	8	1	82
	GRAVE	16	23	6	10	28	6	1	45
MARCOS DE ACERO	COLAPSO	7	3	0	4	3	1	2	10
	GRAVE	1	1	0	0	0	2	0	2
LOSA PLANA	COLAPSO	8	62	21	36	49	5	1	91
	GRAVE	4	22	18	5	26	12	1	44
MAMPOSTERÍA	COLAPSO	6	5	2	11	2	0	0	13
	GRAVE	9	13	1	22	1	0	0	23
OTROS	COLAPSO	4	8	2	12	2	0	0	14
	GRAVE	0	4	2	2	4	0	0	6
TOTAL	COLAPSO Y GRAVES	82	192	56	129	161	34	6	330

B) Características que influyeron en la falla.

PORCENTAJES DE CASOS EN QUE SE OBSERVÓ LA CARACTERÍSTICA	
ASIMETRÍA NOTABLE DE RIGIDEZ	15%
EDIFICIO DE ESQUINA	42%
PRIMER PISO FLEXIBLE	8%
COLUMNAS CORTAS	3%
SOBRECARGA EXCESIVA	9%
HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES PREVIOS	2%
PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN	13%
CHOQUE CON EDIFICIOS CERCANOS	15%
DAÑOS PREVIOS POR SISMO	5%
PUNZONAMIENTO DE LOSAS RETICULARES	4%
FALLA EN PISOS SUPERIORES	38%
FALLA EN PISOS INTERMEDIOS	40%

C) Modos de falla prevalectentes.

NÚMERO DE CASOS EN QUE SE OBSERVÓ EL MODO DE FALLA EN UN TOTAL DE 330 EDIFICIOS	
CORTANTE EN COLUMNAS	54
FALLA DE COLUMNAS POR EFECTO NO IDENTIFICABLE	52
FLEXOCOMPRESIÓN EN COLUMNAS	35
CORTANTE (TENSIÓN DIAGONAL) EN TRABES	29
CORTANTE EN LOSAS PLANAS	29
COMBINACIÓN DE DAÑOS EN LA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA	28
TENSIÓN DIAGONAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA	27
FLEXIÓN EN TRABES	8
FLEXIÓN EN LOSAS	4
CORTANTE EN MUROS DE CONCRETO	3
FLEXIÓN EN MUROS DE CONCRETO	2
TORSIÓN EN COLUMNAS	2
OTROS	22
NO IDENTIFICABLES	81

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 4. Resumen estadístico de daños en edificios, sismo de 1985.

A) Características de los edificios dañados.

ESTRUCTURACIÓN	NÚMERO DE NIVELES				TOTAL
	<5	6-10	11-15	>15	
CONCRETO	6	19	16	5	46
ACERO	0	0	3	1	4
MUROS DE CARGA	10	0	0	0	10
MIXTO	9	0	0	0	9
TOTAL	25	19	19	6	69

B) Tipo de daño.

ESTRUCTURACIÓN	DAÑO DE ALGÚN TIPO	DAÑO ESTRUCTURAL	ROTURA DE CRISTALES	MUROS AGRIETADOS	MUROS DESTRUIDOS
CONCRETO	66	46	44	50	29
ACERO	11	4	10	9	6
MAMPOSTERÍA	10	10	5	6	5
MIXTO	13	9	9	7	7
TOTAL	100	69	68	72	49

C) Nivel de daño.

CASOS CON DAÑO ESTRUCTURAL	
COLAPSOS	8
GRAVE	34
MODERADO	11
LEVE	16
TOTAL	69
CASOS CON DAÑO NO ESTRUCTURAL	
TOTAL	31

D) Tipos de edificios dañados.

DE LOS 69 EDIFICIOS CON DAÑO ESTRUCRURAL	45 (65%)	TENÍAN ESBELTEZ MENOR QUE 2.0
	44 (64%)	NO TENÍAN MUROS DE RIGIDEZ NI CONTRAVENTEOS
	23 (33%)	HABÍAN SIDO OBJETO DE DISEÑO SÍSMICO
	27 (39%)	TENÍAN CIMENTACIÓN COMPENSADA Y /O PILOTES
DE LOS 8 EDIFICIOS COLAPSADOS	7	TENÍAN MENOS DE 8 PISOS
	8	NO TENÍAN MUROS DE RIGIDEZ NI CONTRAVENTEOS
	0	HABÍAN SIDO SOMETIDOS A DISEÑO SÍSMICO
	7	TENÍAN CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

E) Características prevalecientes a edificios dañados.

CARACTERÍSTICAS PREVALECIENTES A EDIFICIOS DAÑADOS	
EDIFICIOS EN ESQUINA	29 (42%)
EFFECTOS DE TORSIÓN	19
PRIMER PISO FLEXIBLE	1
CHOQUE CON EDIFICIO ADYACENTE	16
HUNDIMIENTOS DIF. PREVIOS	5
MAL COMPORTAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN	4
DAÑO POR SISMOS PREVIOS	3
SIN DISEÑO SÍSMICO	32 (46%)
COLAPSO EN PISOS SUPERIORES	2
SOBRECARGA EXCESIVA	1

F) Modos de falla.

CARACTERÍSTICAS PREVALECIENTES A EDIFICIOS DAÑADOS	
TENSIÓN DIAGONAL EN TRABES	34
FLEXOCOMPRESIÓN EN COLUMNAS	24
TENSIÓN DIAGONAL EN MUROS	7
FLEXIÓN EN TRABES	5
TENSIÓN EN LOSA	5
CORTANTE EN COLUMNAS	4
PANDEO EN COLUMNAS	4
FLEXIÓN EN LOSA	1
FALLA DE PILOTES	1
TIPO DE FALLA NO INDICADO	9

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

Tabla 5. Estadísticas de edificios dañados en 1979.

A) Características de los edificios dañados.

ESTRUCTURACIÓN	NÚMERO DE NIVELES				TOTAL
	<5	6-10	11-15	>15	
CONCRETO	1	7	9	0	17
ACERO	0	0	0	0	0
LOSA RETICULAR	0	3	0	0	3
MAMPOSTERÍA	1	0	0	0	1
OTRO	0	0	1	0	1
TOTAL	2	10	10	0	22

B) Nivel de daño.

CASOS CON DAÑO ESTRUCTURAL	
COLAPSOS	1
GRAVE	4
MODERADO	7
LEVE	10
TOTAL	22
CASOS CON DAÑO NO ESTRUCTURAL	
TOTAL	24

C) Condiciones que atribuyeron a la falla.

CARACTERÍSTICAS PREVALECIENTES A EDIFICIOS DAÑADOS	
EDIFICIOS EN ESQUINA	6 (27%)
PRIMER PISO FLEXIBLE	3
CHOQUE CON EDIFICIO ADYACENTE	3
SOBRECARGA EXCESIVA	1
DAÑOS POR SISMOS PREVIOS	8 (37%)
HUNDIMIENTO DIF. PREVIOS AL SISMO	3
PUNZONAMIENTO DE LOSAS RETICULARES	1

PARTE III. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DAÑADOS

D) Modos de falla sobre 22 edificios con daño estructural.

CARACTERÍSTICAS PREVALECIENTES A EDIFICIOS DAÑADOS	
TENSIÓN DIAGONAL EN TRABES (CORTANTE)	5
CORTANTE EN COLUMNAS	4
TENSIÓN DIAGONAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA	4
FLEXOCOMPRESIÓN EN COLUMNAS	3
FLEXIÓN EN TRABES	3
DAÑOS EN CONEXIÓN VIGA-COLUMNA	3
FLEXIÓN EN LOSA	2
CORTANTE EN LOSA RETICULAR (PUNZONAMIENTO)	1
CORTANTE EN VIGAS DE ACOPLAMIENTO	1
TORSIÓN EN COLUMNAS	1

Tabla 6. Resumen de comportamiento de edificios previamente dañados.

EDIFICIOS CON DAÑOS ORIGINADOS POR SISMOS ANTERIORES	ACCIÓN TOMADA DESPUÉS DEL SISMO ANTERIOR	DAÑOS EN LOS EDIFICIOS ORIGINADOS POR EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985
NO ESTRUCTURAL (46)	Reforzados 11	Nulo 1
		No estructural 2
		Estr. leve 2
		Estr. moderado 0
		Estr. grave 6
	No reforzados 32	Nulo 2
		No estructural 9
		Estr. leve 7
		Estr. moderado 9
	Sin información 1	Grave 1
	Demolidos 2	

EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985...

ESTRUCTURAL LEVE (27)	Reforzados	10	Nulo	1
			No estructural	3
			Estr. leve	2
			Estr. moderado	1
			Estr. grave	3
	No reforzado	13	Nulo	1
			No estructural	1
			Estr. leve	4
			Estr. moderado	6
			Estr. grave	1
Sin información	3	Grave	3	
Demolidos	1			
ESTRUCTURAL MODERADO (17)	Reforzados	9	Nulo	0
			No estructural	2
			Estr. leve	1
			Estr. moderado	2
			Estr. grave	4
	No reforzados	2	Nulo	0
			No estructural	0
			Estr. leve	0
			Estr. moderado	1
			Estr. grave	1
No información	2	Grave	2	
Demolidos	4			
ESTRUCTURAL GRAVE (21)	Reforzados	10	Nulo	2
			No estructural	3
			Estr. leve	0
			Estr. moderado	1
			Estr. grave	4
	Sin información	1	Grave	1
Demolidos	10			

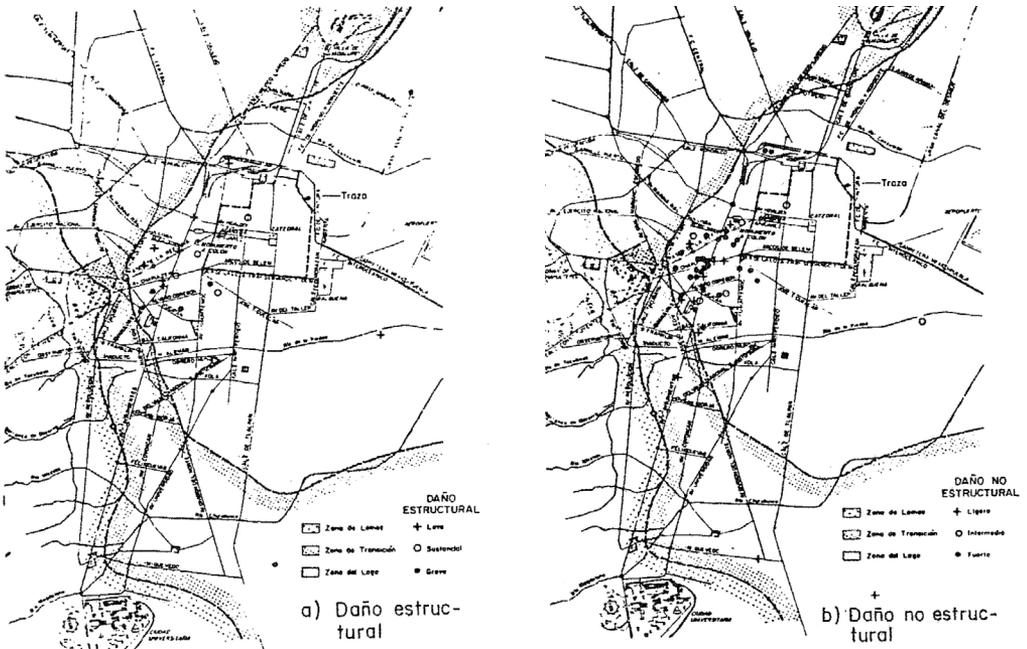


Figura 1. Distribución de daños en 1979.

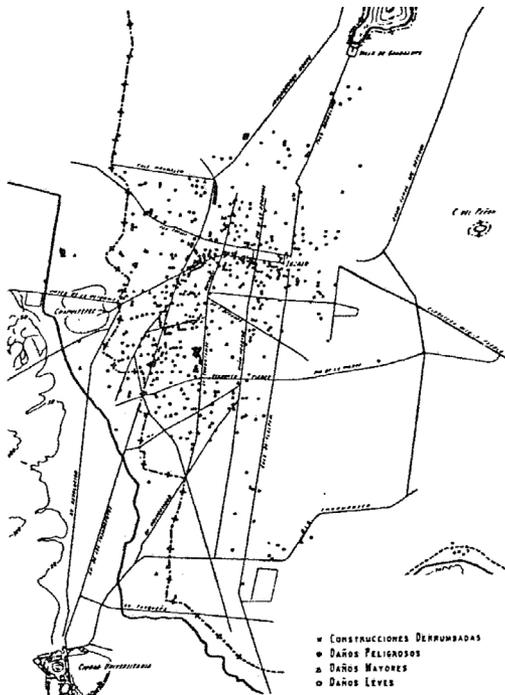


Figura 2. Distribución de daños en 1979.

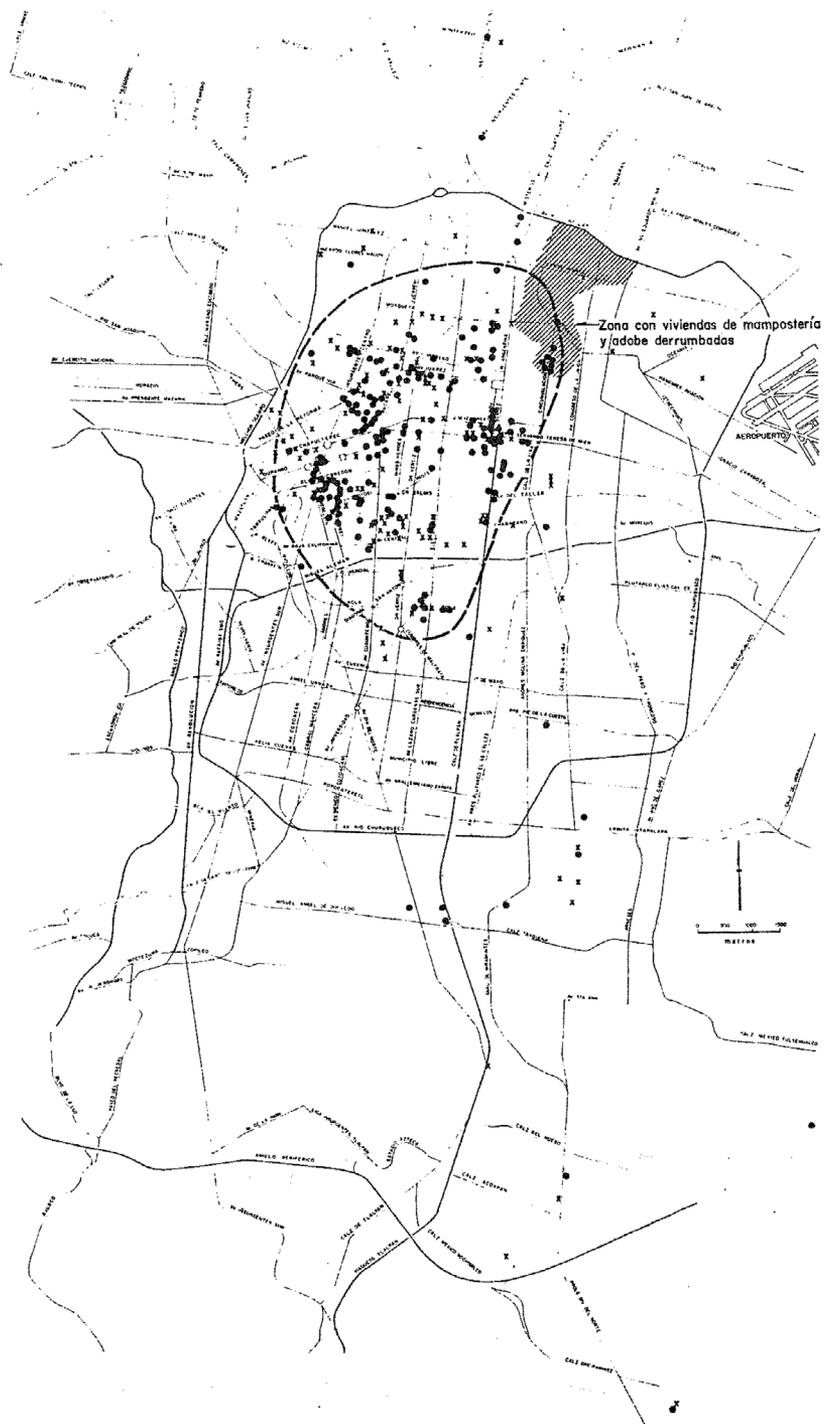


Figura 3. Ubicación de construcciones que sufrieron daño grave (x), o colapso (●).



Figura 4. Ubicación de zonas dañadas.

ANEXO A.

EDIFICIOS DAÑADOS EN 1957

ANEXO B.

EDIFICIOS DAÑADOS EN 1979

El cuidado editorial de la obra
Evaluación de los Efectos de
los Sismos de Septiembre de 1985
en los Edificios de la Ciudad de
México estuvo a cargo de la
Unidad de Promoción y
Comunicación del Instituto
de Ingeniería de la UNAM.