



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ESTADÍSTICO DE EFECTOS QUE INFLUYEN EN EL DAÑO
SÍSMICO ANALIZANDO ESTRUCTURAS EXISTENTES EN LA CIUDAD DE
MÉXICO DURANTE LOS SISMOS DE 1957 Y 1985 CON AYUDA DE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE :

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL - ESTRUCTURAS

PRESENTA :

VICENTE OROZCO NARVÁEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

MÉXICO D.F., MARZO DE 2007



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Meli Piralla Roberto
Secretario:	Dr. Auvinet Guichard Gabriel
Vocal:	Dr. Reinoso Angulo Eduardo
1 ^{er} . Suplente:	Dra. Ruiz Gómez Sonia Elda
2 ^{do} . Suplente:	Dr. Ordaz Schroeder Mario Gustavo

Lugar donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Reinoso Angulo Eduardo

*Nada que valga la pena ocurre rápido y fácilmente.
Tú logras sólo lo que estás determinado a lograr...
y perseveras en ello hasta que lo has logrado.*

Robert H. Lauer.

*A mis padres y hermanos, por siempre creer en mí y
haberme fomentado siempre el hábito de estudio y
dedicación en el trabajo diario.*

*A Paty, por siempre contar contigo y por compartir
tantos momentos hermosos y llenos de alegría que me
alentaron a seguir adelante.*

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Dr. Eduardo Reinoso, por su valiosa asesoría, paciencia, confianza, dirección y apoyo durante la realización de este trabajo. Por su amistad y recomendaciones siempre le estaré agradecido.

Al CONACYT, por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de maestría ya que sin este apoyo hubiera sido muy complicado terminarlos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por la oportunidad de realizar esta tesis en sus instalaciones y por el apoyo económico proporcionado en la última etapa de la misma.

Al Dr. Gabriel Auvinet, a la Dra. Sonia Ruíz, al Dr. Roberto Meli Piralla y al Dr. Mario Ordaz por sus revisiones y preciados comentarios a esta tesis.

Al Ing. Santiago Loera Pizarro por su grata y valiosa participación en los testimonios compartidos de los daños más relevantes por el sismo de 1957.

Al Dr. Carlos M. Valdés González y al personal del SSN por su amable atención y por su ayuda para que fuera posible la revisión de los registros originales del sismo de 1957 y por facilitar varias de las fotografías originales aquí mostradas de los daños ocasionados por el sismo.

A mis padres y toda mi familia, por siempre apoyarme en todos los aspectos y hacerme saber que cuento con ellos. Por que siempre me han dado un ambiente sano, de convivencia y de valores que me han permitido alcanzar muchas metas y soñar con muchas más.

A Patricia, por comprenderme y estar a mi lado durante todo este tiempo compartiendo mis anhelos y motivándome para esforzarme en dar lo mejor. Por ayudarme en no olvidar a mis seres queridos y recordarme que siempre existe un mundo por conocer.

A Juan José, Hugo, Carlos Cruz, Javier, Said, Ángel, Ivan, Roberto, Sergio, Leobardo y todos aquellos amigos y compañeros de la maestría que no mencione por falta de espacio y de memoria, por todos los momentos que compartimos tanto de estudio como de convivencia personal y que nunca olvidaré.

A Juan Carlos, Carlos, Alejo, July, Diana, Carlos y Sandra Quiroga, por ser tan buenos parceros y a pesar de venir tan lejos hacerme sentir como en casa, por el tiempo y conocimientos compartidos y por los buenos momentos de convivencia.

A Benjamín, Jorge A., Francisco, Jorge, Moisés, Javier, Patricia, Ricardo, Omar y todos los compañeros del área de Sismológica y de la Torre de Ingeniería, por siempre mostrar la disposición de ayudar y por sus excelentes comentarios sobre este trabajo.

A Homero, Oswaldo, Alberto, Fernando, Berenice y todos mis amigos de San Luís Potosí que me falten por mencionar, por sus palabras de aliento y por su apoyo que siempre me han brindado de una u otra manera a pesar de la distancia.

A todos aquellos que siempre han estado conmigo y olvide mencionar

....y por supuesto a Dios que si no lo tuviera dentro de mi mente y corazón talvez nada de esto hubiera podido concluir.

CONTENIDO

RESUMEN.....	v
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
CAPITULO 2	
DESCRIPCIÓN DEL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957.....	8
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.....	8
2.1.1 COLAPSOS TOTALES.....	13
2.1.2 COLAPSOS PARCIALES.....	14
2.2 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DAÑOS.....	15
2.2.1 NÚMERO DE NIVELES.....	16
2.2.2 TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL.....	16
2.2.3 GOLPETEO.....	18
2.2.4 UBICACIÓN EN ESQUINA.....	19
2.2.5 IRREGULARIDAD EN PLANTA.....	20
2.2.6 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES Y TIPO DE CIMENTACIÓN.....	22
CAPÍTULO 3	
CORRELACIÓN ENTRE EL DAÑO ESTRUCTURAL Y LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	24
3.1 INTENSIDAD SÍSMICA.....	24
3.2 PERIODO DEL SUELO VS. PERIODO ESTRUCTURAL.....	27
3.3 COMPORTAMIENTO INELÁSTICO.....	28
CAPÍTULO 4	
REVISIÓN DE LOS DAÑOS POR EL SISMO DE 1985 EN ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS ANTES DE 1957 EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	31
4.1 ESTUDIO ESTADÍSTICOS DE DAÑOS POR EL SISMO DE 1985.....	32
4.1.1 NÚMERO DE NIVELES.....	32
4.1.2 TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL.....	34
4.1.3 GOLPETEO.....	36
4.1.4 UBICACIÓN EN ESQUINA E IRREGULARIDAD EN PLANTA.....	37
4.2 REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS.....	39
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS.....	48
APÉNDICE A	
ESPECTROS DE RESPUESTA DE ESTRUCTURAS ESTUDIADAS PARA EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957.....	50
A.1 ESTRUCTURAS CON MAGNITUDES DE DAÑO GRAVE A COLAPSO.....	50
A.2 ESTRUCTURAS CON MAGNITUDES DE DAÑO LEVE Y MODERADO.....	51
APÉNDICE B	
MAPAS DE INTENSIDAD SÍSMICA DE AL DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC PARA EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957.....	53
APÉNDICE C	
TABLA C.1	
DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS ESTUDIADAS EN EL SISMO DEL 19/09/1985.....	54

RESUMEN

En este trabajo se presenta la revisión de los daños ocasionados en varias de las estructuras existentes en la ciudad de México durante los sismos de 1957 y 1985 con el fin de conocer más sobre los efectos que influyen en su comportamiento estructural y qué tanto pueden afectar su capacidad de respuesta durante un sismo. Considerando la magnitud de los daños en cada edificio se hace un análisis estadístico tomando en cuenta los posibles efectos que pudieron intervenir, como lo son el golpeteo, el tipo de sistema estructural, la ubicación en esquina y la forma en planta, número de niveles, el periodo estructural, el periodo del suelo, los asentamientos diferenciales, el tipo de sistema de cimentación y el daño acumulado en las estructuras considerado por medio de una clasificación en la calidad de los trabajos de reparación y/o refuerzo realizados en las mismas antes de que ocurriera el sismo. Se utiliza un SIG como herramienta para el manejo rápido de información (registros, fotografías, características de la estructura, índices del suelo) con la ventaja de poder visualizarla en conjunto y en forma espacial por medio de capas sobre mapas de localización. Así mismo se crearon mapas de intensidad sísmica para correlacionar los daños en las estructuras con las propiedades del suelo. Los resultados muestran que para las estructuras estudiadas los efectos que más influyeron en los daños son la irregularidad en planta, la ubicación en esquina, los asentamientos previos no corregidos, el daño acumulado y el golpeteo.

ABSTRACT

In this work, the damage caused to several of the existent structures in Mexico City during the 1957 and 1985 earthquakes is analyzed; this has been done with the purpose of learning more about the effects that have more influence in the structural behavior during an earthquake. Considering the damage to each building, a statistical analysis has been made taking into account pounding, structural system, plant and elevation irregularities, number of stories, structural and soil period, differential settlements, type of foundation and accumulated damage (considering quality of the repair works and reinforcement carried out before the earthquake). A SIG is used as a tool for the quick handling of information (photos, characteristic of the structure, indexes of the soil) and visualization. Maps of seismic intensity were created to correlate the damage to the structures with the properties of the soil. The results show that for the studied structures the effects that more influenced structural damages are the irregularity in plant, the not corrected previous settlements, accumulated damage and the pounding.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Varios de los movimientos sísmicos ocurridos durante las últimas décadas alrededor de casi todo el mundo (Indonesia, Sumatra, Armenia, Turquía, Taiwán, Kobe, Northridge y México, entre otros) han causado catástrofes en las que se tuvieron cuantiosas pérdidas tanto de vidas humanas como económicas en tan solo cuestión de unos cuantos segundos, o minutos como es el caso de la ciudad de México. Esto nos ha dejado muy en claro el gran poder de devastación que tienen los temblores y por ende el peligro que representan para la sociedad. El grado de este *peligro sísmico* se relaciona íntimamente con la probabilidad de que ocurra un sismo de magnitud y propiedades determinadas pero también se relaciona con la capacidad de respuesta dinámica de las estructuras, es decir, la vulnerabilidad de las estructuras. Sabemos que en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de un sismo no podemos intervenir ya que es un fenómeno natural y está fuera de nuestras manos el poder evitarlo o predecirlo de forma exacta; pero en la vulnerabilidad de las estructuras sí podemos intervenir ya que mediante procesos bien planteados de análisis, diseño, construcción y gracias a una infinidad de estudios que se han realizado durante muchos años la respuesta dinámica puede ser “conocida y controlada” y así tratar de dar mayor seguridad a las personas que habitan, laboran o hacen uso eventual de las estructuras. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos se sigue teniendo algunas incertidumbres en el desempeño de las estructuras cuando ocurre un sismo, por ejemplo, se pueden presentar algunos efectos que no estaban contemplados como el golpeteo o el daño acumulado en las estructuras, entre otros, lo que da como resultado que la respuesta “conocida y controlada” no es como se esperaba y en muchas ocasiones termina siendo desfavorable y trayendo como consecuencia una catástrofe.

Por lo tanto, es necesario tratar de disminuir tanta incertidumbre en el comportamiento de las estructuras o bien tener mejor conocimiento de todos los efectos que pueden intervenir en el buen desempeño sísmico de las mismas para que sean más seguras. Este trabajo pretende contribuir con el conocimiento de estos efectos y del daño que pueden llegar a causar en las estructuras cuando no son tomados en cuenta oportunamente, aclarando que el estudio se hizo sólo para la ciudad de México ya que como sabemos estos efectos pueden o no presentarse dependiendo de las características del suelo, de las normas de diseño, de la calidad de los materiales y de las técnicas de construcción que se tienen en las distintas partes del mundo. También se pretende contribuir en que cada vez sea más la aplicación de los Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramientas para la evaluación rápida pero confiable de estructuras, esto con el fin de que se puedan desarrollar nuevos proyectos de prevención de desastres en forma más rápida y que sean realizados por las dependencias de gobierno y educativas que son las encargadas directas de tomar las medidas de contingencia en caso de desastres.

En este primer capítulo se comentan brevemente los estudios y conocimientos que se pudieron adquirir cuando ocurrió el sismo del 28 de julio de 1957 (a pesar de las herramientas que se tenía en esa época) y como éstos han ido mejorándose durante casi 50 años, por ejemplo, el detalle de las características geológicas que se tiene de la cuenca de México, la clasificación del tipo de sismos que afectan al territorio mexicano, los efectos de sitio, la zonificación del Distrito Federal por tipo de suelo y el comportamiento dinámico de las estructuras. Acerca de este último se menciona las incertidumbres que se tienen y cómo varios trabajos han profundizado en temas referentes a la evaluación de las estructuras. Se hace una descripción de las herramientas de computo utilizadas para el desarrollo de varias partes del trabajo como los son los programas ARCGIS, RS-MEX y Z.

En el segundo capítulo se hace una descripción del sismo de 1957 y de los daños causados en varias de las estructuras de la ciudad de México. Se menciona cómo se organizó la información y se muestran los resultados del estudio estadístico realizado a las estructuras tomando en cuenta su comportamiento durante el sismo mencionado y observando si se había presentado algún efecto

que influyera en su comportamiento como por ejemplo el tipo de sistema estructural, el golpeteo, la forma en planta, entre otros.

En el tercer capítulo se correlaciona el daño presentado en las estructuras con las propiedades del suelo en que se encontraban ubicadas cada una de ellas. Por medio de la obtención de parámetros de intensidad sísmica, del periodo estructural de los edificios y con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se realizaron mapas de intensidad. Se muestran algunas relaciones obtenidas para el periodo estructural y el periodo del suelo con fines de encontrar efectos de resonancia.

En el cuarto capítulo se realiza un estudio estadístico similar al del capítulo 2 pero ahora para estructuras que sufrieron los sismos de 1957 y 1985 con el fin de dar seguimiento a su comportamiento sísmico tomando en cuenta el daño acumulado por medio de los trabajos de reparación y/o refuerzo que tuvieron las estructuras antes del sismo de 1985. En el quinto capítulo se resumen los resultados obtenidos y se llega a las conclusiones y recomendaciones de este trabajo que se complementa con los anexos A, B y C.

1.1 ANTECEDENTES

La Ciudad de México se vio marcada el 28 de julio de 1957 por la ocurrencia de uno de los sismos más intensos en México durante el siglo XX (ICA, 1992). El sismo se originó en la costa del Pacífico y los efectos en el centro de la ciudad México fueron realmente sorprendentes debido a un fenómeno de amplificación de la intensidad sísmica.

La falta de registros del sismo de 1957 impidió que se realizaran estudios rigurosos, sin embargo, destacan algunos trabajos relevantes: Figueroa (1957) y Rosenblueth (1958) hicieron observaciones sobre la amplificación de las ondas sísmicas en terreno blando, Marsal (1958) encontró que la mayoría de las estructuras reportadas con daño estaban desplantadas sobre terreno blando y Merino (1957) reportó que la zona de daño coincidía con la zona de mayores hundimientos de la ciudad. Lo anterior acentuó la necesidad de seguir investigando las propiedades del suelo de la ciudad de México y la colocación de instrumentos modernos de registro de aceleración en varios puntos de interés para tener datos completos de sismos futuros.

A 50 años del primer sismo fuerte que motivó el desarrollo de la Ingeniería Sísmica Mexicana se han hecho numerosas investigaciones sobre el suelo y del comportamiento sísmico de las estructuras. Se tiene mejor conocimiento del Valle de México, el cual se encuentra en una cuenca formada por una sucesión de sierras volcánicas de más de 3500 metros de altura sobre el nivel del mar. Hacia el sur se halla la Sierra de Chichinautzin, al oriente la Sierra Nevada y Sierra Río Frío, al poniente la Sierra de las Cruces y al norte sierras y cerros de poca elevación como Tepotztlán y Patlachique, entre otros. Se sabe que hace mil años, en la parte más baja de la cuenca los lagos Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco formaban un enorme depósito de agua conocido como el lago de Texcoco. En la fig. 1.1 tomada de Santoyo y col. (2005) se muestra una sección de la cuenca de México, se observa el gran detalle que se conoce actualmente sobre la geología de la cuenca.

Se sabe que en esta cuenca siempre han ocurrido temblores a lo largo de la historia y seguirán ocurriendo, éstos pueden provenir de distintas fuentes que en Rosenblueth y col. (1987) las clasifican como: Temblores locales, los que ocurren dentro de la cuenca; Temblores en la placa Norteamericana, los originados en el resto de la placa como el de Acambay; Temblores de subducción, de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica y Temblores de la placa de Cocos ya subducida, los de falla normal. Cada sismo es diferente dependiendo de la fuente que provenga, pero también sus efectos son diferentes en cada sitio según el tipo de suelo (efectos de sitio), siguiendo esto la ciudad de México se ha clasificado principalmente en tres zonas: lomas, transición y lacustres. Teniendo en cuenta esto sabemos que los temblores que más afectan el centro de la ciudad son los de subducción ya que tienen gran cantidad de frecuencias bajas, es

decir, ondas de periodo largo que cuando atraviesan la zona de arcillas lacustres se producen grandes amplificaciones de estas ondas sísmicas En la fig. 1.2 se muestra una sección de la secuencia de arcillas y depósitos aluviales en la parte centro de la ciudad de México tomada de Santoyo y col. (2005), se señala la ubicación del zócalo y el cruce de las calles de Reforma con Río Tiber, entre otros.

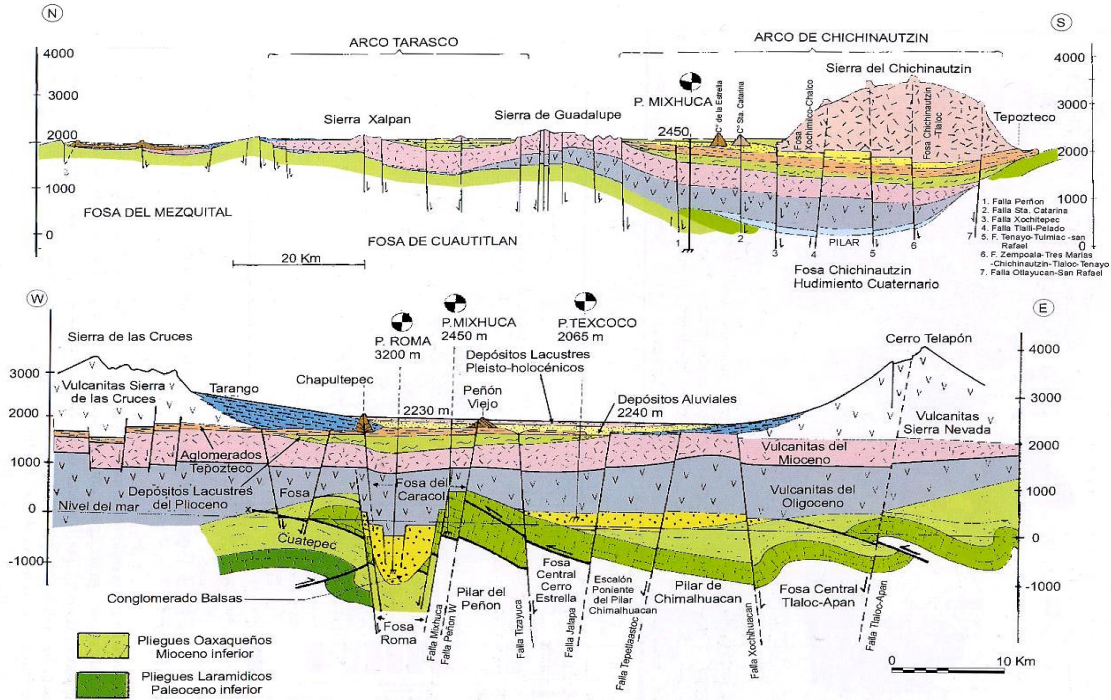


Figura 1.1 Secciones geológicas de la cuenca de México. La primera en dirección norte a sur y la segunda poniente a oriente (Santoyo y col., 2005).

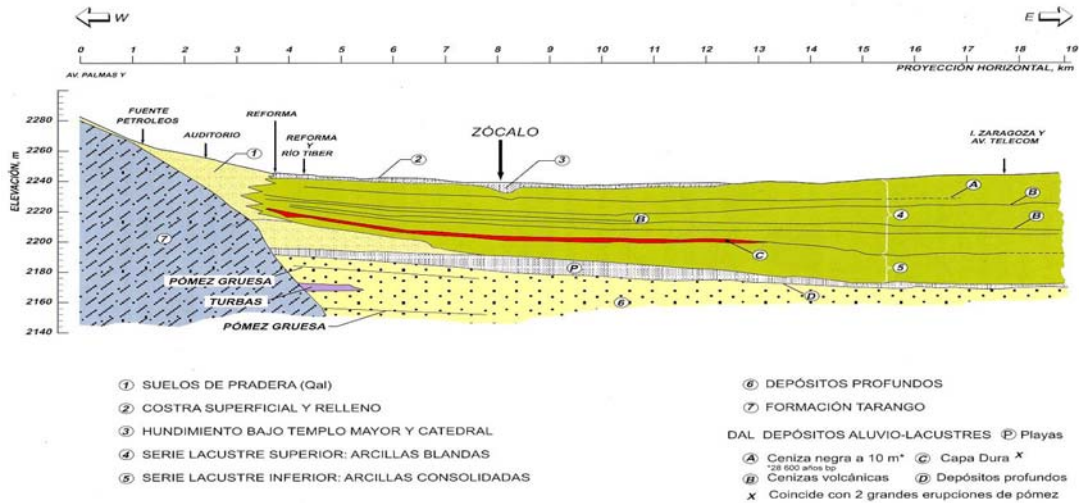


Figura 1.2 Sección que muestra la secuencia de arcillas y depósitos fluviales en la zona centro de la ciudad de México (Santoyo y col., 2005.)

A pesar de que existe una gran distancia epicentral de la ciudad de México a los temblores de subducción, el fenómeno de amplificación, causa que las estructuras se vean sometidas a grandes solicitaciones y en muchos casos se dañen o incluso lleguen al colapso. Sin embargo, referente al comportamiento de las estructuras hay muchos efectos que pueden intervenir en la causa de daño y es donde todavía se tienen muchas incertidumbres. En este trabajo se pretende identificar cuales

son los efectos que se presentaron con mayor frecuencia en 1957 y en 1985 para varias estructuras estudiadas que fueron tomadas de los trabajos de Marsal (1958), Excelsior (1957) y Meli y col. (1985), en éste último se mencionan algunos factores de falla observados en las estructuras por el sismo de 1957; pero no consideraron en sus observaciones los edificios que colapsaron, ni la magnitud del daño presentado para cada efecto.

De las estructuras estudiadas se tiene la información de daños que sufrieron durante los sismos de 1957 y 1985, además están ubicadas en la zona identificada con mayores daños, que con fines prácticos se limitó a la Delegación Cuauhtémoc. En la figura 1.3 se muestra la ubicación de la Delegación Cuauhtémoc sobre el mapa del DF tomado del RCDF 2004 NTCDS con la zonificación para fines de diseño por sismo. Se observa que la mayoría de la delegación cae sobre zonas IIIb y IIIc.

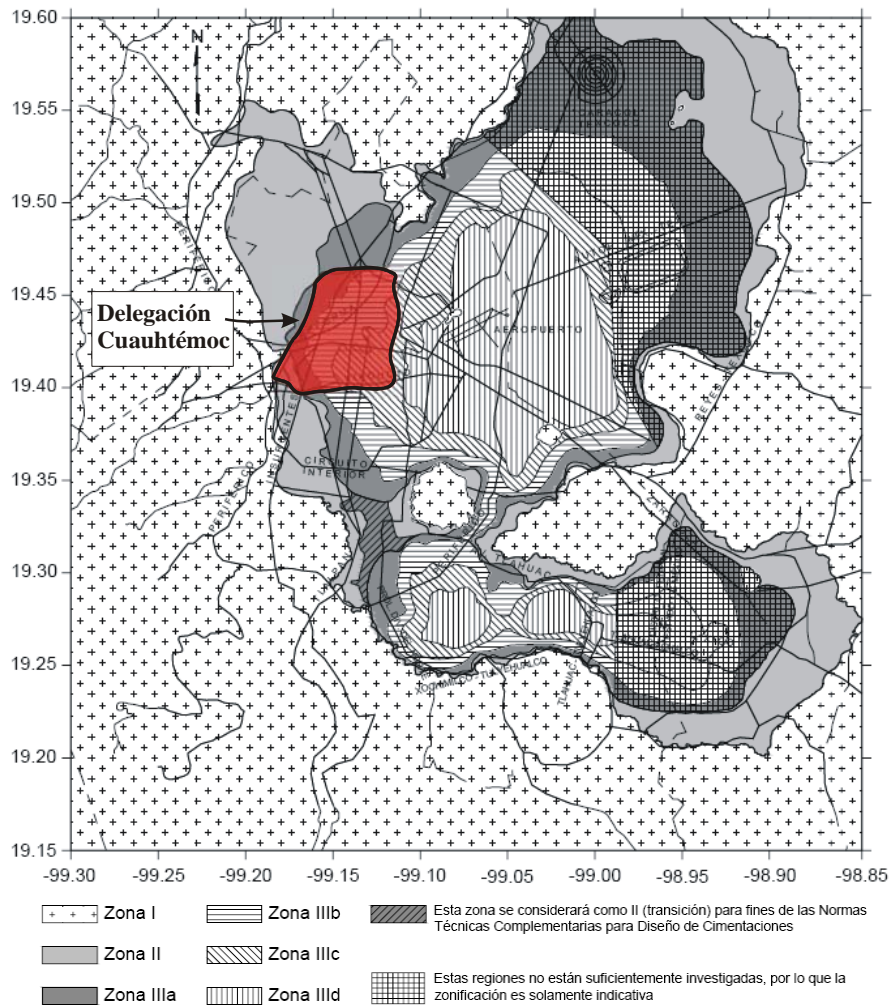


Figura 1.3 Ubicación de Delegación Cuauhtémoc sobre mapa de zonificación sísmica del DF. Nótese que la mayoría de la delegación está sobre zona IIIb y zona IIIc (antigua zona de lago).

Algunos de los factores que se pretenden estudiar como son el número de niveles, sistema estructural, ubicación en esquina, irregularidad en planta, daño previo, tipo de refuerzo, etc., han sido estudiados por separado o juntos en una gran variedad de trabajos, pero muy pocos han incluido estructuras que hayan sufrido dos sismos fuertes como los de 1957 y 1985 y sobre todo que estos edificios estén ubicados en zonas de suelo blando; como es nuestro caso. Sobresale el

reporte de Meli y col (1985) donde se hace un estudio con estas características pero como se mencionó no toman en cuenta los edificios colapsados y algunos otros factores que pudieron intervenir como la ubicación espacial de cada estructura para comparar el periodo de las estructuras con el periodo del suelo y las aceleraciones que se presentaron para cada sitio.

Ozcebe y Socuoglu (2006) describen un proyecto piloto que emplearon en Zeytinburnu (ZPP) en Istanbul, Turquía. Consiste en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios existentes por medio de dos procedimientos. En el primero se obtiene un valor de desempeño (PS), que se compara con un valor establecido, los edificios que resulten por debajo de ese valor son los que tentativamente deberían ser reforzados. Este primer paso se basa en una revisión visual por medio de un recorrido (Walkdown Evaluation), se anota el número de pisos, si tiene planta baja débil, si tiene apéndices o balcones salientes, el mantenimiento de la estructura, si hay posibilidad de columnas cortas y golpeteo, topografía del terreno y condiciones del suelo. Entre los efectos no se menciona alguno que esté relacionado con la aproximación entre el periodo de la estructura y el del suelo. El segundo procedimiento ya toma en cuenta las dimensiones de elementos tanto estructurales como no estructurales con las que se obtienen algunos índices y relaciones más refinadas referentes a los mismos efectos. Los resultados entre ambos procedimientos son parecidos en cuanto al nivel de riesgo evaluado para las estructuras. Proyectos parecidos se están empleando en México y es por ello la importancia de este trabajo en ahondar un poco más en los efectos que se presentan en las estructuras de la ciudad y así tratar de evitar que se presenten en las nuevas edificaciones o bien al reforzar algunas estructuras existentes.

1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para facilitar el manejo de toda la información recopilada referente a cada una de las estructuras utilizadas durante el desarrollo de esta tesis se creó una base de datos. Para crearla se empleó un Sistema de Información Geográfica (SIG) buscando aprovechar las ventajas que posee este sistema para manipulación de información y su relación con mapas digitales.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema computacional orientado a capturar, almacenar, administrar, integrar, manipular, analizar y presentar datos. Estos datos representan elementos dispuestos sobre la superficie de la Tierra y su posición en ella. Normalmente, se utiliza para el manejo de mapas digitales, representados dentro del programa con una o más capas diferentes (fig. 1.4), cada una de las cuales contiene información geográfica (posición de cada elemento en la Tierra), topológica (relaciones existentes entre los elementos de la capa) y temática (tema que busca representar, contenido) sobre algún aspecto particular. La información se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos del mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. Existen varios software de SIG, algunos de ellos son: ArcGIS, Mapinfo, Maptitude; Geomedia, Geoconcept, GenaMap, Autodesk Map, MicroStation. Aquí se utilizó el software *ArcGIS 9* desarrollado por Economic and Social Research Institute (ESRI, 2004).

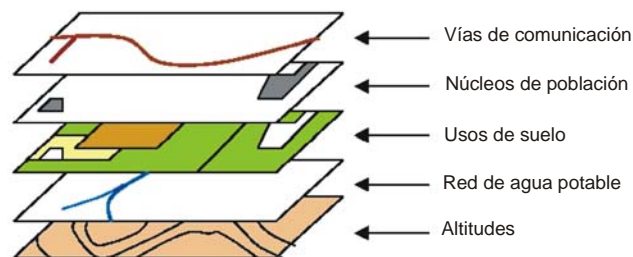


Figura 1.4 Se muestra esquemáticamente la representación de un mapa digital en un SIG, formado por diferentes capas y cada una de ellas con información asociada específica.

El mapa digital utilizado de la Delegación Cuauhtémoc fue proporcionado por la Subdirección de Catastro y Padrón Territorial del Gobierno del Distrito Federal (Quiroga y Reinoso, 2004) que contiene información dividida en capas de predios, manzanas y calles; se muestran en la fig. 1.5 (1). A partir de éstas se creó una nueva capa llamada Estructuras Dañadas, que contiene en sí la base de datos. En la fig. 1.5 se muestra los elementos que pueden formar parte de una base de datos en un SIG: fotografías (2), reportes digitalizados (3) y cualquier información en forma de tabla (4).

Los SIG son utilizados en la evaluación y gestión de riesgo para cualquier tipo de catástrofe (Greene, 2002) siempre y cuando se pueda tener una base de datos catastral que en combinación con mapas de peligro para diferentes periodos de retorno se pueda generar mapas de vulnerabilidad que a su vez en combinación con mapas de costos de edificios y contenidos se obtengan probabilidades de falla y por lo tanto estimación de pérdidas. El desarrollo de SIG apunta en la dirección de incluir variables sociales, económicas y del medio ambiente.

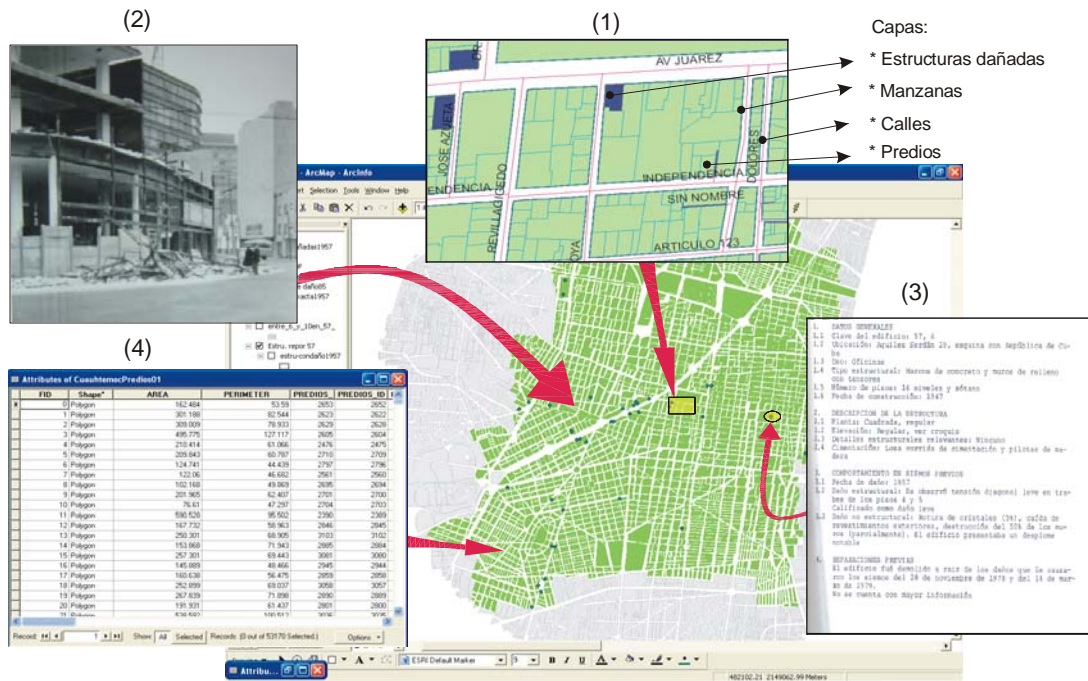


Figura 1.5 Elementos con que se formó la base de datos de las estructuras dañadas en 1957 en el SIG: (1) ubicación de cada estructura, (2) fotografías de las estructuras, (3) copia digital de reporte de daños y (4) características de la estructura capturadas en forma de tablas.

Para la obtención del periodo natural de vibración de las estructuras así como el periodo dominante del suelo donde se encontraban ubicadas cada una de ellas se utilizó los programas Z y RS-MEX. El programa Z (Ordaz y col, 1997) permite calcular espectros de respuesta que podrían presentarse en una buena parte de la Ciudad de México ante temblores históricos, postulados o históricos escalados. Para calcular los espectros de sitio se requiere precisar tres cosas: sismo, espectro y sitio. Para este caso se utilizó un sismo histórico escalado. Los espectros están en términos de pseudoaceleraciones para amortiguamiento de 5% y ductilidad $\mu=1$. Para definir el sitio usualmente se indica la ubicación deseada en el mapa que se visualiza en la ventana principal; pero en este caso se hizo calculando una malla de puntos para una zona que comprendiera la Delegación Cuauhtémoc. En la fig. 1.6 se observan las ventanas que muestra el programa y algunos de los datos que se consideraron y que más adelante se ven con detalle.

El programa RS-MEX fue creado para evaluar el riesgo sísmico de las estructuras mediante la estimación de las pérdidas probables tomando en cuenta el peligro sísmico y por lo tanto la vulnerabilidad de las estructuras. Se considera de manera similar que en el programa Z un sismo histórico escalado y se llena una tabla con todas las propiedades de la estructura que se conozcan: año de construcción, sistemas estructural, número de pisos, ubicación geográfica, entre otros. Entre los datos de salida del programa se obtiene el periodo estructural de las edificaciones y el periodo del suelo según su ubicación. Todos los datos obtenidos se capturaron en el SIG para ser utilizados más adelante. Algunos otros trabajos en los que se ha aplicado este tipo de software para estudio espacial de los daños por sismo son Quiroga y Reinoso (2006) y Martínez (2006).

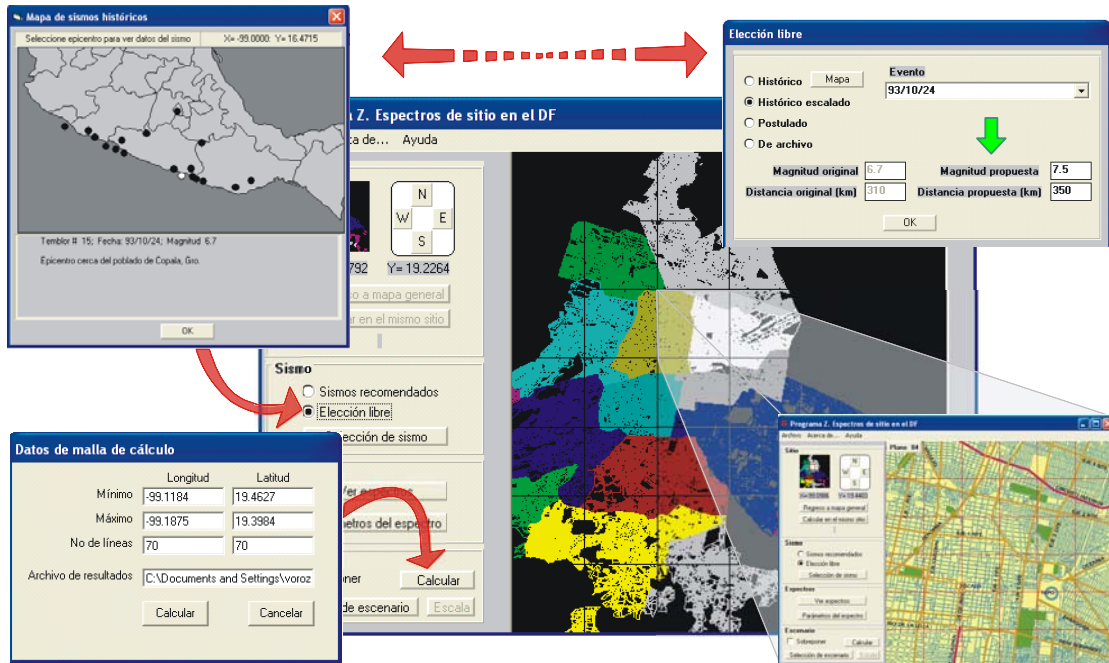


Figura 1.6 Aplicación de programa Z para la obtención de intensidades sísmicas para el sismo de 1957 en la ciudad de México en función de espectros de sitio.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957

En Figueroa (1957) se reporta que el domingo 28 de julio de 1957 los sismógrafos ubicados en la estación de Tacubaya registraron a las 02 horas 40 minutos 51 segundos un temblor sentido en el Distrito Federal proveniente del Pacífico frente a las costas de Guerrero. La magnitud fue de 7.5 en la escala de Richter y con un valor de intensidad en el centro de la ciudad de México de VII en la escala de Mercalli modificada. El epicentro se calculó a 358 Km al sur de Tacubaya con coordenadas $16^{\circ}21' N$ y $99^{\circ}13' W$. En la fig. 2.1 se muestran el epicentro y las isosistas reportadas por Figueroa (1957).

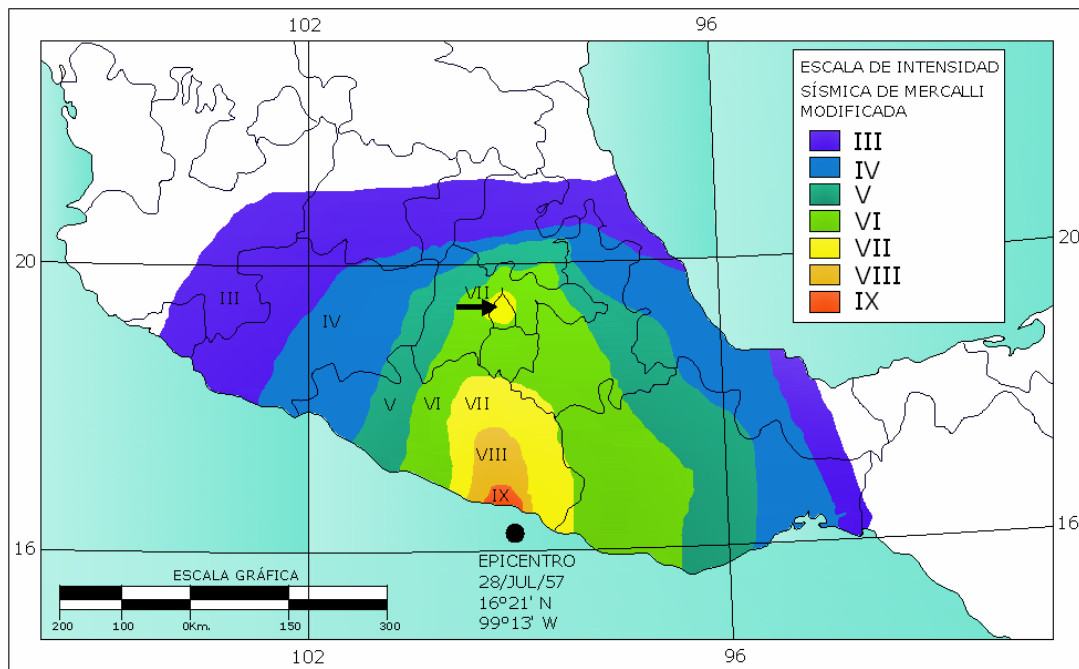


Figura 2.1 Curvas de isosistas y epicentro del sismo del 28/07/57 reportadas por Figueroa (1957). (Nótese que en el Distrito Federal la intensidad es de VII en la escala de Mercalli modificada a pesar de gran distancia al epicentro)

Se estima que el número total de muertos en todo el país ascendió a 50 y el valor de los daños en lo que respecta a propiedad particular y gubernamental se calculó en 2 mil millones de pesos de esa época. Las poblaciones más afectadas además de la ciudad de México fueron San Marcos (95% de edificios dañados), Chilpancingo (90% de edificios dañados), Chilapa (70% de edificios dañados), Huamuxtílán (60% de edificios dañados), Ayutla (con pérdidas estimadas de 360,000 pesos) y Tuxtla (60% de edificios dañados), todas estas en el estado de Guerrero (Figueroa, 1957).

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

La mayoría de los daños ocurridos en la Ciudad de México se concentraron en el centro de la ciudad, en lo que hoy es la Delegación Cuauhtémoc. Según ICA (1992) se reportaron 39 muertos tan solo en la ciudad de México y alrededor de 1000 edificios con daños, incluyendo casos de bardas y estructuras con fisuras leves en acabados.

Este sismo es conocido como el “Temblor del Ángel” debido a que la estatua que representa la Victoria Alada comúnmente llamada El Ángel que coronaba la Columna de la Independencia cayó

al suelo (fig. 2.2); ésta fue reconstruida casi en su totalidad y puesta en su lugar un año más tarde. La cabeza original no fue posible reconstruirla y está expuesta en el museo Casa de los Condes de Heras y Soto en el centro de la ciudad (Aguirre, 2003).

Las primeras noticias publicadas de los daños en la capital por Excelsior (1957) eran alarmantes y habían exagerado la situación: “Casi no ha habido edificio que no haya sufrido desperfectos y numerosísimas bardas vinieron por tierra...”, el encabezado del periódico del día 29 de junio de 1957 decía “35 Muertos, cientos de Heridos y 100 Desplomes en la Capital”.



Figura 2.2 Columna y Ángel de la Independencia después del sismo del 28/07/57. (Nótese en la primera imagen la ausencia de edificios altos detrás de la Columna de la Independencia)

Después de una comparación exhaustiva de lo publicado en aquella época por Excelsior (1957) y por los trabajos de Figueroa (1957), Marsal (1958) y Meli y col. (1985) encontramos que sólo hubo alrededor de cuatro colapsos totales y cinco parciales, por lo que concluimos que al decir desplomes no se referían a colapsos de edificios sino a bardas derribadas y a partes de techos que se vinieron abajo. De los trabajos anteriores se tomó la información de los edificios seleccionados y se elaboró la tabla 2.1 donde se muestra la ubicación, fecha de construcción, breve descripción de algunas de sus características estructurales y de los daños ocasionados por el sismo. Como se observa en la tabla 2.1 se clasificaron las estructuras según su sistema estructural en cinco grupos:

- Marcos de concreto reforzado (MC)
- Marcos de acero (MA)
- Construcción compuesta (CC), es decir, marcos de acero recubiertos por concreto, aclarando que sólo se hace esta clasificación para observar si el comportamiento fue diferente al que tenían sólo el acero o con recubrimiento de tabique.
- Mampostería confinada (MC), estructuras que transmiten la carga por medio de muros de tabique, con entrepisos y techo de concreto reforzado
- Naves industriales (NI), muros de tabique con confinamiento y cubierta formada por armaduras de acero y láminas ligeras

También se clasificaron las estructuras en cinco grupos según la magnitud del daño que sufrieron:

- Colapso total
- Colapso parcial. El edificio sufrió colapso de alguna zona del mismo, sea un piso intermedio, pisos superiores, colindancias o alguna esquina
- Daño grave. Daños en la mayoría de los elementos estructurales principales que pusieron en peligro la estabilidad de la estructura, no presenta colapso pero podría darse si no se corrigen los daños (en ocasiones se optó por demoler)
- Daño moderado. Grietas en elementos estructurales como trabes, losas y columnas. Deformaciones visibles o falla total de algunos elementos pero que no ponen en peligro de colapso al edificio

Tabla 2.1 Descripción de estructuras dañadas por el sismo del 28/07/57.

Clave estructura	Dirección		Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Cimentación	En esquina	Periodo del suelo aprox.	Daño 1957	Daño estructural			Daño no estructural			
	Calle	#									Descripción del daño en elementos	Ubicación (# de piso)	A asentamiento	Cristales rotos %	Caída de aplastados	Destrucción de muros	
														parcial %	total %		
57-05	Aquiles Serdán	29	1950	13	Oficinas	MC	PM	Si	2.21	●	Flexión en columnas, tensión diagonal en trabes y tensión simple en losas del cubo de escaleras	2 al 4	Si	60	Si	70	10
57-06	Insurgentes	37	1947	16	Oficinas	MC	PM	Si	2.23	●	Tensión diagonal en trabes	4 y 5	Si	5	Si	50	---
57-07	Balderas	44	1941	6	Oficinas y Escuela	MC	S	No	2.18	●	Tensión diagonal en trabes	3	Si	10	Si	10	---
57-12	Chapultepec	540	1953	8	Oficinas	MC	S	No	1.14	●	Falla por flexión en columnas	4	No	15	---	30	40
57-25	Gutemberg	47	1949	11	Vivienda	MC	PM	No	1.11	●	Flexión en trabes. Daños en losa de escalera, hubo necesidad de apuntalar	2 al 4	No	10	Si	40	40
57-26	Havre	7	1952	9	Oficinas	MC	CC	No	1.91	●	Tensión diagonal en trabes	1, 3	Si	---	---	100	---
57-41	Insurgentes	428	1947	5	Vivienda	MC	S	No	1.17	●	Pandeo en columnas	3	No	---	---	10	---
57-44	Insurgentes	473	1942	8	Oficinas	MC	PM	No	1.1	●	Falla moderada en trabes por tensión diagonal	2	No	80	Si	20	40
57-45	Insurgentes	576	1950	13	Vivienda	MC	PM	No	1.06	●	Tensión diagonal en trabes	1 al 7	No	5	Si	60	---
57-53	La Fragua	4	---	7	Oficinas	MC	CC	No	2.03	●	Flexión en columnas, tensión diagonal en trabes de lindero norte, hubo golpeteo	2 al 4	No	5	Si	20	20
57-57	M. Ocampo	257	1944	11	Vivienda	MC	---	Si	1.15	●	Tensión, tensión diagonal y esfuerzo cortante en trabes	2 al 4	No	10	Si	50	50
57-70	Reforma	45	1950	19	Oficinas	CC	CC	Si	2.08	●	Flexión en trabes de cubo de elevadores	6 al 9	Si	5	Si	60	---
57-75	Reforma	104	1952	9	Oficinas	MC	PCP	No	2.17	●	Tensión diagonal en trabes, tensión simple en losas de cubo de escaleras	2 al 5	Si	50	---	30	---
57-80	Reforma	336	1948	7	Oficinas	MC	S	No	1.87	●	Tensión diagonal en trabes	1 al 3	No	30	Si	30	10
57-92	Sullivan	199	1955	11	Vivienda	MC	CC	Si	1.28	●	Grietas de tensión diagonal en trabes cortas del techo del sótano	P.B.	No	10	Si	20	---
57-15	Dr. Barragán	538	1940	3	Vivienda	MmC	S	No	2.92	▲	Esfuerzo cortante en muros y tensión simple en losas por golpeteo	P.B. y 1	Si	5	Si	60	10
57-50	Juárez	76	1938	11	Oficinas	MC	PM	Si	2.17	▲	Tensión diagonal y esfuerzo cortante en trabes, tensión simple en losas	P.B. 2 al 4	Si	30	Si	10	---
57-60	Morelos	110	1945	13	Oficinas	MC	PM	Si	2.16	▲	Flexión y tensión diagonal en columnas y trabes respectivamente	6 al 12	Si	10	Si	30	30
57-65	Oaxaca	50	1955	11	Oficinas	MC	PCP	No	1.75	▲	Falla total de pilotes de control, el asentamiento diferencial fue de 1m	P.B.	Si	---	---	10	---
57-76	Reforma	122	1951	14	Oficinas	MC	PCP	No	2.19	▲	Flexión en columnas y tensión en trabes de cubo de escalera. Tensión diagonal en trabes por golpeteo	3 al 8 y 2 al 6	No	5	Si	5	---
57-83	Río Rhin	82	1935	3	Vivienda	MmC	S	No	1.69	▲	Derrumbe parcial losas de balcones de la zona posterior	3	No	---	No	---	---
57-86	San Juan de Letrán	23	1936	7	Cine	MC	S	No	2.36	▲	Flexión en columnas por golpeteo	2 al 6	No	40	Si	10	90
57-90	Soledad	90	1930	3	Comercio	MmC	S	Si	2.54	▲	Tensión simple en muros y losas. Peligro de derrumbe en voladizos	P.B. al 2	Si	---	Si	10	---
57-93	Topógrafos	7	1952	14	Vivienda	MC	PC	Si	0.93	▲	Flexión en columnas, tensión en losas y esfuerzo cortante en trabes	3 al 11	No	5	Si	70	---
57-C5	---	---	---	15	Oficinas	CC	PM	No	--	▲	Grietas en recubrimientos de estructura	---	No	10	Si	30	40
57-C7	---	---	1956	9	Vivienda	MC	PCP	Si	--	▲	Falla de un contraviento en P.B., agritamiento columna que lo recibe	P.B.	No	---	Si	30	---
57-C10	---	---	---	11	Oficinas	MC	CC	No	--	▲	Trabes de colindancia se agrietaron, varios elementos del cubo de elevadores tuvieron daños severos. Daños en fachada por golpeteo	---	No	---	Si	---	---
57-03	Abraham González	3	1947	10	Oficinas	MC	PM	Si	2.16	★	Flexión columnas, tensión diagonal en trabes y pandeo en losas	2 al 4	No	20	Si	10	80

Tabla 2.1 Descripción de estructuras dañadas por el sismo del 28/07/57 (continuación).

Clave estructura	Dirección		Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Cimentación	En esquina	Periodo del suelo aprox.	Daño 1957	Daño estructural			Daño no estructural			
	Calle	#									Descripción del daño en elementos	Ubicación	Asentamientos	Cristales rotos %	Caida de aplastados	Destrucción de muros	
											parcial %	total %					
57-22	Casco de Sto. Tomas	---	1950	4	Escuela	MC	S	No	0.7	★	Flexión en columnas y tensión diagonal en trabes en crujeas alejadas de zona esquina	P.B.	No	---	No	30	---
57-33	Aquiles Serdán	29	1951	9	Oficinas	MC	PC	Si	2.04	★	Tensión diagonal en trabes. Falla de control de pilotes	2 y 3	Si	25	Si	40	20
57-37	Insurgentes	263	1946	9	Oficinas	MC	PM	Si	1.78	★	Tensión diagonal en trabes, flexión en columnas	5 al 8	Si	5	Si	30	---
57-38	Insurgentes	368	1948	5	Banco	MC	S	Si	1.44	★	Flexión en columnas	P.B.	No	---	No	---	---
57-55	Lecumberri	63	1946	2	Cine	NI	S	No	2.62	★	Volcamiento de armaduras de techo	2	No	---	No	10	50
57-69	Reforma	35	1956	14	Oficinas	MC	CC	No	2.06	★	Compresión y tensión diagonal en trabes, flexión en columnas	2 al 5	Si	5	Si	10	---
57-74	Reforma	77	1943	14	Oficinas	MA	PM	Si	2.06	★	Flexión en columnas	1 al 3	No	15	Si	30	50
57-98	Villalongin	---	---	5	Oficinas	MC	PM	No	1.28	★	Tensión diagonal en trabes	P.B. al 4	Si	30	Si	20	25
57-Corcu	Reforma	1	1934	16	Oficinas	MC	---	Si	2.05	★	Sin datos exactos. El edificio fue demolido después del sismo	---	No	10	Si	10	10
57-C4	---	---	1957	8	Comercio y oficina	MC	CC	No	--	★	Fractura en parte superior de varias columnas, tensión diagonal y corte en vigas y falla total en algunas	P.B. al 8	No	50	Si	---	20
57-C6	---	---	---	16	---	MC	PM	No	--	★	6 columnas fallaron casi totalmente y las restantes estan agrietadas. Trabes con tensión diagonal	5,8 y 9	Si	50	Si	60	---
57-C9	---	---	---	7	---	MC	CC	Si	--	★	Grietas en unión de columnas perimetrales con trabes. Tensión diagonal en vigas principales y escaleras a punto de derrumbe	1 al 4	No	40	Si	40	---
57-46	Insurgentes	1338	1955	1	Bodegas Oficinas	NI	S	No	1.42	◆	Colapso de oficinas. Flexión grave en columnas, daño en mensulas	1	Si	100	Si	---	100
57-Gera	Geranio	-	---	5	Oficinas	--	---	Si	1.46	◆	Colapso parcial de pisos superiores	5	---	20	Si	15	30
57-Enca	Serapio Rendon	-	---	1	Cine	NI	---	No	1.63	◆	Derrumbe total del techo	1	No	---	Si	100	---
57-Merce	Santa Escuela	-	1957	1	Comercio	NI	CC	No	2.96	◆	6 cascarones colapsaron y los 88 restantes fallaron por flexión en el arranque de las columnas	1	No	---	No	---	---
57-Cant	Insurgentes	337	---	5	Vivienda	MC	---	Si	1.42	◆	Colapso pisos superiores	2 al 5	---	85	Si	5	80
57-Fron	Frontera esq. Alvaro Obregón	---	1957	5	Vivienda	MC	---	Si	2.27	+	Colapso total	todos	---	100	Si	---	100
57-IPN	Casco de Sto. Tomas	---	1950	4	Escuela	MC	S	No	0.97	+	Colapso total	todos	---	100	Si	---	100
57-S/Mu	C. Romero de Terreros	52	1957	2	Vivienda	MmC	S	No	1.25	+	Colapso total. No tenía muros en sentido NS	todos	---	100	Si	---	100

Simbología

TIPO DE CIMENTACIÓN	
Símbolo	Descripción
S	Superficial
CC	Cajón de cimentación
PCP	Parcialmente compensada con cajón y pilotes
PC	Pilotes de concreto (fricción)
PM	Pilotes de madera (punta)

NIVEL DE DAÑO	
Símbolo	Descripción
⊙	Leve
▲	Moderado
★	Grave
◆	Colapso parcial
+	Colapso total

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Símbolo	Descripción
MC	Marcos de concreto
MA	Marcos de acero
CC	Construcción compuesta
MmC	Mampostería Confinada
NI	Naves Industriales

---	Sin datos exactos
-----	-------------------

- Daño Leve. Daño en elementos estructurales que no afectaron el funcionamiento del edificio manifestado en fisuras de poca magnitud.

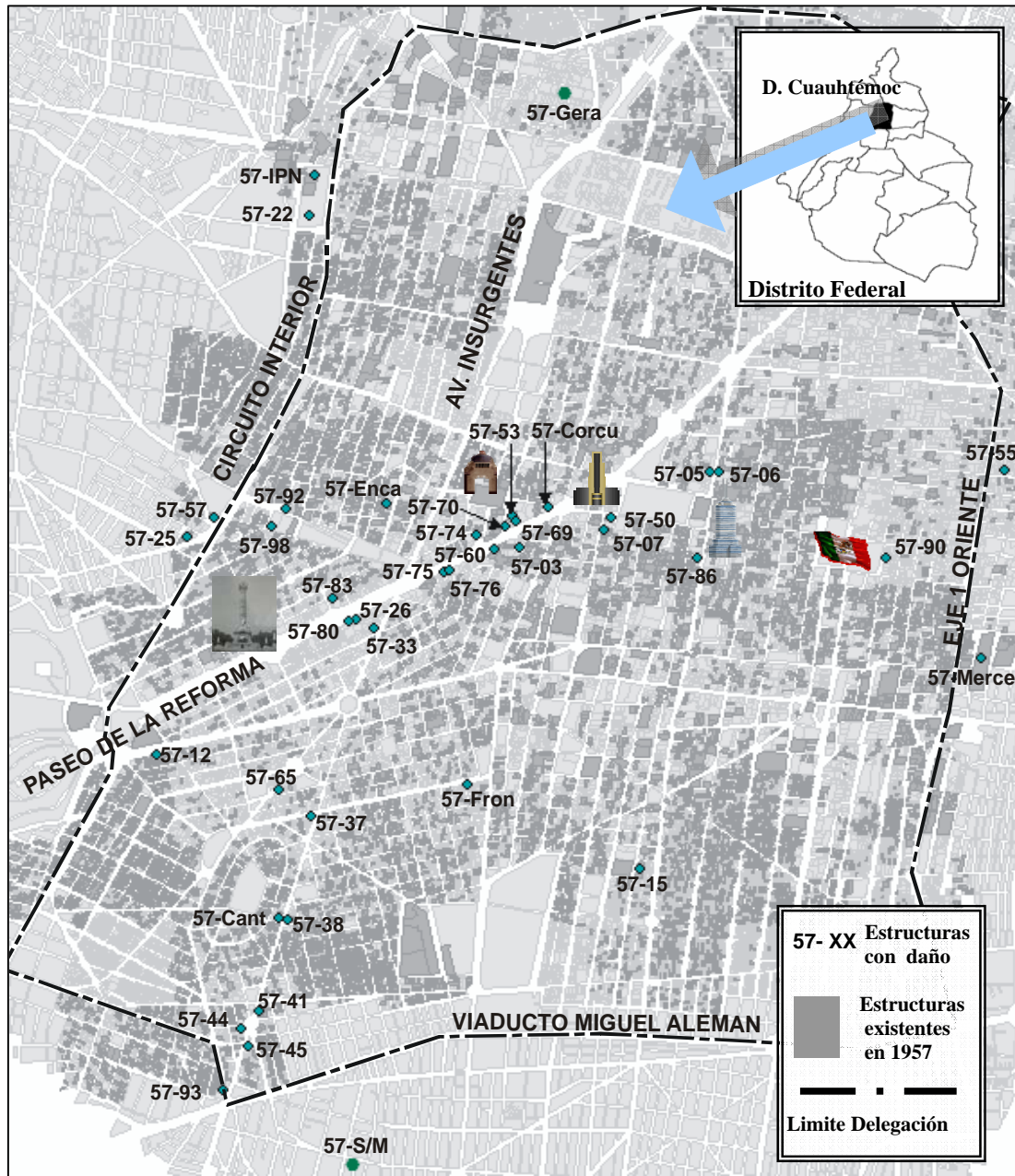


Figura 2.3 Ubicación de estructuras con daños ocasionados por el sismo del 28/07/57 en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se muestra esquemáticamente la ubicación de algunas referencias de la Delegación Cuauhtémoc. En gris oscuro se muestran los edificios que estaban en 1957 y no han sido modificados o sustituidos.

La tabla 2.1 muestra todos los edificios que se reportaron con daños importantes en el Distrito Federal pero sólo las estructuras que estaban dentro o cerca de los límites de la Delegación Cuauhtémoc se ubicaron utilizando un SIG en un mapa digital como se observa en la fig. 2.3. Las estructuras existentes en 1957 mostradas en la misma figura se obtuvieron de la base de datos del SIG proporcionada por la Subdirección de Catastro y Padrón Territorial del Gobierno del Distrito Federal (Quiroga y Reinoso, 2004). Esta base de datos no es muy exacta para 1957 por las

remodelaciones que se han hecho a partir de esa fecha, pero nos puede dar una buena idea del universo de estructuras de esa época dentro de la delegación.

2.1.1 Colapsos totales

A continuación se describen brevemente los casos de colapso total mostrados en la tabla 2.1:

- Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN (57-IPN, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura de marcos de concreto reforzado de 4 pisos y planta baja sin ningún muro. No se registró ninguna pérdida humana pero, si el sismo hubiera ocurrido en horario de clases, habría causado la muerte de cientos de estudiantes (fig. 2.4a).
- Edificio en la esquina de las calles de Frontera y Álvaro Obregón (57-Fron, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura de marcos de concreto reforzado de 5 pisos, destinado a vivienda; en este colapso se reportaron 31 muertos (fig. 2.4b). Fue el caso más trágico, “La construcción se desplomó sobre sus propios cimientos, como un gigantesco acordeón que se cierra verticalmente, de tal manera que los escombros no alcanzaron a rebasar la banqueteta” (Excelsior, 1957).



Figura 2.4 Colapsos totales: a) Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN y b) Edificio en esquina de las calles de Frontera y Álvaro Obregón.

- Casa en la cerrada de Romero de Terreros # 52 (57-S/M, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura que estaba en construcción con muros de mampostería unidos con dalas y castillos de concreto reforzado de 2 pisos. En la fig. 2.5 se muestra el plano de planta baja de la casa donde se observa deficiencia de muros y castillos en la dirección Norte-Sur (Marsal, 1958); se reportó que la estructura se desplazó en esa dirección. En esa época el RCDF no exigía la revisión de estructuras con altura menor de 16m.

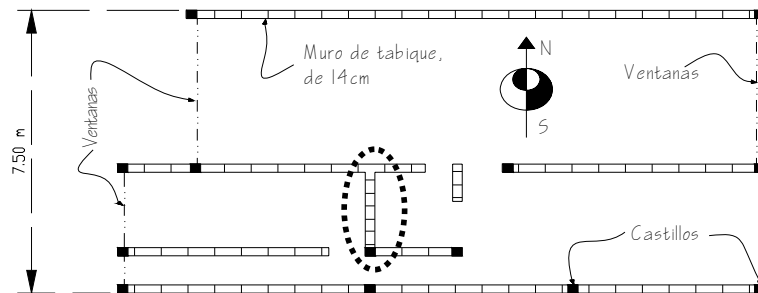


Figura 2.5 Plano de planta baja de la casa en la cerrada de Romero de Terreros # 52. Solo tenía un muro de 2.5m en el sentido Norte-Sur (Marsal, 1958).

2.1.2 Colapsos parciales

A continuación se describen brevemente los casos que sufrieron colapso parcial de las estructuras mostradas de la tabla 2.1:

- Edificio en Insurgentes # 337 esquina con Coahuila (57-Cant, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura de marcos de concreto reforzado de 5 pisos, destinado a vivienda, propiedad del actor mexicano Mario Moreno “Cantinflas”, solo quedó en pie la planta baja (fig. 2.6a).
- Cine Encanto (57-Enca, fig. 2.3 y tabla 2.1). Ubicado en la calle de Serapio Rendón, estructura con columnas de concreto reforzado y armaduras de acero, el techo y parte de los muros se vinieron abajo (fig. 2.6b). Alrededor de 32 salas de diversión con sistemas estructurales similares fueron cerrados por seguridad.



Figura 2.6 Colapsos parciales: a) edificio en Insurgentes # 377, sólo la planta baja quedó en pie y b) Cine Encanto que perdió el techo y parte de los muros.

- Mercado de la Merced (57-Merce, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura con cubierta formada por 94 cascarones de concreto reforzado apoyados cada uno en pares de columnas de concreto reforzado empotradas en cajones también de concreto reforzado con dimensiones de excavación que compensaban el peso propio de la estructura; seis de los cascarones de concreto se vinieron abajo (fig. 2.7).

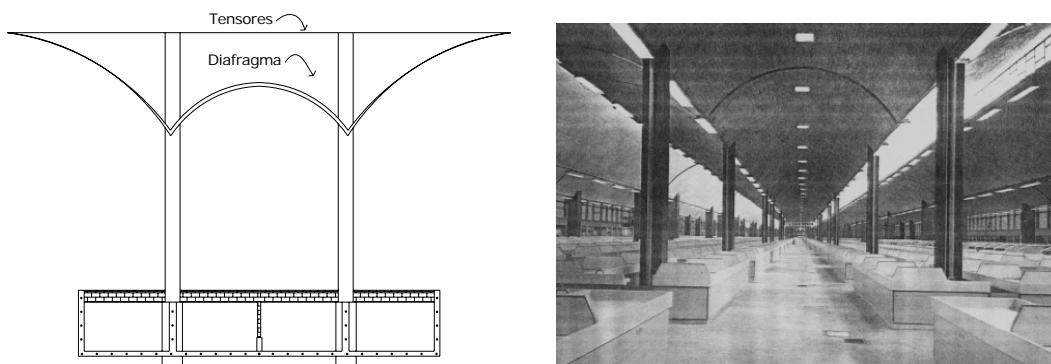


Figura 2.7 Mercado de la Merced, sufrió la caída de una parte de la cubierta (a la izquierda esquema de la estructuración original, Marsal, 1958)

- Edificio en calle Geranio esquina con Abedules en la colonia Atlampa (57-Gera, fig. 2.3 y tabla 2.1). Estructura de cinco pisos, sufrió el derrumbe de los niveles superiores; en él estaban las oficinas de “Elevadores Schindler”.
- Inmuebles de “Muebles y Mudanzas” en Insurgentes # 1338 y el vecino de embotelladora “Canadá Dry” (57-46, tabla 2.1). Estructuras formadas por dos cuerpos, al frente por

oficinas de un piso con muros de concreto reforzado y en la parte posterior por bodegas de muros de tabique con castillos de concreto reforzado y armaduras de acero; el cuerpo de oficinas fue el que se derrumbó.

A pesar de los daños mencionados, el sismo no fue considerado una catástrofe pero toda la población quedó atemorizada, y enseguida se empezó a trabajar en la reconstrucción de la ciudad. En el ámbito de la Ingeniería se comenzó la búsqueda de respuestas del comportamiento de las estructuras y del suelo de la ciudad de México así como la lucha contra los falsos profesionistas (fig. 2.8), “Los colegios de Ingenieros Civiles y Nacional de Arquitectos se solidarizaron ayer a pedir a las autoridades que acaben con la plaga de ‘FIRMONES’, habilitados como peritos constructores...” (Excelsior, 1957); éste, es un problema vigente.

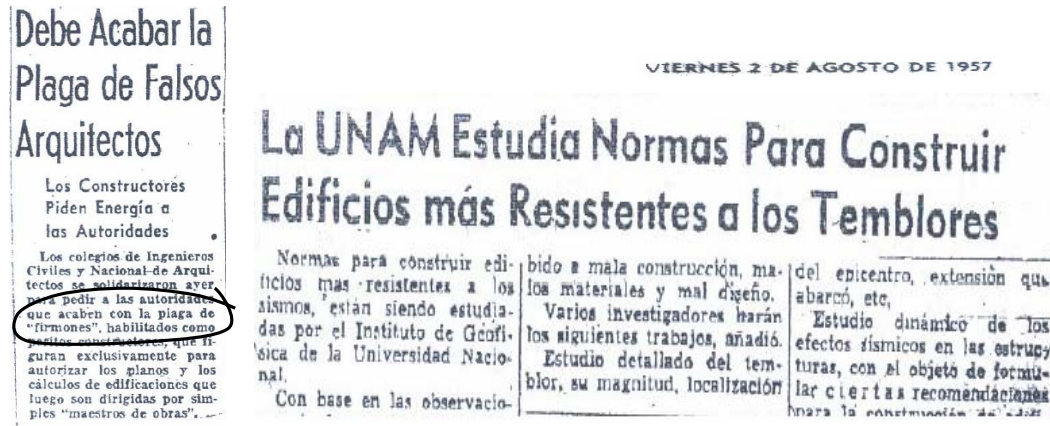


Figura 2.8 Fragmentos de reportajes publicados en Excelsior el 1 de agosto de 1957, muestran las iniciativas que se tomaron en el área de la investigación y de la práctica; nótese en la izquierda el texto que critica la “plaga de firmones”.

2.2 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DAÑOS

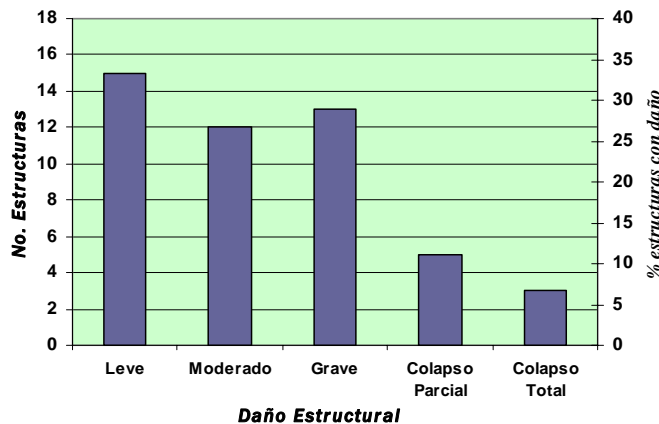


Figura 2.9 Comportamiento de estructuras de la tabla 2.1 durante el sismo del 28/07/57 considerando la magnitud del daño.

Se estudiaron las estructuras de la tabla 2.1 con el propósito de conocer más sobre algunos de los factores que pudieron afectar su desempeño durante el sismo del 1957. En la fig. 2.9 se muestra la distribución de los daños durante el sismo: en el eje horizontal se tiene el nivel de daño y en los ejes verticales se evalúa el número de estructuras en cada caso y el porcentaje que representan del total. Como ya se mencionó, se aprecia que fueron pocos los colapsos y que los porcentajes en los niveles de daño leve, moderado y grave son muy similares. A continuación se presentan las

distribuciones de daño en las estructuras considerando el tipo de sistema estructural, el golpeteo, la ubicación en esquina, irregularidad en planta y el número de niveles; más adelante se presenta un estudio que correlaciona el daño con el periodo dominante del suelo, los asentamientos diferenciales y el tipo de cimentación y algunos índices de intensidad sísmica.

2.2.1 Número de niveles

Se clasificaron las estructuras por número de niveles para relacionarlo con el nivel daño y se obtuvo la distribución mostrada en la fig. 2.10. En ella se observa que casi todos los colapsos y parte de los daños graves y moderados se presentaron en los edificios de baja altura que en su mayoría tenían un sistema estructural de marcos de concreto, tipo nave industrial o mampostería confinada. En esa época el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal no contemplaba el diseño sísmico de las estructuras con altura menor a 16m, que incluía estructuras hasta de cinco niveles, por lo que es muy probable que estas estructuras no hayan tenido un buen diseño estructural o una supervisión de ingenieros capacitados. Si observamos la categoría que contiene la suma de todas las magnitudes de daño (fig. 10) se aprecia que hay un valor máximo en las estructuras de cinco niveles: todas eran de marcos de concreto. En la misma categoría se observa que disminuyen los daños para las estructuras de seis niveles y van aumentando hasta llegar a las de once niveles donde se tiene otro valor máximo de daños: nuevamente todas eran de marcos de concreto. Para las estructuras de doce niveles no se reportaron daños y para las de trece a dieciséis niveles hay menos daños y se observa que disminuyen conforme se aumenta el número de niveles, el sistema estructural varía, hay dos casos de construcción compuesta con daño leve y moderado, uno de marcos de acero con daño leve y el resto de marcos de concreto con daños moderados y graves. En esa época ya existía la Torre Latinoamericana construida a base de marcos de acero, con 43 niveles. El proyecto fue realizado con la participación de los mejores de la ingeniería mexicana de esa época; no fue reportada con daños.

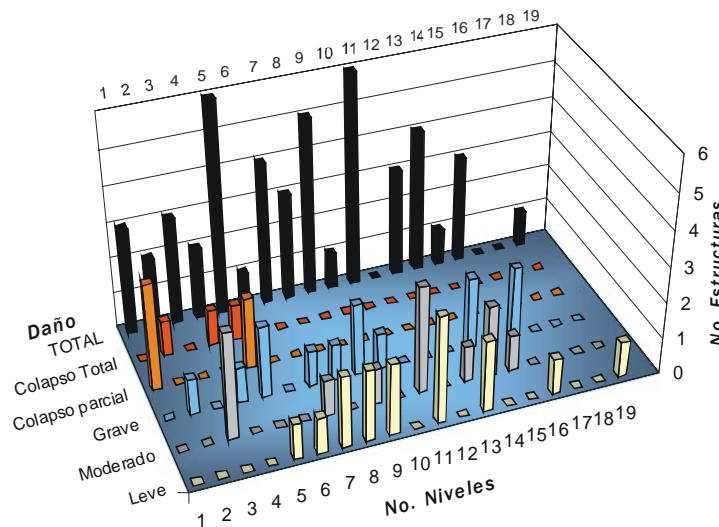


Figura 2.10 Comportamiento de las estructuras de la tabla 2.1 durante el sismo del 28/07/57 clasificadas por número de niveles y magnitud del daño.

2.2.2 Tipo de sistema estructural

Tomando en cuenta la clasificación de las estructuras según el tipo de sistema estructural (tabla 2.1), se obtuvo la distribución de daños mostrada en la fig. 2.11. Se observa que las estructuras de marcos de concreto representan la mayoría de los daños de la muestra; se tienen dos colapsos totales y un parcial en este grupo. En las estructuras de marcos de acero se aprecia solo un caso con daño grave, no se tiene información de niveles de daño menores ya que probablemente no

presentaron daños importantes como se menciona en Excelsior (1957) "...las estructuras de acero han pasado victoriosamente la prueba del temblor del día 28..." (fig. 2.12). En las estructuras de construcción compuesta se observa solo un caso de daño moderado y uno de daño leve, esto muestra que aparentemente tuvieron buen comportamiento y que el concreto que recubría los marcos de acero aportó una resistencia extra ya que no fue diseñado específicamente para esta función. En la mampostería confinada se aprecian tres casos de daño moderado, y el colapso total que se observa es el caso ya descrito de la casa que carecía de muros en la dirección N-S y la falla fue fuera del plano (57-S/M, tabla 2.1), es decir, como la falla típica de un muro aislado. En el sistema de naves industriales se observan dos colapsos parciales y un daño grave, la mayoría de los daños fue producto de la caída de la cubierta y de la falla de muros al no tener confinamiento suficiente; este sistema se utilizaba mucho en las salas de diversión (cines, casinos, salones de baile) y en bodegas, muchas fueron cerradas para su revisión pero no se tiene información de los dictámenes. En estos dos últimos tipos de sistemas estructurales no se tienen casos de daño leve o moderado, es muy probable que sí hayan ocurrido daños solo que no se encuentran reportados.

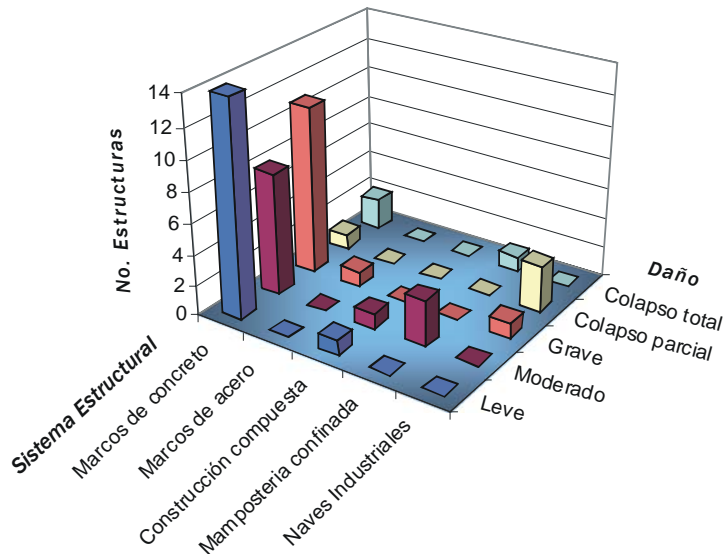


Figura 2.11 Comportamiento de las estructuras de la tabla 2.1 durante el sismo del 28/07/57 clasificadas por sistema estructural y magnitud de daño.

Para tener un comparativo entre los sistemas de estructuración que se utilizaban en el centro de la ciudad de México y la distribución de daño mostrada en la fig. 2.11, se realizó una encuesta a varios ingenieros expertos que conocen las construcciones de esa época. Los resultados se muestran en la fig. 2.13 y nos indican que se construía con marcos de acero aproximadamente un 30% de los edificios de seis a diez niveles, un 40% de los de once a quince niveles y un 60% de los de dieciséis o más niveles; esto aclara que sí existían varios edificios de acero y que este sistema estructural tuvo un buen desempeño ya que se reportaron muy pocos casos de daño (incluyendo los de construcción compuesta). 50% de los edificios de tres a cinco niveles se construían con marcos de concreto, el hecho de que todos los edificios de cinco y once niveles reportados con daño eran de este tipo de sistema estructural hace sobresalir un mal comportamiento no solo para este número de niveles sino para todos en general al tener una gran cantidad de casos reportados de este sistema (fig. 2.11). Para los edificios de uno y dos niveles resultó que predominaba la construcción con dos tipos de sistemas: mampostería confinada (43%) y mampostería sin confinar (38%), a pesar de ser elevado el porcentaje, se tuvieron pocos casos reportados de estos sistemas (fig. 2.11); es muy probable que por ser estructuras de bajo periodo estructural no hayan sido dañadas significativamente por el sismo y por lo tanto este sistema tuvo un comportamiento aceptable. El porcentaje restante de edificios de uno y dos niveles (20%) se construía con marcos de concreto, tipo nave industrial y adobe; por lo tanto existían pocas edificaciones con sistema estructural de nave industrial, sin embargo en la fig. 2.11 se observan varios casos con magnitudes altas de daño

de este sistema (causadas por razones que ya se comentaron) lo que nos muestra que este sistema tuvo mal comportamiento.



Figura 2.12 Publicación del Excelsior (1957) expresando que las construcciones de acero fueron más resistentes durante el temblor del 28/07/57, según la opinión del Ingeniero Evaristo Araiza, gerente de la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey.

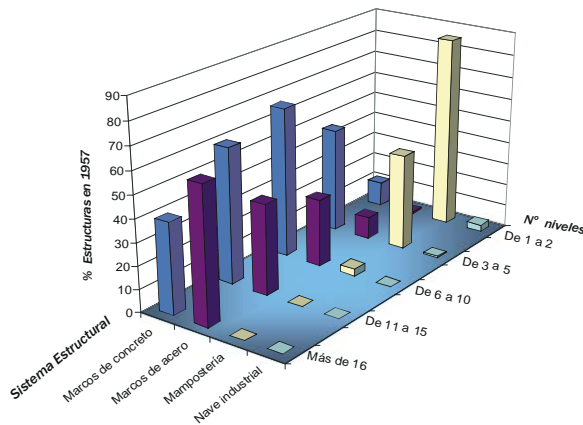


Figura 2.13 Porcentajes de sistemas estructurales utilizados para construir en 1957. Resultados obtenidos de entrevistar a varios expertos en el tema.

2.2.3 Golpeteo

El efecto de golpeteo se considera que se presenta cuando la separación entre dos estructuras de diferente altura o rigidez no es lo suficientemente grande como para evitar el impacto entre ambas al ocurrir desplazamientos producidos durante un sismo fuerte. Con respecto a este efecto de golpeteo se tienen sólo cuatro casos claros que sufrieron impacto con edificios vecinos: 57-15, 57-53, 57-76 y 57-86 (tabla 2.1). En estas estructuras resalta que los daños importantes no se presentaron en todo el edificio sino solamente en las zonas de colindancias con las edificaciones vecinas, sin embargo, las descripciones de los daños no indican tener características de haber sido producto del impacto. La ocurrencia de pocos casos de golpeteo se puede atribuir a que en esa época había poca irregularidad en la altura de las construcciones, que había pocas estructuras de gran altura que pudieran presentar problemas de flexibilidad y que predominaban sistemas estructurales rígidos a base de muros. En la fig. 2.14 se muestra una vista panorámica del centro de la ciudad en 1957 donde se aprecian que existían pocas estructuras de gran altura.



Figura 2.14 Vista panorámica del centro de la ciudad de México en 1957. Existían pocas estructuras de gran altura y había poca irregularidad en la altura de edificios.

2.2.4 Ubicación en esquina

Se considera que una estructura está en esquina cuando los muros colindantes con las edificaciones vecinas son mucho más resistentes y rígidos que los marcos de las fachadas y no están adecuadamente desligados unos de los otros (fig. 2.15a). Durante un sismo fuerte la diferencia de rigidez entre fachadas y muros colindantes produce efectos de torsión y desplazamientos muy diferentes en los elementos de la estructura causando daños graves.

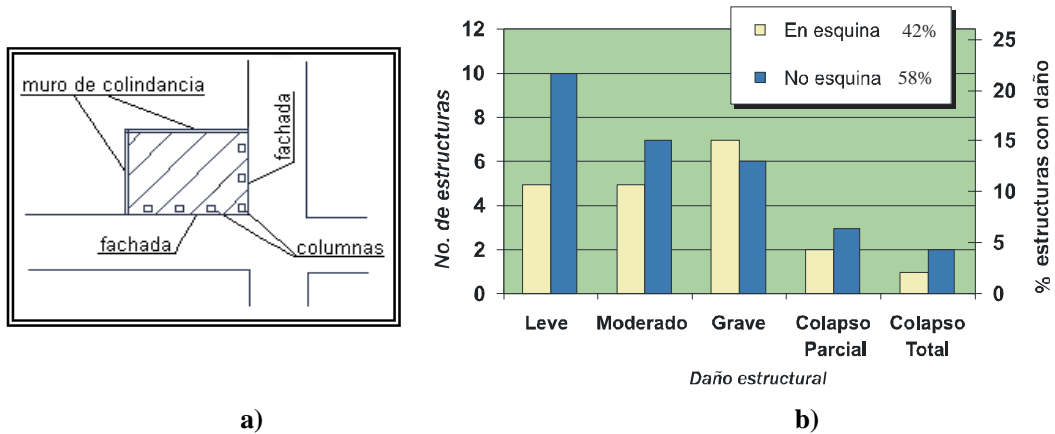


Figura 2.15 a) Croquis típico de una de estructura de esquina y b) Comportamiento de las estructuras de la tabla 2.1 durante el sismo del 28/07/57 clasificadas por su ubicación en esquina y magnitud de daño. Se aprecia que el 42% estaba en esquina y la mayoría presentaron magnitudes altas de daño.

Tomando la clasificación de las estructuras según lo anterior se obtuvo la distribución de daños mostrada en la fig. 2.15b donde se observa que dos estructuras de cada cinco (42%) de la tabla 2.1 estaban en esquina, y los niveles de daños que tuvieron fueron altos incluyendo un colapso total.

2.2.5 Irregularidad en planta

Se considera irregularidad en planta cuando existe, ya sea desde el punto de vista estructural o arquitectónico, distribución asimétrica de elementos resistentes y de la masa de la estructura provocando que el centro de masa y el centro de torsión no coincidan; esto durante un sismo induce efectos de torsión causando mayores desplazamientos y esfuerzos y por lo tanto daños graves en las estructuras. Tomando en cuenta lo anterior se clasificó la muestra y se obtuvo la distribución de daños mostrada en la fig. 2.16. En ella se observa que la mitad de las estructuras reportadas con daño tenían irregularidad en planta. Se aprecia que muchas de estas estructuras tuvieron daño leve, sin embargo, también se presentaron dos casos de colapso parcial y uno de colapso total. Además de lo mencionado en el tema anterior, las estructuras en esquina son casos muy frecuentes de presentar irregularidad en planta.

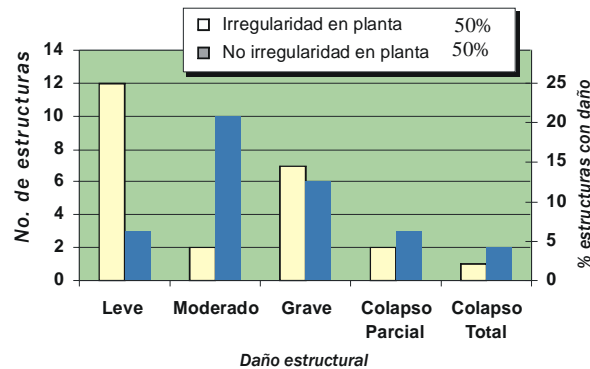


Figura 2.16 Comportamiento de las estructuras de la tabla 2.1 clasificadas según su irregularidad en planta y daño estructural, 50% de las estructuras tenían planta irregular.

En la fig. 2.17a se muestra el edificio Corcuera (57-Corcu, tabla 2.1 y fig. 2.3), conocido por su anuncio de Goodrich Euzkadi y su enorme llanta en lo alto. Este edificio era una estructura de esquina que aunque no se aprecia en la imagen tenía en la parte posterior un muro de rigidez; además, la esquina era en diagonal lo que agravó la irregularidad en planta; los daños que presentó este edificio durante el sismo fueron tan severos que causaron su demolición meses después. En la fig. 2.17b se muestra en la misma esquina la estructura actual que a pesar de ser más moderna es muy similar en la irregularidad tanto en planta como en altura.



Figura 2.17 a) edificio Corcuera (57-Corcu en tabla 2.1) ubicado en esquina y con planta muy irregular por encontrarse en un cruce de calles en diagonal, fue demolido después del sismo por los daños tan severos que sufrió y b) edificio actual en la misma esquina con características muy similares al anterior.

De las estructuras en esquina estudiadas sobresale que como el edificio Corcuera, aproximadamente la mitad tenían mucha irregularidad en planta debido a que se encontraban en cruces de calles en diagonal. Con ayuda de un SIG se localizaron este tipo de estructuras. En la fig. 2.18 se muestra parte del resultado, se aprecia un tramo de la Avenida Paseo de la Reforma que por su orientación presentó varios casos. Se muestran en el plano con color negro las estructuras 57-70, 57-74 y 57-Corcu (tabla 2.1, fig. 2.3 y fig. 2.17) y se muestra en un croquis la forma en planta de las estructuras 57-70 y 57-74 observándose la gran irregularidad en planta que tenían. Se muestra también una foto panorámica de esa zona tomada antes del sismo donde se observan las estructuras mencionadas.

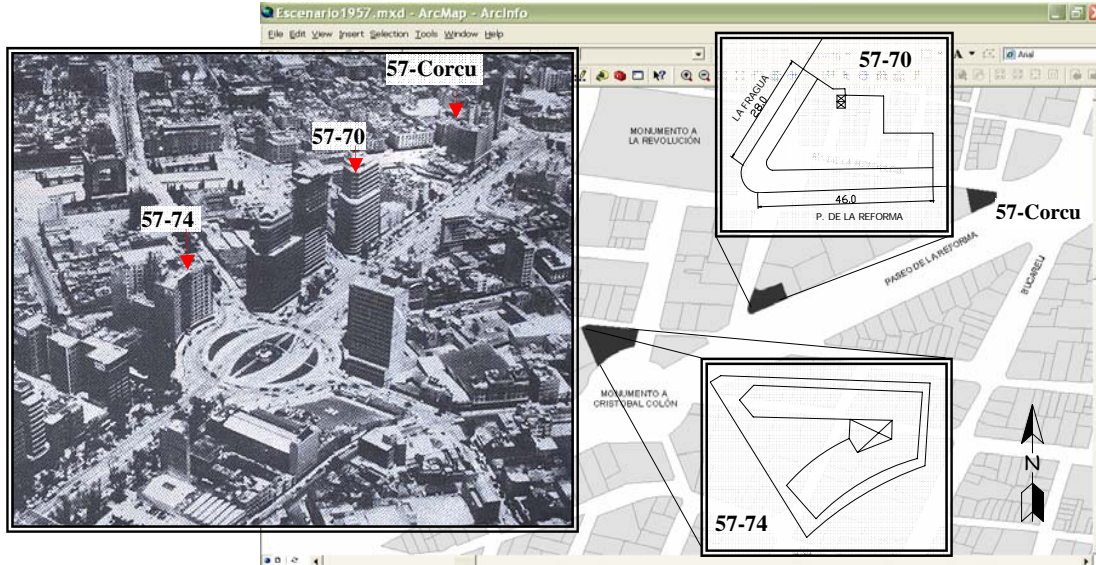


Figura 2.18 En la Av. Paseo de la Reforma debido a su orientación había varias estructuras con bastante irregularidad en planta. Se muestran esquemáticamente con ayuda de un SIG y en fotografía tres casos de estructuras en esquina y con planta muy irregular.

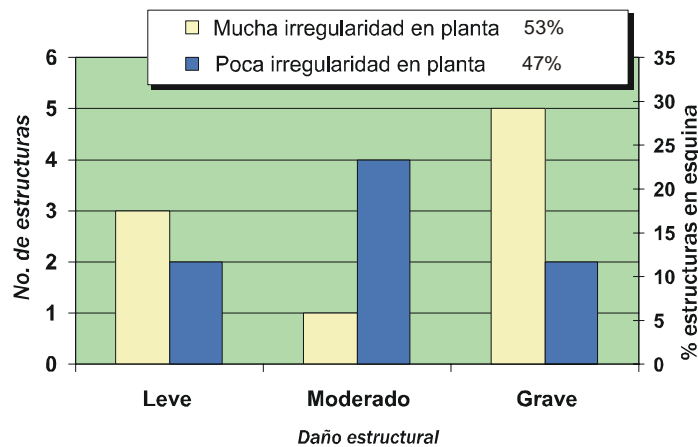


Figura 2.19 Comportamiento de las estructuras en esquina de la tabla 2.1 durante el sismo del 28/07/57 clasificadas por su irregularidad en planta y magnitud de daño. Nótese que la mayoría de las estructuras que tuvo daño grave tenía mucha irregularidad en planta.

Clasificando las estructuras que estaban en esquina por su irregularidad en planta se obtuvo la distribución de daños mostrada en la fig. 2.19. Se observa que un poco más de la mitad tenían mucha irregularidad en planta y que los daños en su mayoría fueron de intensidad grave. Es muy probable que los efectos de torsión se hayan incrementado y provocaron daños más intensos en

estas estructuras que en las que no tenían tanta irregularidad. Para los casos de estructuras de esquina con colapso parcial o total no se tiene certeza de la poca o mucha irregularidad en planta por lo tanto no se consideraron en la obtención de la fig. 2.19.

2.2.6 Asentamientos diferenciales y tipo de cimentación

Para asociar el efecto del tipo de cimentación de las estructuras con la magnitud del daño estructural primero se clasificó la muestra tomando en cuenta el daño que sufrió dicha cimentación; en este caso por la información disponible sólo se conoce si sufrieron asentamientos diferenciales después del sismo, considerando éstos como hundimientos no uniformes en la base de la estructura que provocan desplome de la misma. Si la inclinación es leve puede causar pocos daños y solamente en elementos no estructurales pero si es muy grande puede causar daños severos en elementos estructurales y además poner en peligro la estabilidad de la estructura. Luego se clasificó la muestra en cinco grupos (tabla 2.1): Pilotes de Madera (PM, de punta), Pilotes de Concreto (PC, de fricción), Cajón de Cimentación (CC), Parcialmente Compensada con cajón de cimentación y con Pilotes (PCP) y Superficial (S); no se consideraron seis estructuras de la tabla 2.1 por no tener los datos de su cimentación y desafortunadamente están entre ellos un caso de colapso total y tres parciales. En la fig. 2.20a se muestra la distribución obtenida considerando lo anterior, se observa que las estructuras con pilotes de madera y cimentación superficial son las que presentaron más asentamientos después del sismo aunque bien es cierto que son las que más se tenían en el grupo estudiado.

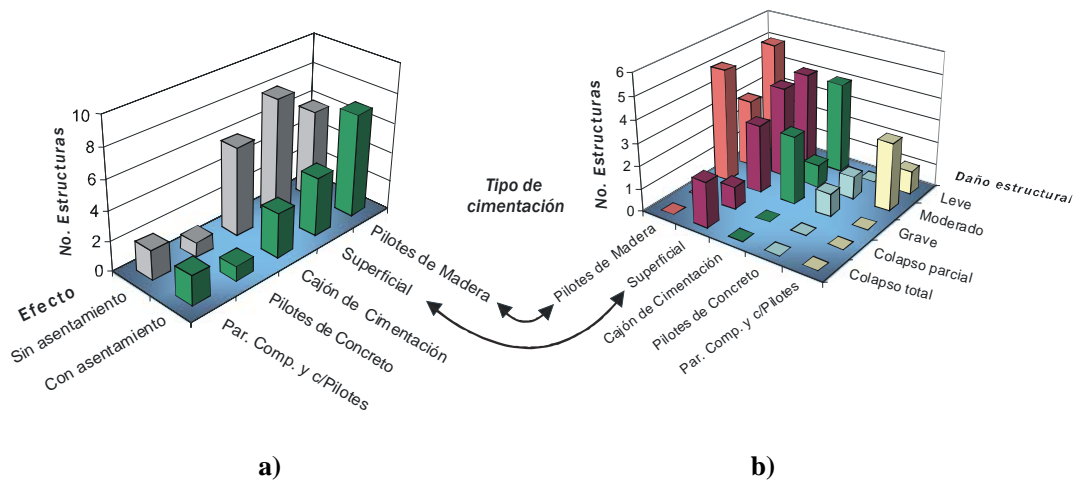


Figura 2.20 Comportamiento de estructuras de la tabla 2.1 durante el sismo de 28/07/57 clasificadas en a) por el tipo de cimentación y por presencia de asentamientos diferenciales después del sismo y en b) por el tipo de cimentación y la magnitud de daño estructural.

En la fig. 2.20b se muestra el comportamiento obtenido al considerar el daño estructural y el tipo de cimentación. Se aprecia que los casos de colapso parcial y total en que sí se tenía información completa se presentaron únicamente en la cimentación superficial, sin embargo, casi todos estos casos eran estructuras tipo nave industrial que como vimos tuvieron mal comportamiento durante el sismo. Casi todos los daños de magnitud grave y moderada se concentraron en las estructuras con cimentación superficial, pilotes de madera y cajón de cimentación, recordando que estos tres tipos representan la mayoría del grupo en estudio. Los pilotes de concreto y la cimentación parcialmente compensada tuvieron pocos casos registrados de daño y éstos son de magnitud leve, moderado y grave. Tanto en la fig. 2.20a como en la fig. 2.20b se aprecia que en todos los sistemas de cimentación se tuvo al menos un caso con presencia de asentamiento diferencial y con daños estructurales de moderados a graves; se observa que los sistemas con más número de casos con asentamientos también presentaron más casos de daños graves, lo que nos sugiere una correlación entre los daños estructurales y los asentamientos diferenciales presentados.

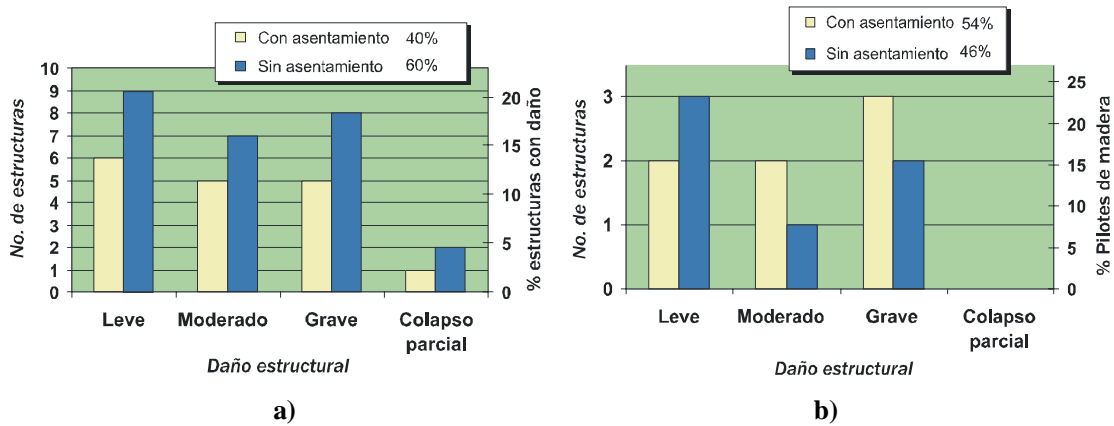


Figura 2.21 Comportamiento de estructuras a) de la tabla 2.1 durante el sismo de 28/07/57 clasificadas por la presencia de asentamientos diferenciales y magnitud de daño estructural después del sismo y b) solo las de cimentación con pilotes de madera clasificadas con el mismo criterio. Nótese el porcentaje significativo de estructuras que presentaron asentamientos diferenciales.

En la fig. 2.21a se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla 2.1 clasificadas por la ocurrencia de asentamientos diferenciales y la magnitud del daño estructural observado después del sismo. Se observa que dos estructuras de cada cinco (40%) presentaron asentamientos y además este porcentaje se mantiene uniforme tomando en cuenta las distintas magnitudes de daño (se omitió la categoría de colapso total ya que en este caso fue muy difícil determinar si hubo asentamientos en la estructura). En la fig. 2.21b se muestra la distribución obtenida al clasificar sólo a las estructuras con cimentación de pilotes de madera siguiendo el mismo criterio de la fig. 2.21a. Se observa que un poco más de la mitad (54%) de las estructuras con este sistema tuvieron asentamientos y éstas presentaron en su mayoría daños intensos. Se hizo lo mismo para los otros sistemas de cimentación y se obtuvieron los porcentajes de casos con asentamientos diferenciales siguientes: cimentación superficial 29%, cajón de cimentación 33%, parcialmente compensada con cajón y pilotes 50% y pilotes de concreto 50%. Se observa que los porcentajes de presencia de asentamientos son significativos (sin olvidar que es pequeño el conjunto observado), sobresaliendo las cimentaciones más antiguas como lo son los pilotes de madera.

CAPÍTULO 3

CORRELACIÓN ENTRE EL DAÑO ESTRUCTURAL Y LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Como sabemos el suelo es uno de los principales factores que intervienen en el comportamiento sísmico de las estructuras. En este trabajo se pretende analizar algunos de sus efectos que pudieron influir en el daño de las construcciones.

3.1 INTENSIDAD SÍSMICA

Si se conoce el nivel de intensidad del movimiento del suelo se puede determinar la demanda sísmica para un evento. Esta intensidad se acostumbra describir por medio de tres parámetros: la aceleración máxima, la velocidad máxima y el desplazamiento máximo de la estructura, debido a que la respuesta estructural es sensible a cada uno de éstos dependiendo de las propiedades dinámicas de la misma. El camino más sencillo es hacerlo a través del cálculo de la respuesta de un oscilador de un grado de libertad e ir formando espectros de respuesta. En este trabajo para obtener los índices mencionados se utilizó el programa de computo "Z" (fig. 1.6); se calculó en coordenadas geográficas una malla de la Delegación Cuauhtémoc en donde cada punto contiene datos en términos de espectros de aceleraciones. Estos datos son resultado de utilizar los registros de un sismo histórico (24/10/93 Copala, Gro.) con epicentro muy cercano a la zona donde se originó el del 28/07/57 ya que no se cuenta con registros de este sismo. El programa permite escalar la magnitud del sismo escogido en este caso de $M=6.7$ a $M=7.5$ y la distancia epicentral de $R=310$ km a $R=350$ km; con esto asumimos que este sismo escalado presenta intensidades muy similares a las que se pudieron presentar en 1957.

Se graficaron los espectros de respuesta, obtenidos como se explicó en el párrafo anterior, para los sitios que corresponden a la ubicación de las estructuras de la tabla 2.1, se localizaron los periodos estructurales (T_e) de cada una de ellas en estos espectros con el fin de observar la ordenada espectral para ese valor. El periodo estructural se obtuvo como se comentó en el capítulo 1 con el programa RS-MEX pero también con las expresiones de Muría y González (1995) basadas en considerar el número de niveles de la estructura, el tipo de sistema estructural y el tipo de suelo en que están desplantadas; también se utilizaron las expresiones de Chopra y Goel (2000) donde se toma en cuenta además de lo anterior la altura de cada nivel (se propuso 3.5m), con la observación de que estas últimas son para estructuras de Estados Unidos y además las expresiones de Mosquera y col. (2006) para edificios en la ciudad de México de concreto reforzado donde se considera la altura y también el número de pisos de las estructuras. Primero se comparó un grupo de 14 estructuras con magnitudes altas de daño. En la fig. 3.1 se resumen los tres tipos de comportamiento que se observaron; la línea punteada indica el periodo de cada estructura. Se consideró como un tipo de comportamiento cuando el T_e coincide con las ordenadas máximas, se muestra en la fig. 3.1a la estructura 57-Corcu, sólo dos estructuras más presentaron este comportamiento (57-74 y 57-69), las aceleraciones observadas van de 130 a 160 gals. Como otro tipo se consideró cuando el T_e se localiza mucho antes de las ordenadas máximas, se muestra en la fig. 3.1b la estructura 57-Enca, se presentaron dos estructuras más con este comportamiento (57-Merce y 57-55) coincidiendo en que las tres eran tipo nave industrial que como se había mencionado mostró mal comportamiento; las aceleraciones fueron muy bajas, entre 30 y 40 gals. Y el otro tipo de comportamiento que se consideró es cuando el T_e se localiza sólo un poco antes de las ordenadas máximas, sugiriendo que éstas pudieron presentar ductilidad o pérdida de rigidez (comportamiento inelástico) y por lo tanto el T_e modificarse y provocar coincidencia con ordenadas máximas, se muestra en la fig. 3.1c la estructura 57-37, se presentaron siete estructuras más con este comportamiento; las aceleraciones observadas van de 60 a 130 gals. En la comparación de este primer grupo de estructuras sin tomar en cuenta los casos de tipo nave industrial, se observó que pudo haber correlación entre la magnitud de daño y ordenadas máximas

en el espectro de respuesta, considerando la posibilidad de comportamiento inelástico, la cual se estudia más adelante. Sin embargo, también se comparó un grupo de 24 estructuras con daño moderado y leve (Anexo A) y se observó que en doce de ellas el T_e se localizaba mucho antes o bien después de las ordenadas máximas, en ambas situaciones se entendería que esto provocó poco daño; las aceleraciones observadas fueron de 30 a 70 gals, sin embargo, inesperadamente en las doce estructuras restantes el T_e sí se localizaba en la zona de ordenadas máximas y no sufrieron daño mayor, las aceleraciones presentadas eran de 60 a 130 gal. Esto implica que no existió una correlación entre la magnitud de daño y ordenadas máximas en el espectro de respuesta.

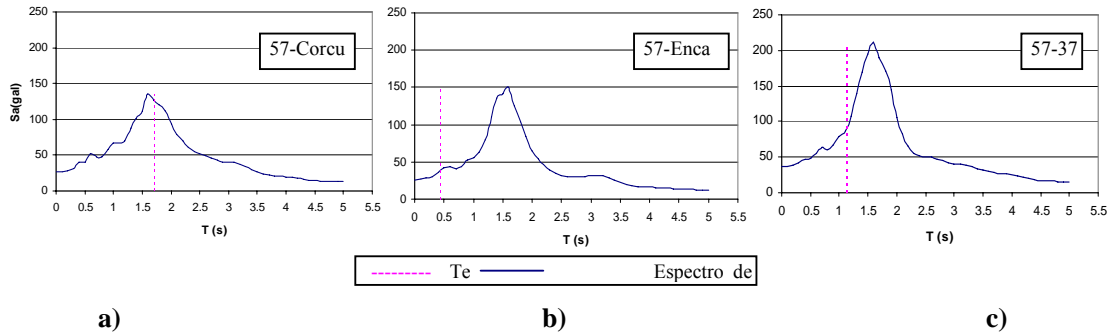


Figura 3.1 Comparación del espectro de aceleración del sitio y el T_e de las estructuras con magnitudes altas de daño: a) estructura 57-Corcu, el T_e coincide con ordenadas máximas, b) estructura 57-Enca el T_e está muy lejano a las ordenadas máximas, pero tenía sistema estructural tipo nave industrial que mostró mal comportamiento y c) estructura 57-37 el T_e se localiza antes de las ordenadas máximas, posible comportamiento inelástico.

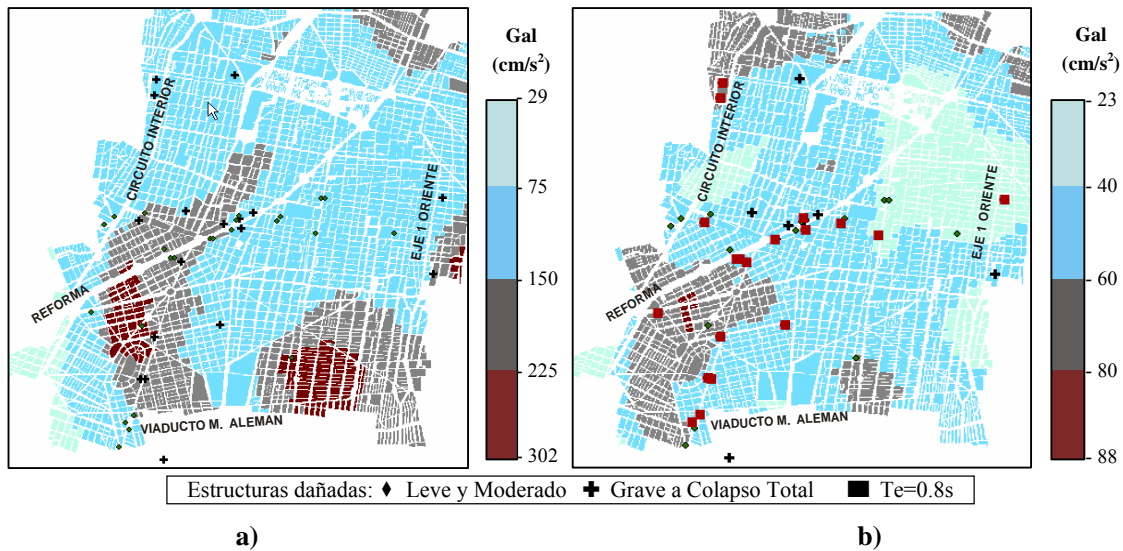


Figura 3.2 Estructuras con daño y mapas de aceleración a) para valores máximos espectrales de cada sitio y b) para valores de $T_e=0.8s$. Se aprecian pocos casos en los que coinciden los daños con las zonas de mayores aceleraciones.

Se obtuvieron varios mapas de intensidad de aceleración con ayuda de un SIG y los datos obtenidos del programa “Z”, estos mapas son útiles para visualizar en qué zonas se presentaron los valores mayores de aceleración. En la fig. 3.2 se muestran mapas de intensidad de aceleración y la ubicación de las estructuras de la tabla 2.1; en la fig. 3.2a se muestra el mapa de aceleraciones máximas de cada sitio, aunque sabemos que éstas no se pueden presentar en el mismo instante, nos sirve para darnos una idea de las zonas que tuvieron valores mayores de aceleración. En la fig. 3.2b

el mapa de aceleraciones correspondientes a $T_e=0.8s$, en ambos mapas las zonas de aceleraciones mayores se muestran en tonos oscuros. Se aprecia que hay pocos casos en donde coinciden los daños con las aceleraciones máximas. Se realizaron mapas para otros períodos (Anexo B) pero tampoco se encontró correlación.

Utilizando los datos de velocidad máxima que también proporciona el programa “Z” y con apoyo del SIG se realizó un mapa de intensidad de velocidad (Anexo B, fig. B.2), pero tampoco se observó una coincidencia notable de los daños con las zonas de velocidades mayores. Para los desplazamientos también se realizaron mapas de intensidad para diferentes períodos, los valores se obtuvieron a partir del espectro de aceleraciones ($A = \omega^2 d$). En la fig. 3.3 se muestran los mapas de desplazamiento en a) para los valores máximos espectrales de cada sitio y en b) para los valores con un T_e de 1.5s, no se observa coincidencia de los daños con las zonas de valores máximos en ninguno de los dos casos mostrados.

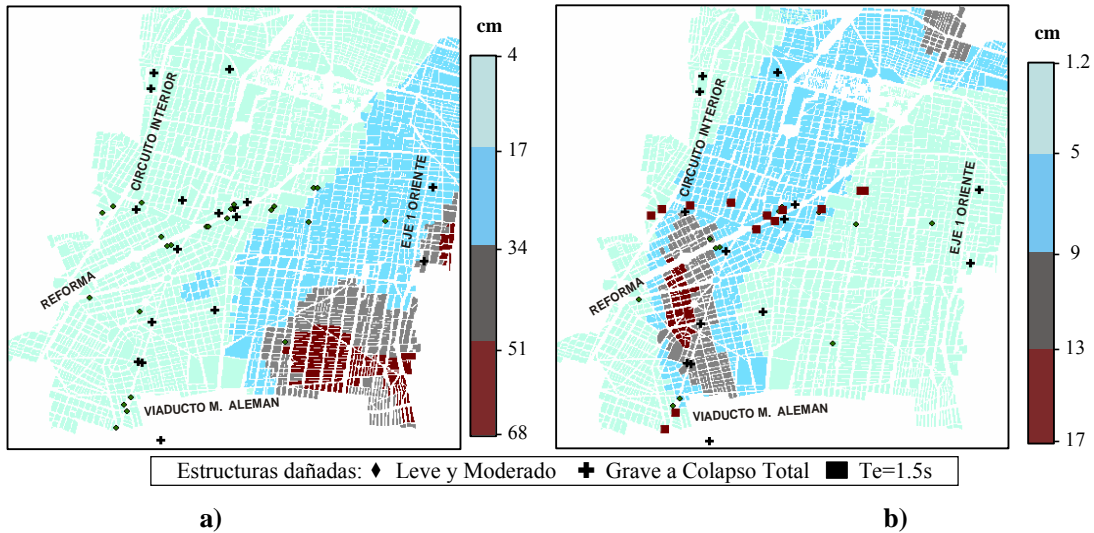


Figura 3.3 Mapas de intensidad de a) desplazamientos máximos espectrales para cada sitio y b) desplazamiento para $T_e=1.5s$. Se aprecian pocos casos en los que coinciden los daños con las zonas de mayores desplazamientos.

Por lo regular se acostumbra relacionar las distorsiones de entrepiso que sufren las estructuras durante un sismo con el daño estructural, estas distorsiones se pueden estimar a partir de los desplazamientos obtenidos, para esto se emplearon las expresiones de Miranda (1999) para la obtención de desplazamientos de azotea y distorsiones de entrepiso a partir del valor obtenido del espectro de desplazamientos y considerando que el primer modo de vibrar es el que domina. Debido a que las magnitudes de daño manejadas son sólo una apreciación y no una medida para poder obtener una correlación, sólo se realizó una comparación directa tanto para los valores de aceleración como para los de distorsiones. En la fig. 3.4a se muestra la comparación de la aceleración (eje horizontal) con la magnitud de daño (eje vertical), en los valores de aceleración se tomó en cuenta que el cálculo del T_e es incierto por lo que se eligió el valor máximo de aceleración espectral en un intervalo de $T_e \pm 0.5s$. Nótese que se añadieron algunas estructuras con daño estructural nulo para observar de forma más completa la comparación. Las estructuras se clasificaron por número de niveles, las de baja altura (1 a 5 niveles) mostraron en su mayoría daños graves con valores de aceleración muy bajos, pero se podrían excluir las estructuras de la zona sombreada ya que son las que se reportaron con claros daños debidos a errores constructivos y que además su sistema estructural mostró mal comportamiento (tipo nave industrial: 55-55, 57-Mercede, 57-Enca, mampostería: 57-90, 57-83). La tendencia esperada era que los puntos se agruparan de manera aproximada dentro de las líneas punteadas, tomando en consideración las aceleraciones de los espectros; sin embargo no se aprecia ninguna tendencia, omitiendo las estructuras mencionadas de la zona sombreada se observa que abajo de 80 gals no se presentó ningún daño. En la fig. 3.4b se aprecia la comparación de las distorsiones de entrepiso con la magnitud de daño y tampoco se

aprecia claramente alguna tendencia, las magnitudes de distorsión de entrepiso fueron en su mayoría pequeñas.

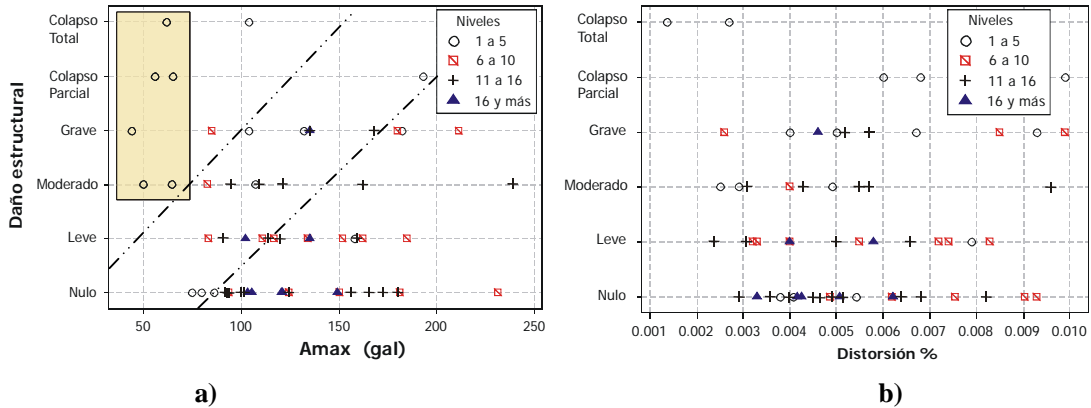


Figura 3.4 Comparación de la magnitud de daño estructural a) con la aceleración espectral en $T_e \pm 0.5s$ y b) con las distorsiones de entrepiso evaluadas. No se aprecia ninguna tendencia, sólo se aprecia que no hubo daño debajo de los 80 gals omitiendo las estructuras de la zona sombreada.

3.2 PERIODO DEL SUELO VS. PERIODO ESTRUCTURAL

Se considera que el efecto de resonancia se presenta cuando en una excitación sísmica el periodo natural de una estructura es muy similar al periodo dominante del suelo sobre el que está desplantada. Después del sismo de 1957 se mencionó que la resonancia podría haber sido la causa de daño en varias de las estructuras (Excelsior, 1957), hipótesis que se ha mantenido desde entonces.

Con el fin de estudiar este efecto se relaciona aquí el periodo del suelo con el número de niveles y con el periodo natural de las estructuras. Se obtuvo el periodo dominante del suelo para cada uno de los sitios donde estaban desplantadas las estructuras con el programa “Z” y con el RS-MEX, los dos resultados fueron prácticamente iguales. En la fig. 3.5a se muestra la correlación entre el número de niveles de las estructuras (eje horizontal) y el periodo del suelo (T_s , eje vertical), los puntos observados son sólo de las estructuras con magnitud de daño grave y colapso que no tuvieron problemas de golpeteo, fallas por defectos de construcción, fallas fuera del plano y algunos otros efectos que por las descripciones en los reportes resultaba claro que la resonancia no era necesariamente el motivo del daño. La correlación obtenida es relativamente pobre ($R^2=0.46$).

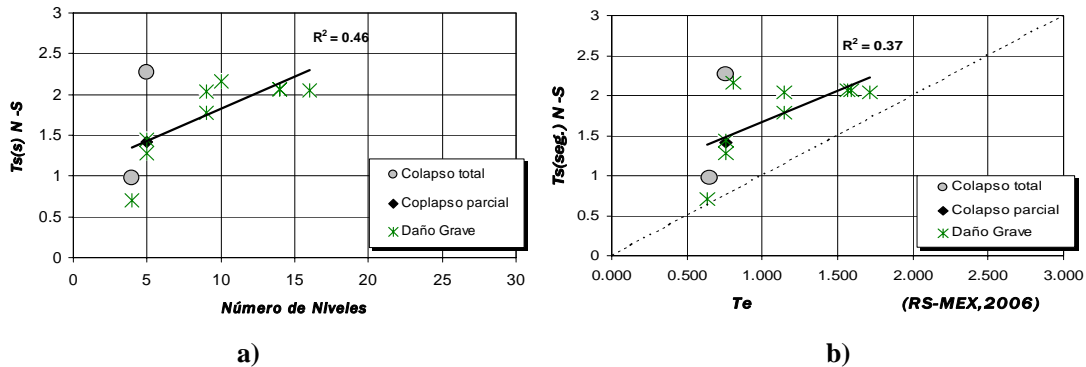


Figura 3.5 Correlación en a) entre número de niveles de las estructuras dañadas y el periodo del suelo (T_s) y en b) entre periodo estructural (T_e) obtenido con RS-MEX y el T_s . Las correlaciones son muy pobres en ambos casos ($R^2 < 0.5$).

En la fig. 3.5b se muestra la correlación del T_e con el T_s , se obtuvo el T_e de los datos de salida proporcionados por el RS-MEX como se mencionó en el capítulo 1. En la fig. 3.6 se muestran las correlaciones obtenidas de T_e con T_s estimando T_e con las expresiones de Muría y González (fig. 3.6a), Chopra y Goel (fig. 3.6b) y Mosquera y col. (fig. 3.6c). A pesar de que uno esperaría mejores resultados las correlaciones fueron muy similares a la obtenida para el número de niveles. Estas correlaciones no dejan muy en claro que la resonancia haya tenido un papel importante en las causas de daño. Se hubiera esperado que los puntos de las figs. 3.5 y 3.6 estuvieran alrededor de la línea punteada; sin embargo, se observa una tendencia relativamente paralela, es decir, un aumento en el T_e aproximadamente de 1.7 veces el T_s , debido, tal vez, a comportamiento inelástico de las estructuras.

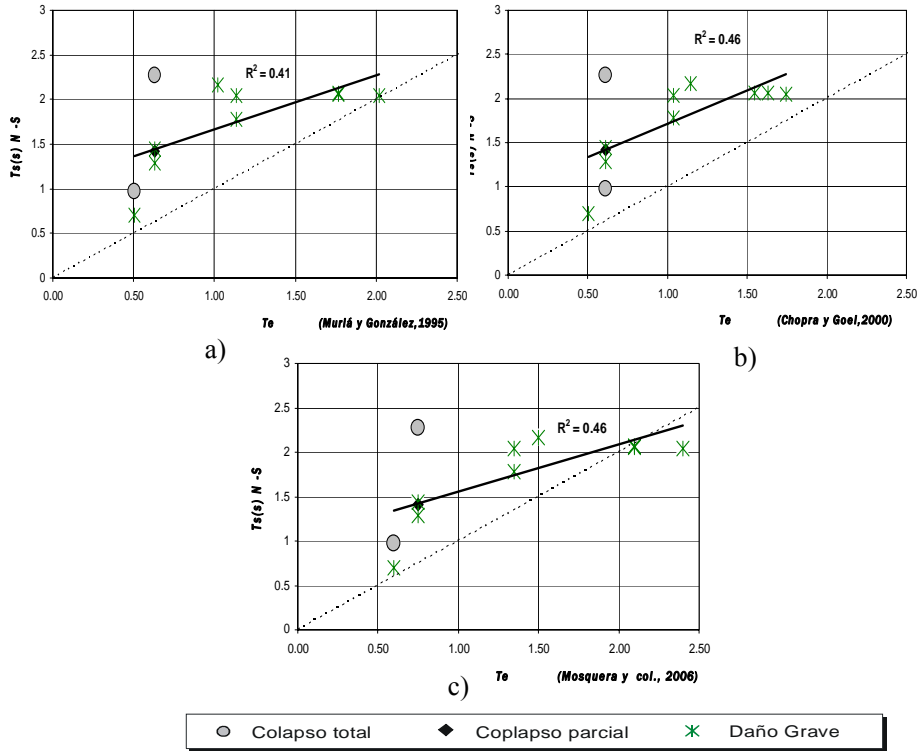


Figura 3.6 Correlación entre el periodo de las estructuras dañadas (T_e) por el sismo del 28/07/57 y el periodo del suelo (T_s), T_e obtenido con las expresiones de a) Muría y González (1995), b) Chopra y Goel (2000) y c) Mosquera y col. (2006). Los coeficientes de correlación son bajos ($R^2 < 0.5$).

3.3 COMPORTAMIENTO INELÁSTICO

Para considerar el posible comportamiento inelástico que pudieron haber tenido las estructuras se empleó la expresión de Newmark y Rosenblueth (1959) para las respuesta de sistemas no lineales que predice que la modificación del periodo elástico está en función de su factor de ductilidad:

$$\frac{T'}{T_o} = \frac{1}{3\mu} \left(1 + 2\mu^{3/2} \right) \quad (3.1)$$

Donde T' es el periodo después del comportamiento inelástico y T_o es el periodo elástico. Para μ , factor de ductilidad, propusimos valores que posiblemente tenían cada una de las estructuras tomando en consideración el tipo de sistema estructural y que no se diseñaban estructuras muy dúctiles en esa época; los valores propuestos fueron: para marcos de concreto entre 1 y 1.5, marcos de acero entre 2 y 3, mampostería confinada y tipo nave industrial 1. En la fig. 3.7 se muestra la correlación obtenida entre el periodo modificado por comportamiento inelástico (T' , eje horizontal)

y el T_s (eje vertical), donde se aprecia que la correlación no se modifica mucho. En la fig. 3.7 se indica la posición de la estructura 57-Fron de la cual se encontraron testimonios de diferentes personas afirmando que los materiales con que estaba hecha eran de mala calidad (fig. 2.4b); si este edificio no se tomará en cuenta la correlación mejora bastante ($R^2=0.71$); lo mismo sucede para las correlaciones de la fig. 3.6. Sin embargo, esta información carece de bases técnicas; por lo que sólo queda como observación sobre la calidad de las construcciones y su influencia en los análisis de factores de daño.

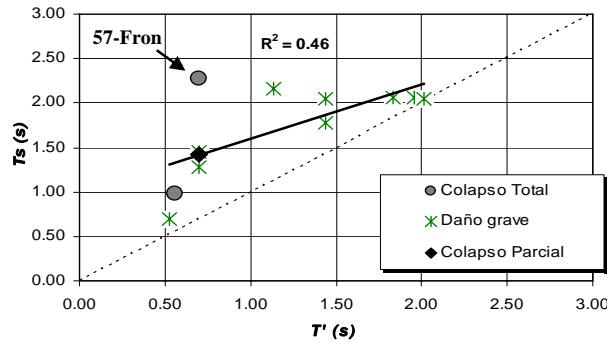


Figura 3.7 Correlación entre el periodo de las estructuras dañadas considerando comportamiento inelástico (T') y el periodo del suelo (T_s), la correlación no se modifica mucho ya que los factores de ductilidad no eran muy elevados ($R^2=0.46$).

Por último, se añadieron a la correlación del T_e y del T_s varias estructuras que no sufrieron daño estructural durante el sismo de 1957 y de las cuales se tiene información en el SIG. En la fig. 3.8 se muestra el comportamiento obtenido, la franja sombreada encierra la zona posible de resonancia tomando en cuenta que el cálculo de T_e no es muy exacto. Se esperaría que dentro de esta zona estuvieran las estructuras con daños graves y fuera de ella las estructuras que no presentaron daños. Sin embargo, varias estructuras que no presentaron daño caen dentro de la franja sombreada y varias estructuras con daño están fuera de la misma. Se observa que las estructuras con daño están dentro de las líneas que indican los cocientes de $0.4 < T_e/T_s \leq 1.0$, omitiendo el caso de la estructura de 57-Front ($T_e/T_s=0.27$) por lo ya expuesto es muy probable que no haya alcanzado un estado de resonancia antes del colapso (y que junto con las estructuras de la zona sombreada de la fig. 3.4 no se debería tomar en cuenta en este cálculo).

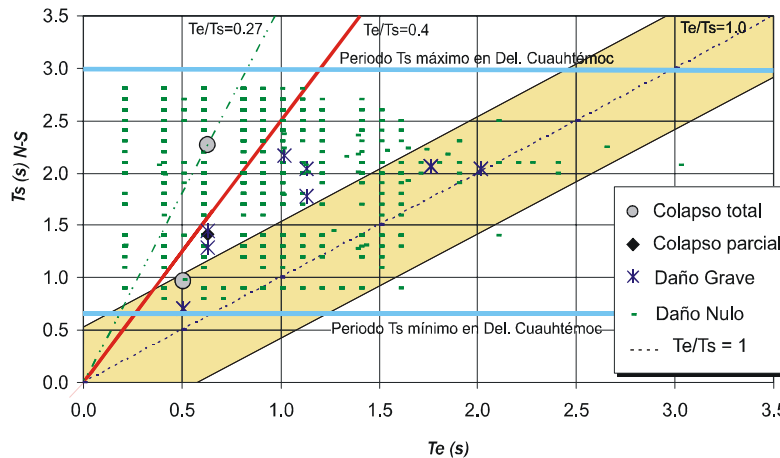


Figura 3.8 Correlación entre el periodo de las estructuras (T_e) con y sin daño por el sismo del 28/07/57 y el periodo del suelo (T_s). Se esperaría que las edificaciones sin daño estuvieran fuera de la franja sombreada, pero no fue así.

En la figura 3.9a se muestra la distribución obtenida de la relación de T_e/T_s calculada para todas las estructuras de las que se tenía información en la base de datos del SIG con fecha de construcción anterior a 1957, se observa que la mayoría de los valores están entre $0.2 < T_e/T_s < 0.5$

lo que nos indica que la mayoría de las estructuras ubicadas en la Delegación Cuauhtémoc tenían un periodo de vibración muy por debajo del periodo dominante del suelo en que estaban ubicadas. En la figura 3.9b se muestra la distribución obtenida con la misma relación de T_e/T_s pero ahora calculada sólo para el caso de estructuras que presentaron magnitudes altas de daño en 1957, se observa que la tercera parte de los valores están entre $0.4 < T_e/T_s < 0.5$, aunque otra tercera parte se concentró en $0.8 < T_e/T_s < 1$, mostrando hubo poca correlación de los daños presentados con la proximidad de los periodos de la estructura y del suelo. Nótese que sólo se tiene un caso con $T_e/T_s < 0.4$ (57-Front) y ningún caso para $T_e/T_s > 1$.

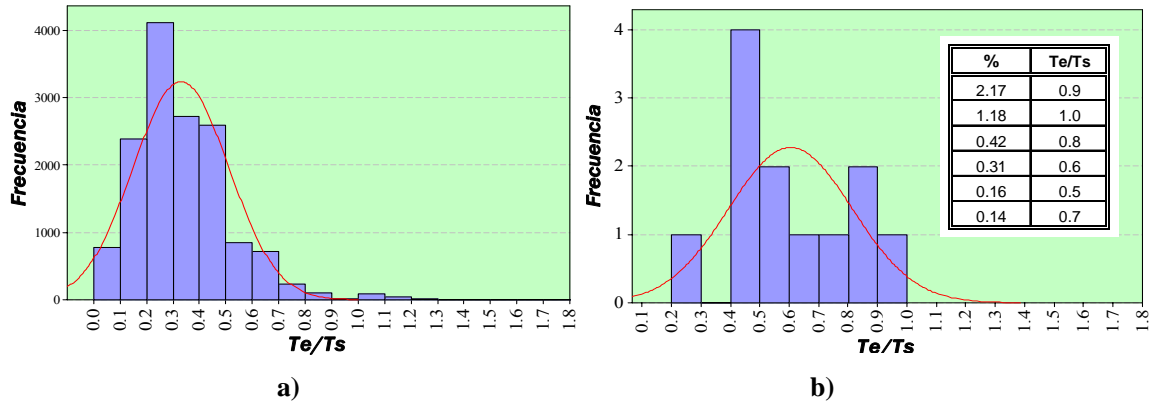


Figura 3.9 Frecuencia de la relación T_e/T_s para (a) estructuras existentes en 1957 y (b) para estructuras dañadas.

En la fig. 3.9b se muestra una tabla que indica el porcentaje que representan las estructuras dañadas con respecto a las existentes para cada caso determinado de T_e/T_s . Se aprecia que el máximo valor se alcanza para $T_e/T_s=0.9$ con un 2.17 por ciento, es decir, éste fue el porcentaje de las estructuras cuyo periodo estructural (T_e) era ligeramente menor (0.9 veces) al del suelo (T_s) y que sufrieron daño. Estos casos pudieron presentar resonancia pero el valor de 2.7 es realmente muy bajo.

CAPITULO 4

REVISIÓN DE LOS DAÑOS POR EL SISMO DE 1985 EN ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS ANTES DE 1957 EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Cuando ocurrió el sismo de 1957 la mayoría de las estructuras reportadas con daño tenían en promedio 10 años de haber sido construidas y sabemos que el sismo previo al de 1957 con mayor intensidad se había registrado 16 años antes, el 15 de Abril de 1941 (con $M=7.9$ y $R=460\text{km}$. ICA, 1992), por lo que se consideró poco probable que tuvieran daño acumulado estas estructuras y no se tomó en cuenta en este estudio. Sin embargo, en este capítulo se hace un seguimiento de las edificaciones estudiadas en los capítulos anteriores y de algunas otras construidas antes de 1957 que aunque no sufrieron daño durante este sismo sí existían todavía cuando ocurrió el sismo de 1985. La selección de las estructuras se vio sujeta a que su historial de daño comprendiera el periodo entre ambos sismos (28 años) y es la razón por la que en este capítulo si se incluye el daño acumulado en el estudio estadístico de los efectos que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras. Para la apreciación de dicho daño acumulado se hace con base en la magnitud de los daños sufridos en sismos anteriores y por el tipo de reparación y/o refuerzo a que estuvo sometida la estructura antes de 1985.

4.1 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE DAÑOS POR EL SISMO DE 1985

Se seleccionaron 56 estructuras que se muestran en la tabla C.1, esta tabla se hizo de forma similar a la tabla 2.1. Aproximadamente el 43% de este grupo de estructuras es diferente al estudiado en el capítulo 2 y al ser una diferencia considerable se decidió estudiar los mismos efectos de capítulos anteriores para observar su comportamiento, recordando que ahora si se toma en cuenta el daño acumulado. En la fig. 4.1 se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 (Anexo C) al clasificarlas por la magnitud del daño que tuvieron durante el sismo de 1985. Nótese que las estructuras con daño nulo abarcan el 36% (eje vertical izquierdo) de las estructuras estudiadas; debido dentro de varias causas a que algunas tuvieron un buen refuerzo y/o reparación, pero esto se detalla más adelante. Aproximadamente la mitad de las estructuras (54%) tuvieron daños de leves a graves y se observa que se tienen pocos casos de colapso (10%).

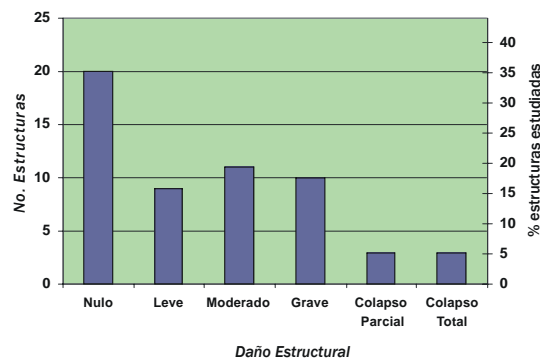


Figura 4.1 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 considerando la magnitud de daño.

En seguida se presentan las distribuciones de comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 obtenidas al clasificarlas para cada uno de los efectos estudiados en capítulos anteriores, razón por la que las gráficas obtenidas ya han sido explicadas y aquí sólo se mencionan de forma breve los resultados obtenidos y las observaciones necesarias para algunos casos.

4.1.1 Número de niveles

En la fig. 4.2 se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 clasificadas por número de niveles. En la fig. 4.2a se observa la distribución que se obtuvo al considerar también las distintas magnitudes del daño estructural presentado durante 1985, se aprecia que para las estructuras de menos de 5 niveles los daños fueron pocos y de magnitud leve; de 7 a 14 niveles es donde se presentaron la mayoría de los daños incluyendo los casos de colapso parcial y total. En esta misma figura sobresalen tres estructuras de 11 niveles con daño nulo, una de ellas había sido reparada, otra había sido reforzada y otra no tuvo daños en sismos previos a 1985, más adelante se comenta la influencia de los trabajos de reparación y refuerzo en el comportamiento de las estructuras. En la fig. 4.2b se observa la distribución obtenida al clasificar por el número de niveles y el total de los daños en las estructuras de la tabla C.1, se aprecia que los daños se presentaron en su mayoría en las edificaciones con rango de 7 a 14 niveles. Se tienen pocos casos de daños en estructuras de menos de 7 y más de 14 niveles y además casi todos los daños son de magnitud leve y moderada.

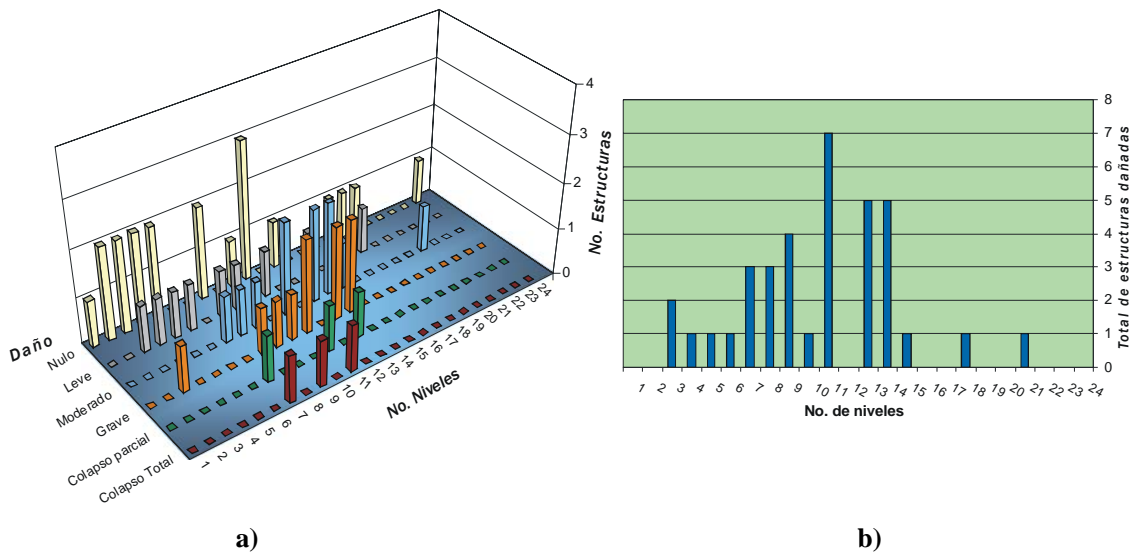


Figura 4.2 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por número de niveles y a) por magnitud del daño estructural, b) total de estructuras dañadas. Nótese que la mayoría de los daños es de 7 a 14 niveles.

4.1.2 Tipo de sistema estructural

Las estructuras dañadas por el sismo de 1985 se podrían clasificar por tipo de sistema estructural en una gran variedad de grupos como lo han hecho en muchos trabajos publicados después del sismo de 1985 a la fecha, sin embargo, aquí para dar continuidad al estudio del capítulo 2 y poder comparar los resultados se mantienen los cinco tipos de sistemas estructurales ya mencionados. En la fig. 4.3 se muestra la distribución obtenida al clasificar a las estructuras de la tabla C.1 en dichos tipos de sistema estructural y por la magnitud del daño presentado durante el sismo de 1985. Se observa que nuevamente la mayoría de las estructuras estudiadas eran de concreto (73%) y que en esta ocasión son las que presentaron los colapsos parciales y totales. Dentro del grupo de las estructuras de concreto se vuelven a observar grandes daños, un poco más de la mitad (56%) presentó magnitudes de daño moderado a colapso total. En la misma figura se observa que en las estructuras de acero sólo hay un caso de colapso parcial y el resto con daños de leves a grave, al parecer los daños fueron más serios que en sismo de 1957 donde no se presentaron colapsos pero siguió siendo mejor que las de concreto. Es importante mencionar que la estructura de acero que presentó el colapso parcial fue reparada y reforzada antes de 1985 pero no de forma adecuada. Se observa también que el grupo de las estructuras de construcción compuesta, recordando que se consideró así a las estructuras de acero recubiertas de concreto, nuevamente tuvo un buen

comportamiento ya que hay sólo un caso de daño leve y el resto con daño nulo; la mitad de estas estructuras habían sido reparadas antes de 1985. Para la mampostería confinada se observó en general un buen comportamiento, solo hay un caso de daño grave y es una estructura que no fue reforzada sólo se repusieron los muros que habían sufrido daños en 1957. En las estructuras de tipo nave industrial se observó buen comportamiento ya que los casos estudiados no tuvieron daño estructural, la mayoría había sido reforzada o en algunos casos reconstruida a raíz de que en el sismo de 1957 fue uno de los sistemas con más daños serios en cuanto a magnitud.

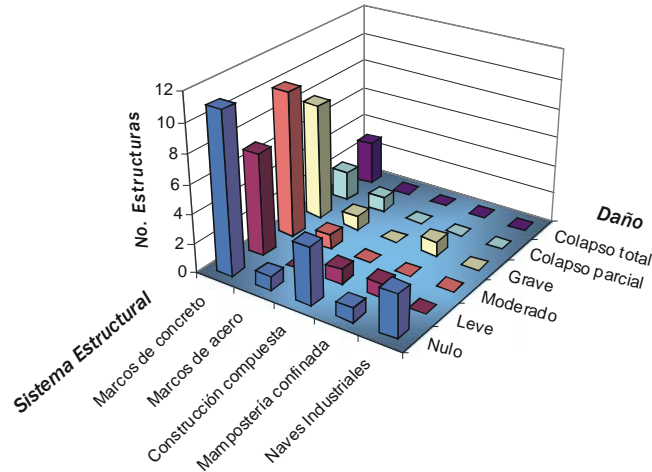


Figura 4.3 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por tipo de sistema estructural y por la magnitud de daño estructural.

4.1.2.1 Uso de la estructura y su ubicación

El uso que tendrá la estructura es un factor muy importante que interviene en el proceso de análisis y diseño de las edificaciones, dependiendo del uso estructural se escoge el tipo de cargas y los valores de varios coeficientes que se utilizan en el desarrollo de ambos procesos. Lo anterior se hace con el fin de que algunas estructuras no colapsen o bien que los daños sean leves para que puedan ser utilizadas después de ocurrido un sismo intenso, tal es el caso de los hospitales y de las escuelas entre otras. Se hizo el estudio de las edificaciones de la tabla C.1 clasificándolas por su uso estructural y por la magnitud de daño presentado en el sismo de 1985. El comportamiento obtenido se muestra en la fig. 4.4 donde se observa que la mayoría de las estructuras eran de uso oficinas (63%). El resto de las estructuras presentó usos de tipo vivienda, escuela, hospital y comercio. En las estructuras de uso oficina un poco menos de la mitad (40%) presentó magnitudes de daños graves a colapso total, fue el único uso que presentó colapsos. En las estructuras de uso vivienda solo se observa un caso de daño grave y el resto con daños moderados. Se observa sólo un caso de estructuras de uso escuela con daño leve, ésta había sido reforzada antes de 1985. En las estructuras de uso hospital se tiene sólo un caso de daño grave, pero es importante mencionar que en 1957 el uso de la estructura era de oficinas el cual cambio tiempo después (1979) cuando se hizo algunas reparaciones y refuerzos mal hechos, se le aumentó un piso y tuvo modificaciones en muros divisorios; todo esto influyó en el mal comportamiento. En las estructuras de uso comercio se observan sólo dos casos con daño leve.

Utilizando de la tabla C.1 las estructuras de uso oficina reportadas con daños se realizó un estudio de su ubicación dentro de la Delegación Cuauhtémoc, con ayuda de un SIG, para compararla después con la ubicación de las estructuras de 7 a 15 niveles reportadas con daño. En la fig. 4.5 se muestra el resultado obtenido donde se aprecia que coinciden en su mayoría las ubicaciones de ambas clasificaciones, es decir, las estructuras de oficinas dañadas eran edificios altos (7 y 15 niveles) y nótese que además estaban localizadas sobre avenidas principales (Reforma) o en calles que intersecaban a las mismas y por lo que es probable que tuvieran irregularidades en planta debido a la orientación de éstas; como ya se mencionó en el capítulo 2.

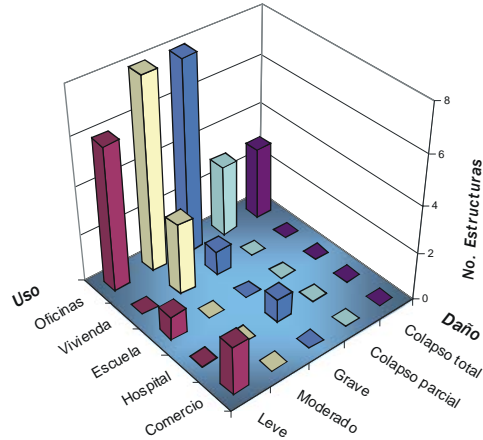


Figura 4.4 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por uso de la estructura y por la magnitud del daño estructural.

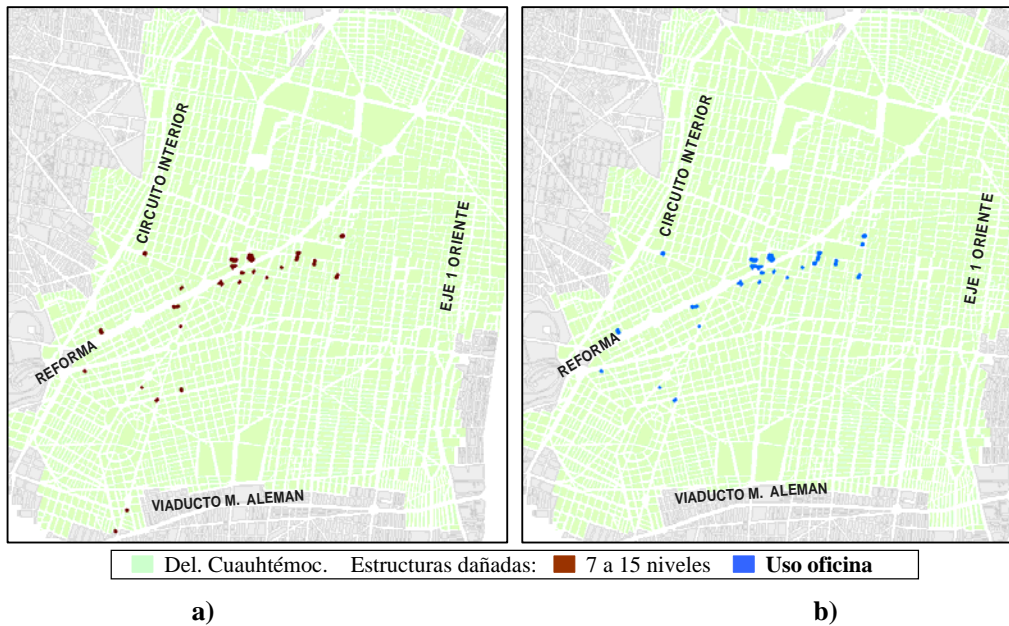


Figura 4.5 Ubicación de estructuras dañadas de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 a) de 7 a 15 niveles y b) de uso oficina. (Nótese que las estructuras de uso oficina eran edificios altos y además están ubicadas sobre avenidas principales y en calles que las intersecan)

4.1.3 Golpeteo

En general para las estructuras existentes en la Delegación Cuauhtémoc en 1985 había una gran irregularidad de altura entre sí y prácticamente en la mayoría no existía separación entre ellas; esto ocasionó que para el sismo de 1985 se presentaron mucho más casos de golpeteo en comparación al sismo de 1957. En la fig. 4.6 se muestra la distribución obtenida de las estructuras de la tabla C.1 al clasificarlas por la presencia de golpeteo y por la magnitud de daño presentado durante el sismo de 1985. Se observa que aproximadamente 1 de cada 3 (30%) de las estructuras presentó golpeteo, sobresaliendo que en los casos de colapso parcial todos presentaron golpeteo. Se observan también dos casos que no tuvieron daño estructural, solo se dañaron los muros de colindancia a causa del impacto pero los edificios vecinos fueron los que presentaron los daños más intensos.

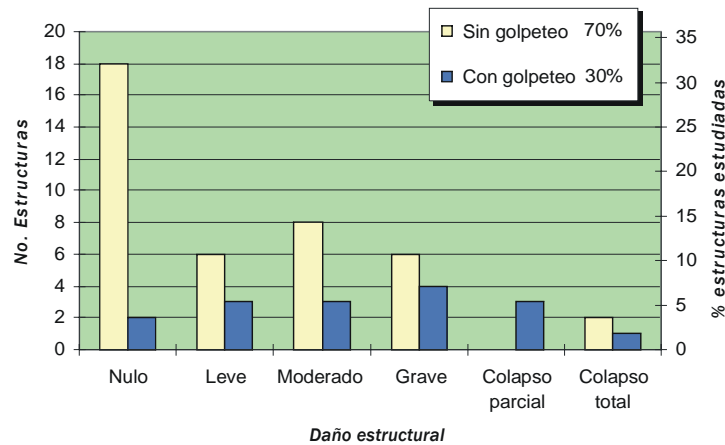


Figura 4.6 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por presencia de golpeteo y por la magnitud de daño estructural.

Si sólo consideramos las magnitudes de daño elevadas (de grave a colapso total) tenemos que la mitad de las estructuras presentaron golpeteo siendo importante mencionar que la mayoría de estas estructuras antes del sismo de 1985 no fueron reforzadas o el refuerzo fue hecho con mala calidad.

En la tabla 4.1 se muestra el comportamiento de seis casos de estructuras durante los sismos de 1957 y 1985. Se observa que en cinco de las estructuras con problemas previos de golpeteo al no hacer un buen refuerzo y no proteger la zona de impacto se tuvieron daños más graves y algunas llegaron al colapso en el sismo de 1985. La estructura 57-76 es la única que tuvo un refuerzo regular antes del sismo de 1985 y su comportamiento fue aceptable al no sufrir daños graves durante el sismo de 1985.

Tabla 4.1 Comportamiento durante el sismo del 19/09/85 de estructuras con daños previos por presencia de golpeteo.

Clave	Daño estructural 1957	Refuerzo	Daño estructural 1985
57-48	Nulo, presentó destrucción de muros por golpeteo	Deficiente, hecho en forma muy local y lejos de zona de impacto	Grave, Falla de columnas por cortante
57-85	Nulo, presentó destrucción de muros por golpeteo	Deficiente, lejos de zona de impacto y asimétrico	Colapso parcial, 5 últimos pisos
57-53	Leve, flexión en columnas, tensión diagonal en trabes, del 2° al 4° piso en el <i>lindero</i> norte	Deficiente, hecho en forma muy local y asimétrico	Colapso parcial, 4 últimos pisos
57-15	Moderado, derrumbe de cuerpo anexo (baño). Tuvo golpeteo	Nulo	Grave, deformaciones y destrucción de muros
57-86	Moderado, flexión en columnas del 2° al 6° piso. Tuvo golpeteo	Nulo	Colapso total por aplastamiento
57-76	Moderado, flexión en columnas y tensión en trabes del 3° a 8° piso de cubo de escalera. Tuvo golpeteo	Regular, hecho en forma muy local pero en la zona de impacto	Moderado, columnas dañadas por cortante

En la fig. 4.7 se muestra un caso grave de daños por golpeteo que llegó al colapso de las estructuras, en la fig. 4.7a se tiene la estructura 57-86 (Tabla 2.1 y C.1) de 7 niveles y que tuvo colapso total por aplastamiento al caerle encima los niveles superiores del edificio vecino con el que sufrió golpeteo. En la fig. 4.7b se tiene la estructura 57-85 (Tabla 2.1 y C.1) de 11 niveles y que tuvo colapso parcial de los cinco niveles superiores. El derrumbe se presentó a partir del nivel 7, exactamente donde coincide con el último nivel del edificio vecino (57-86)



Figura 4.7 Ejemplo de daños por golpeteo durante el sismo del 19/09/85, a) estructura 57-86 sufrió colapso total al ser aplastada por los niveles superiores del edificio vecino, b) estructura 57-85 sufrió colapso parcial de los 5 niveles superiores, zona donde coincidía con el último piso del edificio vecino.

4.1.4 Ubicación en esquina e Irregularidad en planta

En la fig. 4.8 se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 al clasificarlas por su ubicación en esquina. Se observa que aproximadamente 1 de cada 3 (36%) de las estructuras que presentaron daños tenían ubicación en esquina, este valor es tan sólo un poco menor al presentado en 1957 a pesar de ser diferente el grupo de estudio. Se aprecia en la misma figura que las estructuras con ubicación en esquina tienden a presentar daños graves, sobresaliendo que en los casos de colapso 2 de cada 3 de las estructuras estaban en esquina.

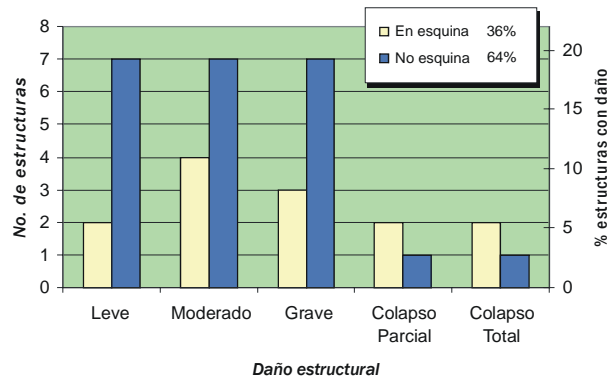


Figura 4.8 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por su ubicación en esquina y por la magnitud del daño estructural. Aproximadamente 1 de cada 3 de las estructuras dañadas estaba en esquina.

En la fig. 4.9 se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 clasificadas ahora por su irregularidad en planta. Se observa que el 67% de las estructuras que presentaron daños tenían irregularidad en planta, este valor aumentó con respecto al de 1957. Se aprecia en la misma figura que la mayoría de las estructuras con irregularidad en planta presentaron daños entre leve y grave, siendo la magnitud de daño moderado la que presentó más casos.

Como se mencionó en los apartados 2.2.5 y 4.1.2.1 de este trabajo sabemos que varias estructuras de la tabla C.1 estaban ubicadas en esquina y que además tenían mucha irregularidad en planta por estar en calles con orientación en diagonal. En la fig. 4.10 se muestra el comportamiento que presentaron las estructuras al clasificarlas por su ubicación en esquina y por su irregularidad en

planta. Se observa que casi 4 de cada 5 (77%) de las estructuras dañadas cumplen con la característica mencionada y además la mayoría de las estructuras tenían magnitudes de daño moderado o grave a diferencia del estudio realizado para 1957 que se concentraban en daño grave pero el porcentaje fue menor (53%).

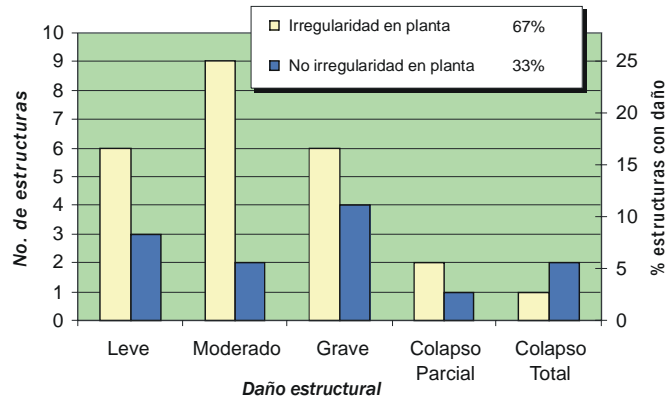


Figura 4.9 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por irregularidad en planta y por la magnitud de daño estructural. Más de la mitad de las estructuras dañadas tenía irregularidad en planta.

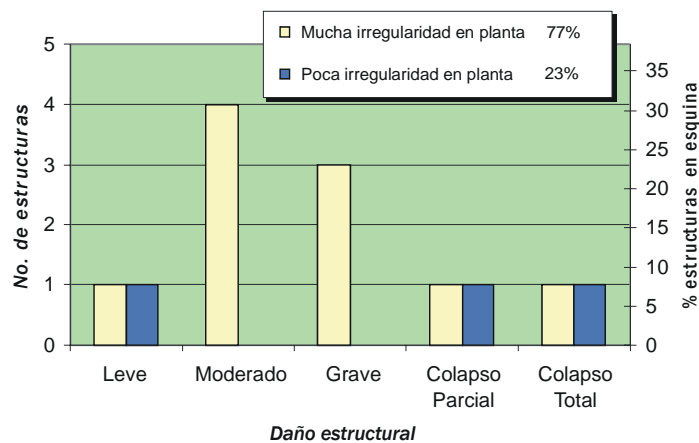


Figura 4.10 Comportamiento de las estructuras en esquina de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por su irregularidad en planta. El 77% cumplía con estas características y la mayoría presentaron daños moderados o graves.

4.1.5 Asentamientos diferenciales y tipo de cimentación

Para el estudio del sismo de 1957 los asentamientos diferenciales previos no se consideraron ya que ningún reporte los mencionaba y además porque es probable que si alguna estructura hubiera tenido alguno de magnitud considerable si lo hubieran reportado. En este capítulo si se considera los asentamientos previos que se presentaron después del sismo de 1957 hasta antes de 1985 y si fueron corregidos o no. En la fig. 4.11 se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 clasificándolas por la presencia de asentamientos diferenciales dividiéndolos en tres grupos: las estructuras que sufrieron asentamiento en el sismo de 1957 o después y fue corregido antes de 1985 volviéndose a presentar durante el sismo del 19/09/85, las estructuras que sufrieron asentamiento en el sismo de 1957 o después y no fueron corregidos antes de 1985 y se volvieron a presentar durante el sismo del 19/09/85 y las estructuras que sólo presentaron asentamientos durante el sismo en 1985 (sin asentamiento previo). Se observa en la fig. 4.11 que las estructuras con asentamiento previo no corregido lo volvieron a presentar y con daños estructurales muy intensos llegando incluso a dos casos de colapso total. Se aprecia que las estructuras con asentamiento previo si

corregido presentaron mejor comportamiento, sólo se observa un caso de daño moderado. Para las estructuras que presentaron asentamiento sólo en el sismo de 1985 se observa un comportamiento regular, la mayoría presentó daños moderados aunque se tiene un caso de colapso parcial, este caso fue de los que presentaron golpeteo (57-85).

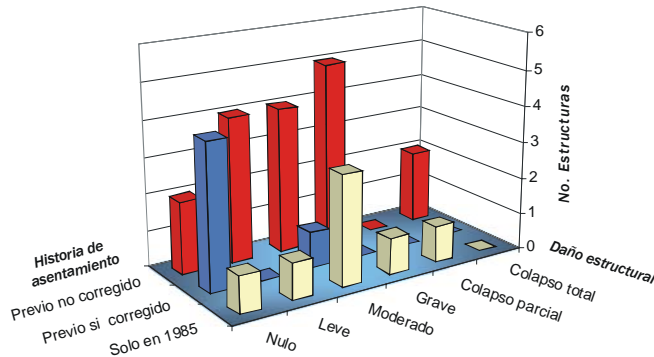


Figura 4.11 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por el historial de asentamiento diferencial y por la magnitud del daño estructural. Nótese que las estructuras en que no se corrigió el asentamiento previo se presentaron daños más graves.

Después de observar el comportamiento de los asentamientos diferenciales se hace ahora el estudio del tipo de cimentación que tenían las estructuras que presentaron dichos asentamientos considerando también la magnitud del daño estructural. La fig. 4.12 muestra el comportamiento obtenido al clasificar las estructuras de la tabla C.1 con este criterio; se observa en la fig. 4.12a que el sistema de pilotes de madera nuevamente presentó la mayoría de los casos con asentamientos diferenciales mientras que en los demás sistemas se presentaron pocos casos.

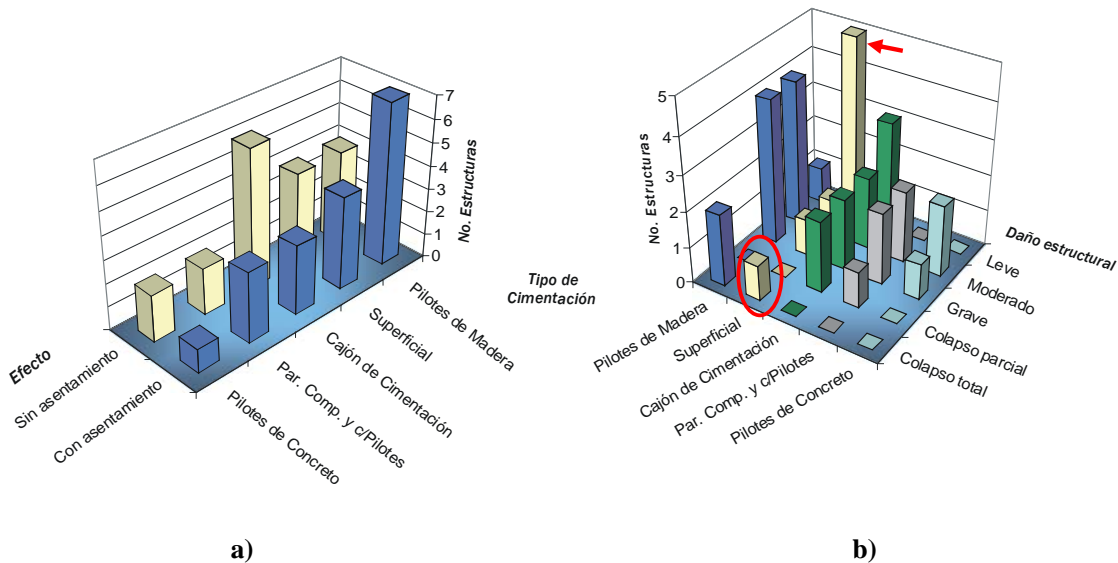


Figura 4.12 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas a) por asentamiento diferencial y por sistema de cimentación, b) por sistema de cimentación y por la magnitud de daño estructural.

En la fig. 4.12b se aprecia que la cimentación superficial presentó en su mayoría casos de daños leves y sólo uno de colapso total, este colapso marcado en la figura con una elipse (tabla C.1 57-86, fig. 4.7a) fue causado por aplastamiento, por lo que en general se observa un mejor comportamiento en la cimentación superficial comparado al de 1957 coincidiendo con los estudios realizados en Auvinet y Mendoza (1986) sobre el comportamiento de diferentes tipos de cimentación durante el sismo de 1985. Cabe mencionar que varias de las estructuras con

cimentación superficial fueron reconstruidas antes de 1985 y en algunos casos se disminuyó la masa en la cubierta y se repararon los daños existentes. También se observa en la fig. 4.12b que todos los sistemas de cimentación presentaron daños, sobresaliendo los pilotes de madera que tuvieron en su mayoría casos de daño grave; los demás sistemas como el cajón de cimentación, la cimentación parcialmente compensada y los pilotes de concreto presentaron casos de daños moderados hasta colapso parcial, coincidiendo también con algunos resultados de publicaciones realizadas después del sismo de 1985 (Santoyo, 1986 y Taméz, 1986).

En la fig. 4.13a se muestra el comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 al clasificarlas por la presencia de asentamiento diferencial y la magnitud del daño estructural, se observa que la mitad de las estructuras dañadas presentaron asentamientos, este valor aumentó en comparación al obtenido para 1957 (40%) aunque la tendencia de sufrir en la mayoría de los casos daños con magnitud leve a grave se volvió a presentar. En la fig. 4.13b se aprecia que 2 de cada 3 (64%) de las estructuras que tenían pilotes de madera presentaron asentamientos. Para los demás sistemas se procedió de la misma manera y los valores de estructuras dañadas que sufrieron asentamiento fueron para la cimentación superficial 50%, para cajón de cimentación 33%, para compensación parcial 60% y para pilotes de concreto 33%; como se observa son parecidos a los obtenidos para el sismo de 1957.

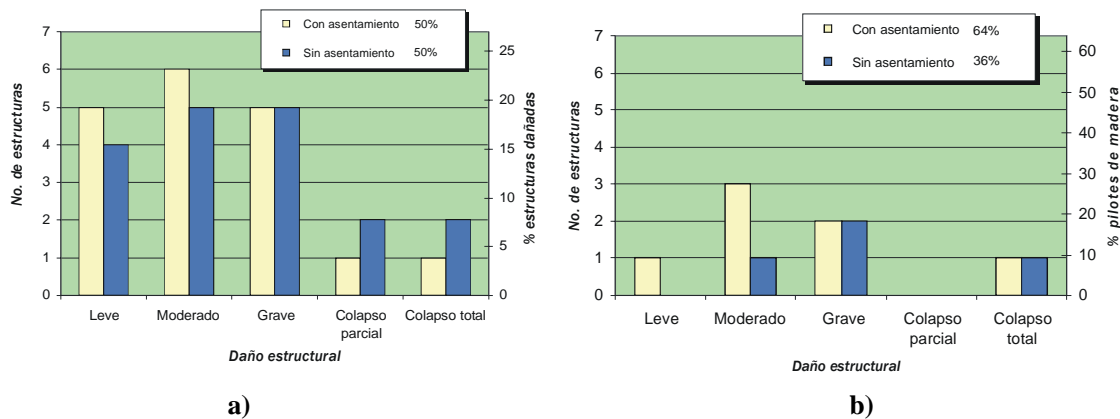


Figura 4.13 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por a) presencia de asentamiento y magnitud de daño, b) estructuras dañadas con pilotes de madera clasificadas con el mismo criterio. La mitad de las estructuras dañadas tuvieron asentamientos.

Es importante mencionar casos de estructuras donde los asentamientos diferenciales fueron tan grandes que su estabilidad estaba en peligro y se optaba por demoler. En la fig. 4.14 se muestra la estructura 57-59 que sufrió daño estructural moderado en el sismo de 1985 pero fue demolida por los grandes asentamientos diferenciales que además ya se habían presentado en sismos previos pero no fueron corregidos antes del 1985.

4.2 REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS

Como se ha venido comentando en párrafos anteriores se observó que los trabajos de reparación y refuerzo realizados en las estructuras tomaron un papel importante en el desempeño estructural durante el sismo de 1985. Para considerar este efecto se estudiaron las estructuras de la tabla C.1 clasificándolas por el tipo de trabajo de reparación o de refuerzo al que estuvieron sujetas antes de que ocurriera el sismo de 1985. Para esto se consideraron cuatro tipos de trabajos que se describen a continuación:

- Mala reparación y/o refuerzo.- Las reparaciones en los elementos estructurales fueron hechas con mala calidad de materiales y mano de obra, los refuerzos se realizaron en forma muy local, en forma asimétrica y en ocasiones con elementos de sección insuficiente.

- Sin reparación ni refuerzo.- No se realizó ningún trabajo estructural. Sólo reposición de elementos no estructurales y resane de grietas con yeso o lechadas.
- Reparada.- Los elementos estructurales dañados fueron repuestos con las mismas propiedades que tenían. En caso de haber presentado asentamientos diferenciales fueron corregidos.
- Reforzada.- Algunos de los elementos estructurales dañados fueron repuestos con las mismas propiedades pero se les añadió algún otro elemento para aumentar su resistencia. Otros de los elementos fueron repuestos aumentando sus dimensiones y con esto su resistencia. En los casos que se añadieron elementos nuevos para dar mayor resistencia éstos fueron provistos en una forma simétrica y buscando reubicar de forma conveniente los centros de masa de la estructura.

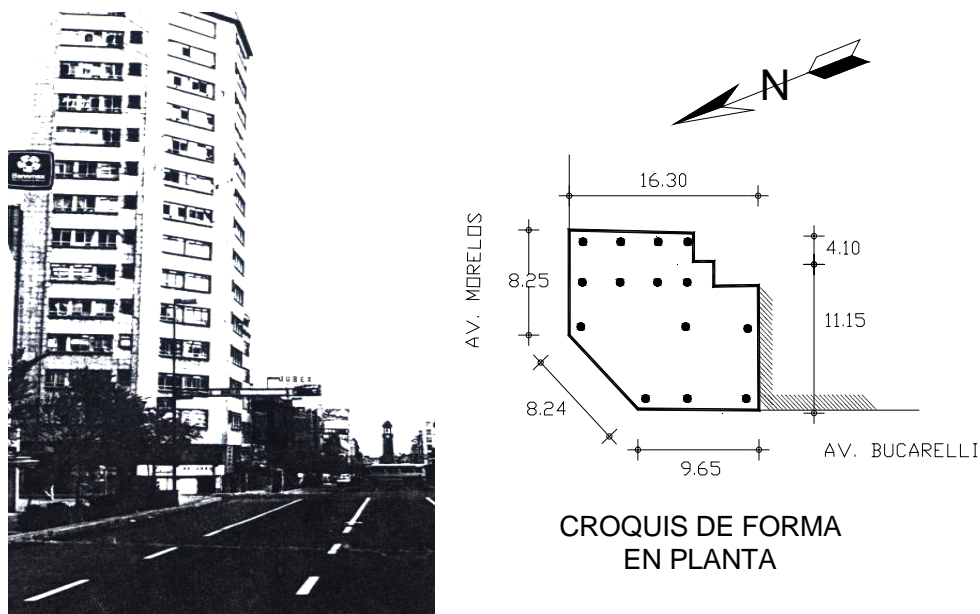


Figura 4.14 Estructura 57-59 (tabla C.1) presentó asentamientos diferenciales tan graves durante el sismo del 19/09/85 que a pesar de sólo haber tenido daños estructurales moderados se optó por demolerla.

Clasificando las estructuras por el tipo de trabajo de reparación y refuerzo que tuvieron y por la magnitud del daño presentado durante el sismo de 1985 sin considerar el daño previo se obtuvo la fig. 4.15 donde se observa que las estructuras que fueron reforzadas mostraron en general un mejor comportamiento que los otros tres tipos de trabajos realizados. En las estructuras reparadas y en las que no se hizo ningún tipo de trabajo se observan algunos casos de colapsos y de daños graves, pero también hay casos de daños leves y estructuras sin daños, por lo que no se observa un comportamiento regular. En las estructuras mal reparadas y/o reforzadas se observan casos de colapso y en su mayoría casos con daños graves, por lo que el comportamiento no se puede considerar como bueno pero tampoco del todo mal. Para aclarar el comportamiento anterior es conveniente clasificar a las estructuras por los daños previos que sufrieron. La magnitud de estos daños previos es un factor importante a considerar en la influencia que tiene la reparación y refuerzo de las edificaciones en el comportamiento sísmico; en nuestro caso se estudió el daño previo producido por el sismo de 1957 y en algunas casos por el sismo de 1979, se dividieron en cuatro grupos de daño previo de forma similar a como se ha venido haciendo: nulo, leve, moderado y grave.

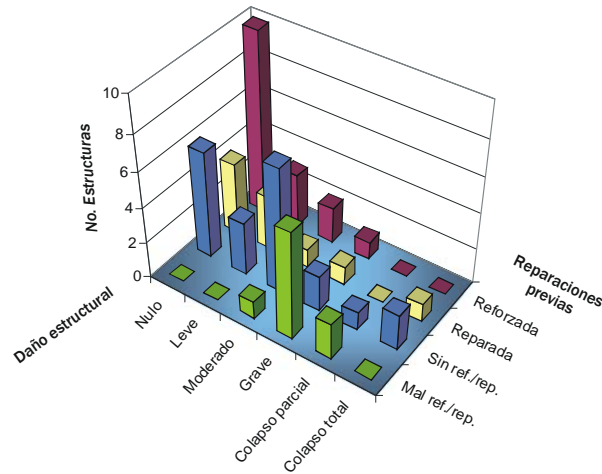


Figura 4.15 Comportamiento de las estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 al clasificarlas por magnitud de daño estructural y el tipo de trabajo de reparación y/o refuerzo realizado antes del sismo. Se observa mejor comportamiento de las estructuras que fueron reforzadas.

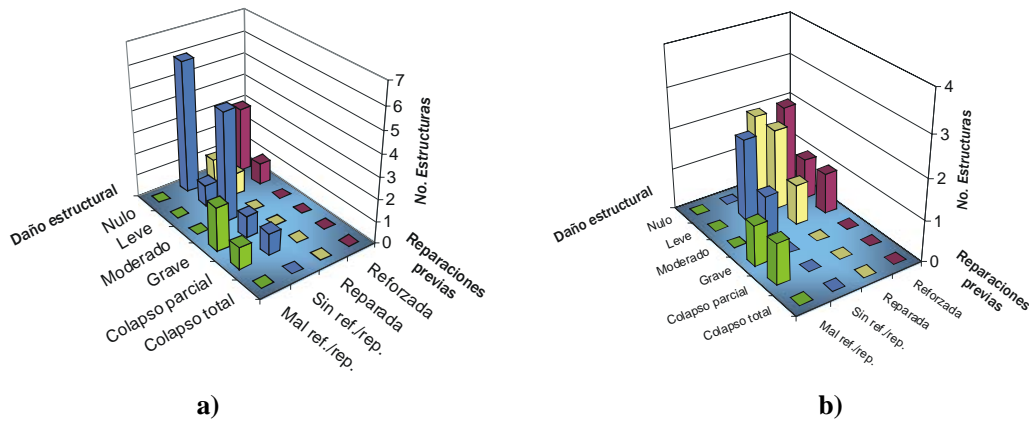


Figura 4. 16 Comportamiento de estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por magnitud de daño y por tipo de reparación y/o refuerzo realizado antes de 1985; a) estructuras sin daño previo a 1985 y b) estructuras con daño previo leve. Se observan la mayoría de los colapsos en estructuras que fueron mal reparadas o reforzadas.

En la fig. 4.16a se muestra el comportamiento obtenido de las estructuras con daño previo nulo clasificadas por el tipo de trabajo de reparación y refuerzo y por la magnitud de daño presentado durante el sismo de 1985. Se observa que los pocos casos de colapso se presentaron en estructuras que fueron mal reparadas y/o reforzadas y también en las que no fueron reparadas ni reforzadas. Aquellas que si fueron bien reforzadas no presentaron daños, sólo se aprecia una con daño leve. En la fig. 4.16b se muestra el comportamiento de las estructuras con daño previo leve clasificadas de igual forma, se observa que los colapsos y daños graves ocurrieron en estructuras que fueron mal reparadas y/o reforzadas, los daños moderados y leves se presentaron en los otros tres tipos de trabajos de reparación de forma proporcional y los daños nulos sólo se presentaron en las estructuras reparadas y en las reforzadas. En la fig. 4.17a se muestra el comportamiento de las estructuras con daño previo moderado, se observa que los colapsos y daños graves se presentaron en estructuras sin reparación ni refuerzo aunque también en las que sólo fueron reparadas. Las estructuras reforzadas presentaron daños leves y moderados, recordando que estas estructuras tuvieron daño previo moderado se puede considerar que el daño no aumentó. En la fig. 4.17b se muestra el comportamiento de las estructuras con daño previo grave, se observa que la mayoría de las estructuras fueron reforzadas y no presentaron daños en 1985, se aprecia un colapso de una

estructura que no se reforzó ni reparó; los daños graves se presentaron en estructuras que fueron mal reparadas y/o reforzadas aunque nótese que una de las estructuras reforzadas si tuvo daño grave; nuevamente se podría decir que su desempeño no empeoró ya que el daño previo era grave, siendo probable que si no se hubiera reforzado pudo haber sufrido el colapso.

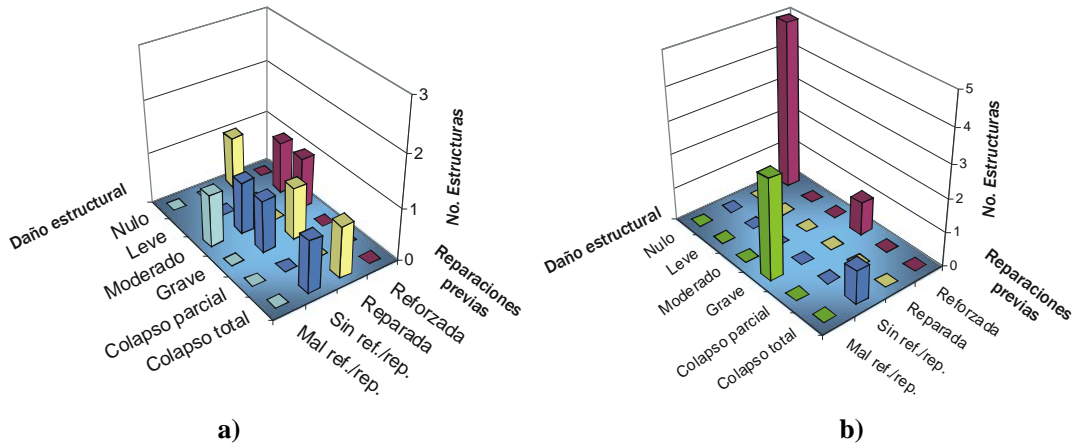


Figura 4.17 Comportamiento de estructuras de la tabla C.1 durante el sismo del 19/09/85 clasificadas por magnitud de daño y por tipo de reparación y/o refuerzo realizado antes de 1985; a) estructuras con daño previo moderado y b) estructuras con daño previo grave. Los colapsos se presentaron en estructuras reparadas y en las que no fueron reparadas y/o reforzadas.

Se puede observar en las figuras anteriores que las estructuras mal reparadas o reforzadas tienden a empeorar el comportamiento de la estructura cuando esta no había presentado daños serios y cuando tenían daños previos graves si ayudaban en algo a la estructura pero no lo suficiente como para presentar daños menores en el último sismo. Esto se debe a que en el caso de los refuerzos mal realizados pueden provocar la falla en los lugares donde se presentan mayores esfuerzos por haber reforzado sólo una parte de la estructura. En la fig. 4.18 se muestra un croquis de una estructura bien reforzada al poner los elementos en forma simétrica y en la fig. 4.19 un croquis de una mal reforzada al hacerlo sólo en una zona.

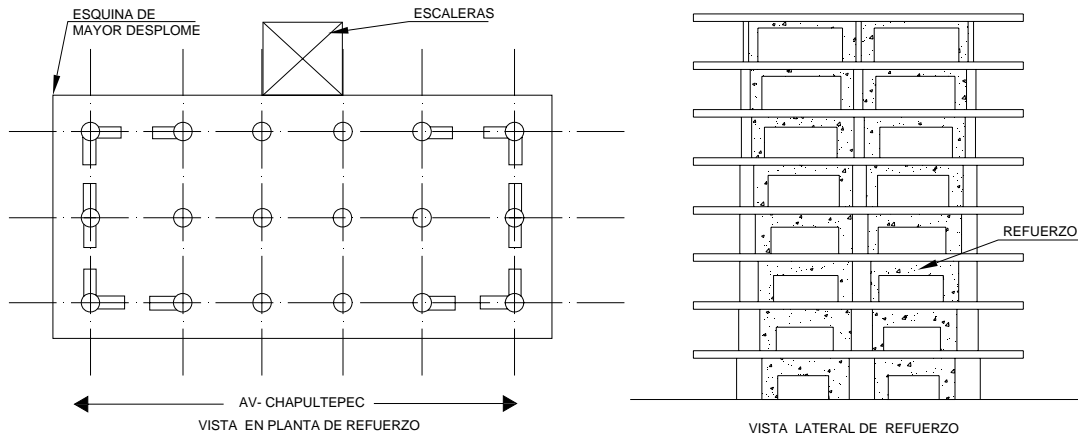


Figura 4.18 Croquis de refuerzo en estructura 57-12 antes del sismo de 1985 clasificado como bueno, fue hecho de forma simétrica; presentó daño leve después del sismo.

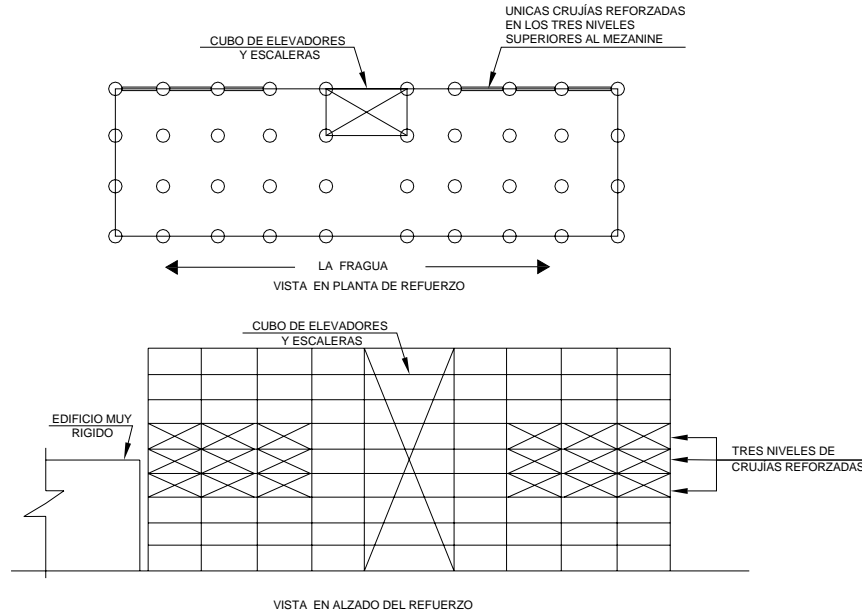


Figura 4.19 Croquis de refuerzo en estructura 57-53 antes del sismo de 1985 clasificado como mal realizado, solo se reforzaron los pisos intermedios y en forma asimétrica; presentó colapso parcial de últimos 4 pisos.

Así como las estructuras de la fig. 4.18 y fig. 4.19 también se comparó varias estructuras procurando que tuvieran características similares entre si y que los trabajos de reparación y/o refuerzo hayan sido diferentes para observar la influencia en el comportamiento durante el sismo de 1985. En la Tabla 4.2 se muestran tres pares de estructuras, todas son de marcos de concreto pero con 3, 11 y 14 niveles. En cada par de las estructuras comparadas una de ellas había sido bien reforzada o reparada y coincidió que éstas presentaron magnitudes de daño bajas o bien una magnitud igual a la del daño previo. Las estructuras con reparaciones o refuerzos mal elaborados o bien sin ningún trabajo de este tipo presentaron en los tres casos un daño más grave a comparación del daño previo que había sufrido.

Tabla 4.2 Comparación del comportamiento durante el sismo de 1985 de estructuras con diferentes tipos de trabajos de reparación y/o refuerzo.

Clave	Daño 1957 (Daños por golpeo)	Reparaciones y refuerzo	Clasificación de trabajo	Daño 1985	
57-96	● Ninguno. 100% cristales rotos, caída de aplacados exterior, falla muros 100% totalmente	Aumento de secciones de columnas y traveses con concreto reforzado (sin estribos) y algunas traveses se reforzaron con estribos exteriores utilizando soleras y barras lisas	Refuerzo deficiente por falta de estribos, no se preparó el concreto viejo	★ Flexo compresión en columnas, cortante y flexión diagonal en traveses y grietas de cortante en losas	} 3 niveles marcos de concreto.
57-44	● Falla moderada en traveses del 2° piso por tensión diagonal	Aumento de secciones de traveses y columnas de marcos en sentido E-O. En sentido N-S unión de muros a la estructura y contraventeos de concreto en muro	Buen refuerzo , de manera simétrica evitando mal comportamiento de la estructura	● Ningún daño estructural, pequeños agrietamientos diagonales en muros, solo en el 2° piso	
57-65	▲ Falla total de pilotes de control, el asentamiento diferencial fue de 1m	Modificación de estructura cabezal de pilotes de control y se intentó nivelar el edificio	Ninguno en cuanto a la estructura, pero la modificación de controles de pilotes tal vez fue mala ya que falló	★ Falla en columnas por torsión, cortante, flexión e impacto. Tensión diagonal en traveses. Falla controles de pilotes provocó asentamiento (se demolió)	} 11 niveles marcos de concreto.
57-57	● Tensión, tensión diagonal y esfuerzo cortante en las traveses del 2° al 4° piso	Inyección de resina epóxica en agrietamientos. Reposición de muros dobles por muros sencillos resistentes al corte y ligados a la estructura	Buena reparación , ya que al ligar los muros se dio más rigidez y se redujo la masa	● Ningún daño estructural	
57-85	● Destrucción muros 30% parcial y 20% totalmente	Rigidización con contraventeos en cruz solo en zonas donde los muros fallaron, muy localizado	Refuerzo deficiente , lejos de la zona de impacto y asimétrico	◆ Derrumbe 5 últimos pisos	} 11 y 14 niveles marcos de acero.
57-74	★ Flexión en columnas del 1° al 3° piso	Aumento de sección con columnas de acero en celosía y concreto reforzado. En primeros 9 pisos refuerzo de traveses con concreto reforzado y en los demás pisos solo los nudos	Buen refuerzo , de manera simétrica evitando mal comportamiento de la estructura	★ Derrumbe del último nivel, debido a que el piso que se añadió era de rigidez diferente (no se tomó como apéndice). El resto del edificio no presentó daños	

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se estudiaron varias de las estructuras reportadas con daño durante el sismo del 28 de julio de 1957 en la ciudad de México para conocer que efectos son los que más influyeron en la presencia de daños y se hizo un estudio similar para el sismo del 19 de septiembre de 1985 observando además cómo intervienen los trabajos de reparación y refuerzo en el comportamiento sísmico.

Muchas estructuras construidas antes de 1957 no tuvieron un diseño sísmico y algunas que si lo tuvieron eran deficientes por la falta de los conocimientos que ahora se tienen y que se han adquirido gracias a las experiencias e investigaciones recientes, sin embargo, es posible aprender de las estructuras que colapsaron y aun más de las que no colapsaron durante ambos sismos.

Número de niveles

El número de niveles de la estructura mostró ser un factor que influye en la presencia de los daños, ya que para el sismo de 1957 en las estructuras de 1 a 5 niveles se presentaron todos los colapsos reportados y la razón es que en el reglamento de construcción de esa época no se exigía un diseño sísmico de las edificaciones de baja altura (16m).

Las estructuras con 7 a 16 niveles presentaron la mayoría de los daños en ambos sismos, y fue do en este rango donde se tuvieron todos los colapsos estudiados del sismo de 1985.

Sistema estructural

Se observó que el sistema estructural es un factor que si influyó en la presencia y magnitud de daño (la calidad en el diseño y construcción que se tenía antes de 1957 para cada tipo de sistema estructural variaba mucho). En 1957 las **estructuras de concreto** fueron las **más dañadas** seguidas por las **naves industriales**. Las **estructuras de acero** mostraron **buen comportamiento** y los casos reportados con daño fueron mínimos. Las estructuras de **acero recubiertas con concreto**, mostraron **buen comportamiento** a pesar de que no se hacía el diseño y construcción considerando la resistencia de los dos materiales. Las **estructuras de mampostería** también presentaron un comportamiento aceptable ya que muy pocas fueron reportadas con daños.

En 1985 nuevamente las **estructuras de concreto** fueron las que presentaron la **mayoría** de los **daños** incluyendo todos los casos de colapso estudiados. En las **estructuras de acero** estudiadas se reportaron más casos de estructuras dañadas a comparación de 1957 pero sólo una fue con colapso parcial, por lo que el comportamiento fue **aceptable**. Las estructuras de **construcción compuesta** repitieron su **buen comportamiento** al tener sólo una reportada con daño leve, por lo que el concreto ayudo a aumentar en algo la resistencia de las estructuras. Las **estructuras de mampostería** tuvieron **buen comportamiento** ya que fueron muy pocos los daños graves reportados.

Es importante mencionar que para 1985 el comportamiento se vio influenciado por los trabajos de reparación y refuerzo que se comenta más adelante.

Golpeteo

Para 1957 el golpeteo entre edificios adyacentes no fue factor importante en la presencia de daños ya que la probabilidad de que se presentara era baja por las características de las estructuras de esa época. En 1985 al incrementarse el número de estructuras y la irregularidad entre ellas se observó

que el **golpeteo si es un efecto importante** que influye en la presencia de daño (40% de las estructuras estudiadas presentó golpeteo) pudiendo causar daños muy graves en las estructuras llegando al colapso parcial o total de algunas de ellas y más aún cuando se presenta en edificaciones que fueron mal reforzadas.

Ubicación en esquina e irregularidad en planta

Se observó que la **ubicación en esquina tiene gran influencia en la presencia de daño** ya que en 1957 **dos de cada cinco** (42%) de las estructuras con daño estudiadas cumplían con esto. La **irregularidad en planta** mostró ser también factor influyente en la presencia de daño, en 1957 **la mitad** de las estructuras con daño estudiadas presentaron irregularidad en planta, aunque en este caso las magnitudes de daños no eran tan altas.

Si se presentan las **dos características** anteriores en una estructura se convierten en un factor trascendental en la presencia de daños, para 1957 más de la mitad de las estructuras en esquina y con una gran irregularidad en planta presentaron en su mayoría **daños graves**. Para 1985 en las estructuras estudiadas se vuelve a presentar un gran porcentaje (**77%**) de **estructuras en esquina y con irregularidad en planta** que tuvieron daños moderados y graves.

Tipo de cimentación y asentamientos diferenciales

Se observó que el tipo de cimentación también influyó en la presencia de daños. Si bien es cierto que todos los sistemas de cimentación presentaron daños en las estructuras sobresalen los **pilotes de madera** que reportaron en su mayoría casos de daños estructurales graves tanto para 1957 como para 1985. Los sistemas que también presentaron daños serios fueron el cajón de cimentación y la cimentación parcialmente compensada. El tipo de **cimentación superficial** tuvo en general **buen comportamiento** considerando que los casos de daño estructural fueron por otros factores.

Se observó que la presencia de **asentamientos diferenciales** en las estructuras antes o después de ocurridos los sismos estaba **ligada** con la magnitud del **daño estructural** sufrido. Para 1957 los asentamientos diferenciales se presentaron también en todos los tipos de cimentación pero nuevamente las estructuras con pilotes de madera fueron mayoría. En 1985 el comportamiento fue muy similar, observándose que el asentamiento diferencial en algunos casos puede causar que la edificación sea demolida a pesar de no haber tenido daños serios pero sí graves problemas de estabilidad.

Intensidad sísmica

Se observó que para 1957 en las zonas de daños **los valores de aceleración fueron entre 80 y 240 gals**; No se encontró **relación** entre el **daño** y cuando coincide el periodo estructural (T_e) con la zona de **ordenadas máximas** del espectro de respuesta; tampoco se encontró relación entre la magnitud de daño y los valores de **aceleración** ni con los valores de las **distorsiones de entrepiso**.

Se observó que hay incertidumbre al evaluar el T_e utilizando expresiones de la literatura aunque se consideran varios parámetros, al evaluar el periodo del suelo (T_s), al evaluar el estado real de la estructura cuando ocurre un sismo y al considerar el posible comportamiento inelástico de las estructuras y, sin embargo, se esperaría poder observar alguna relación del efecto de resonancia con los daños estructurales ocasionados por el sismo; pero **los resultados no mostraron a la resonancia como factor predominante de causa del daño estructural**. Lo que se pudo observar es que las estructuras con daño estudiadas para 1957 estaban en una zona donde el cociente de los periodos estaba en el rango de $0.4 < T_e/T_s \leq 1.0$. Además, se compararon varias estructuras con daño nulo y algunas de ellas estaban en zona de resonancia.

Reparación y refuerzo de estructuras

Se observó que el **daño acumulado es un factor que si influyó** en la presencia del daño estructural. Las estructuras que fueron **bien reforzadas** tuvieron en general **buen comportamiento** en el sismo de 1985 ya que no presentaron daños o bien el daño no fue mayor al que tuvieron en sismos anteriores.

Para 1985 se observó en las estructuras que fueron **mal reforzadas**, sólo reparadas o no se les hizo ningún trabajo para disminuir el daño acumulado, un **mal comportamiento** en algunas pero en otras **regular**; dependiendo este comportamiento del daño previo al que habían estado sometidas.

Entre menor era el daño previo, mejor fue el comportamiento durante el sismo de 1985 aun sin haber sido reparada la estructura, sólo en los casos de malas reparaciones el comportamiento fue malo. Cuando el daño previo era grave al ser reforzadas se tenía un comportamiento aceptable y si no eran reforzadas los daños se incrementaban.

Se observó que los asentamientos que no son corregidos se incrementan al ocurrir un nuevo sismo y con esto se aumenta la probabilidad de que las estructuras presenten magnitudes altas de daño o que puedan colapsar

Se observó que se deben considerar las nuevas fuerzas que se transmiten a la cimentación (momentos de volteo) al ser reforzadas para evitar asentamientos.

Sistemas de información geográfica

Es posible manipular grandes cantidades de datos con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica cómo la ubicación exacta de estructuras, sus propiedades y características, fotografías que ayuden a su identificación, periodo dominante del suelo y parámetros de intensidad sísmica para un determinado evento, entre otros, con la ventaja de poder disponer de esta información en forma visual por medio de mapas y utilizando varias capas de información según se requiera.

Se pueden realizar mapas de intensidad sísmica para relacionar la aceleración y daño estructural y así poder llegar a la realización de planes de contingencia.

Recomendaciones

Por todo lo anterior es recomendable que cuando se realice el proyecto de nuevas estructuras y el planteamiento de refuerzo de estructuras ya existentes se contemple un estudio completo del entorno donde se ubicará la estructura o donde ya está localizada y tratar de tomar en la medida de lo posible todos los efectos mencionados en los procesos de diseño arquitectónico, estructural y de cimentación procurando tener un buen control en la construcción de toda la obra.

Con el transcurso del tiempo se han adquirido nuevas experiencias y conocimientos pero queda la incertidumbre de cuantos profesionistas realmente han aprendido y tenido el cuidado de no olvidarlos y por lo menos cumplir con la normativa vigente. Por dar un ejemplo de experiencias olvidadas tenemos que en el sismo de 1957 colapsó uno de los edificios del Instituto Politécnico Nacional, en el sismo de 1979 colapsó uno de los edificios de la Universidad Iberoamericana y en el sismo de 1985 también se tuvieron varios casos de escuelas con daños graves e incluso de varios hospitales, siendo estas estructuras de gran importancia y a las que se debe diseñar para que no colapsen bajo las acciones de un sismo.

REFERENCIAS

- Aguirre M. (2003), "La columna de la Independencia", "Paseo de la Reforma", México Maxico, México, <http://www.mexicomaxico.org>
- Auvinet G. y Mendoza M. (1986), "Comportamiento de diversos tipos de cimentación en la zona lacustre de la Ciudad de México durante el sismo del 19 de Septiembre de 1985", Memorias de Simposio, Los sismos de 1985: Casos de Mecánica de Suelos, septiembre 1986, México, D.F., pp. 227-240
- Bitrán D. (2001), "Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999", Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)-Secretaría de Gobernación, pp. 44-45.
- Chopra A. y Goel R. (2000), "Building period formulas for estimating seismic displacements," Earthquake Spectra, Vol. 16, N° 2, pp. 533-536.
- Economic and Social Research Institute (ESRI) (2004), "ARCGIS 9.0 by ESRI, ARCMAP", USA, <http://www.esri.com>
- Espinoza F. (1999), "Determinación de características dinámicas de estructuras", Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Excelsior, El periódico de la vida nacional, Publicaciones de 29 de julio al 5 de Agosto de 1957, México, Año XLI, tomo IV.
- Figuroa J. (1957), "El macrosismo del 28 de julio de 1957", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, Vol. III, pp. 55-88
- Hanson R.D. y Martin H.W. (1987), "Performance of steel structures in the September 19 and 20 1985, México Earthquake," Earthquake Spectra, Vol. 3 No. 2, pp. 346-329
- ICA (1992), Catálogo de temblores que han afectado al valle de México del siglo XIV al XX, Editorial LIMUSA y Fundación ICA. D.F., México
- Lomnitz C. (1988), "Las causas probables de la catástrofe sísmica del 19 de septiembre de 1985", Ciencia y desarrollo, septiembre/octubre 1988 Vol. XIV Núm 82, CONACYT, México.
- Marsal R. (1958), "Los efectos del terremoto del 28 de julio y la consiguiente revisión de los criterios para el diseño sísmico de estructuras. Parte II Efectos del macrosismo registrado el 28 de julio en las construcciones de la ciudad", Revista Ingeniería, Instituto de Ingeniería, UNAM, Vol. 28, No. 1, pp. 10-23.
- Maskrey A. (1998), "Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina", La RED, Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, Perú.
- Meli R., López O. y Miranda E. (1985), "Evaluación de los efectos de los sismos de Septiembre de 1985 en los edificios de la ciudad de México Parte III. Comportamiento de edificios dañados. Anexo 1. Edificios dañados en 1957", Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Merino J. (1957), "El temblor del 28 de julio de 1957", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, Vol. III, pp. 89-125.
- Miranda E. (1999), "Aproximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 4, pp. 417-425.
- Mosquera J., Miranda E. y Reinoso E. (2006), "Estimación y variación del periodo fundamental de vibración de edificios de concreto reforzado inferidas a partir de edificios instrumentados ubicados en la ciudad de México y California", Memorias, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural Puerto Vallarta, Jal., CDROM.
- Muriá D. y González R. (1995), "Propiedades dinámicas de edificios de la Ciudad de México", Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, N° 51, pp. 24-45.

- Ordaz M. (1997), "Sismicidad y Riesgo sísmico", Memorias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver. México.
- Ordaz M, Pérez-Rocha L.E., Reinoso E. y Montoya C. (1997). "Sistema de cómputo para el cálculo de espectros esperados en la Ciudad de México" Memorias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver. México.
- Ozcebe G., Sucuoglu H., Yucemen S., Yakut A. y Kubin J. (2006) "Seismic risk assessment of existing building stock in Istanbul a pilot application in Zeytinburnu district," Memorias, 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, abril 18-22, San Francisco, California, USA., CDROM.
- Pérez-Rocha E., Vieitez L. Flores F. y Zárate M. (1996), "Predicción de intensidades sísmicas para el área metropolitana del valle de México", Cuadernos FICA, México, 54 pp.
- Proaño R. y Zavala C. (2003), "Estimación de la respuesta sísmica de estructuras en base a sistemas de 1 grado de libertad para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica", Memorias, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos, Perú.
- Quiroga C. y Reinoso E. (2004), "Evaluación de los daños del sismo del 19 de septiembre de 1985 a la luz de nuevos datos y estudios y con ayuda de sistemas de información geográfica", Memorias, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural Acapulco, Gro., CDROM.
- Reinoso E. (1996), "Algunos resultados recientes sobre el peligro sísmico en la Ciudad de México" Revista de Ingeniería Sísmica No. 53, México, pp. 1-24
- Riddell R. (2005), "Evaluación de índices de intensidad del movimiento del suelo según correlación con la respuesta a terremotos" Memorias, IX Jornadas Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 16-19 de Noviembre, Concepción - Chile.
- Rosenblueth E. (1958), "Los efectos del terremoto del 28 de julio y la consiguiente revisión de los criterios para el diseño sísmico de estructuras. Parte I Características de los sismos", Revista Ingeniería, Instituto de Ingeniería, UNAM, Vol. 28, No. 1, pp. 1-9.
- Rosenblueth, E. y Newmark N. M. (1976), "Fundamentos de ingeniería sísmica", Editorial Diana, México, D.F., pp. 349-394.
- Santoyo E., Gutiérrez C., Hernández E. y Gálvez C. (1986), "Una encuesta sobre cimentaciones piloteadas de edificios en la ciudad de México", Memorias de Simposio, Los sismos de 1985: Casos de Mecánica de Suelos, septiembre 1986, México, D.F.
- Santoyo E., Ovando E., Mooser F. y León E. (2005), "Síntesis geotécnica de la cuenca del Valle de México", TGC Geotecnia S.A. de C.V., México, D.F., pp. 1-58.
- Sucuoglu H., Jury H. R., Ozmen A., Hopkins D., Ozcebe G. y Kubin J. (2006), "Developing retrofit solutions for the residential building stocks in Istanbul," Memorias, 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Abril 18-22, San Francisco, California, USA., CDROM.
- Sucuoglu, H. (2006), "Seismic risk mitigation studies in Istanbul," Memorias, 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Abril 18-22, San Francisco, California, USA., CDROM.
- Sucuoglu H. y Yazgan U. (2003), "Seismic Risk Assessment Survey of Urban Buildings," Seismic Assesment and Rehabilitation or existing Buildings, NATO ISBN 1-4020-1625-5. Turquia.
- Tamez E. (1986), "Cimentaciones parcialmente compensadas, compatibilidad entre losas y pilotes en comportamiento sísmico," Memorias de Simposio, Los sismos de 1985: Casos de Mecánica de Suelos, septiembre 1986, México, D.F., pp. 425-431.

APÉNDICE A

ESPECTROS DE RESPUESTA DE ESTRUCTURAS ESTUDIADAS PARA EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957

A.1 ESTRUCTURAS CON MAGNITUDES DE DAÑO GRAVE A COLAPSO

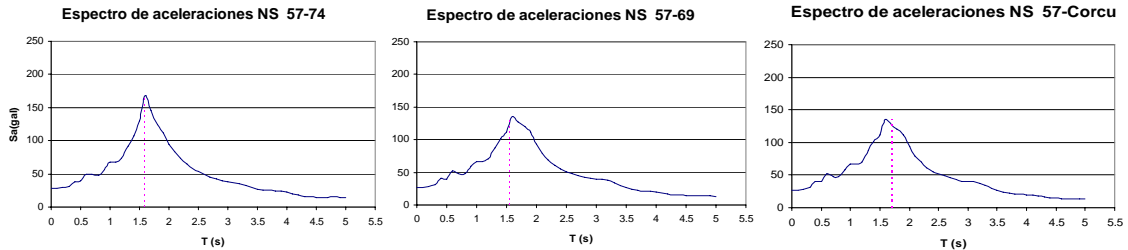


Figura A.1 De las estructuras estudiadas con daños graves a colapso en tres de ellas el valor del T_e coincidió con las ordenadas máximas del espectro de respuesta (130 a 160 gals), los daños fueron muy graves.

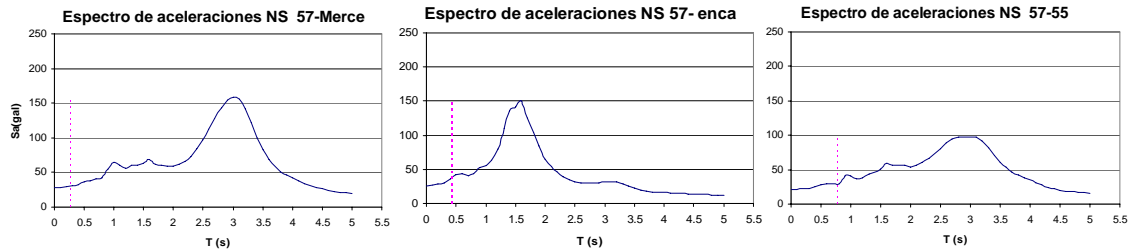


Figura A.2 En otras tres estructuras el T_e estaba muy lejano a la ordenadas máximas del espectro de respuesta (30 y 40 gals), sin embargo, éstas eran tipo nave industrial (tuvieron mal comportamiento), sufrieron colapso parcial.

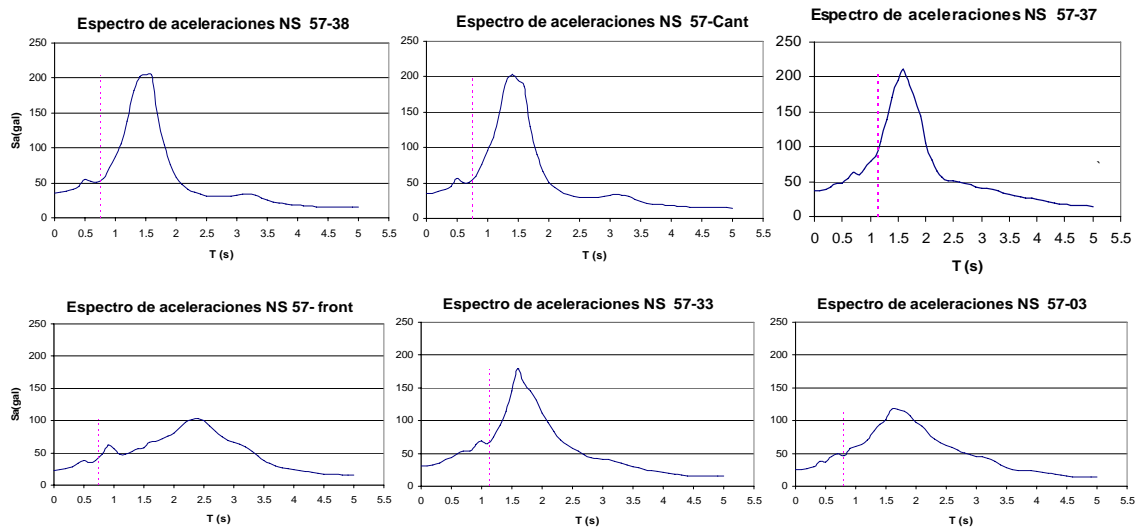


Figura A.3 El resto de las estructuras con daños graves a colapso el T_e estaba antes de la ordenadas máximas del espectro de respuesta (60 a 130 gals), es posible que se haya presentado comportamiento inelástico.

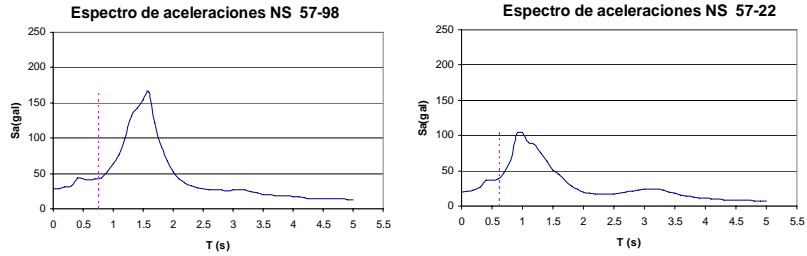


Figura A.3 (continuación) El resto de las estructuras con daños graves a colapso el Te estaba antes de la ordenadas máximas del espectro de respuesta (60 a 130 gals), es posible que se haya presentado comportamiento inelástico.

A.2 ESTRUCTURAS CON MAGNITUDES DE DAÑO LEVE Y MODERADO

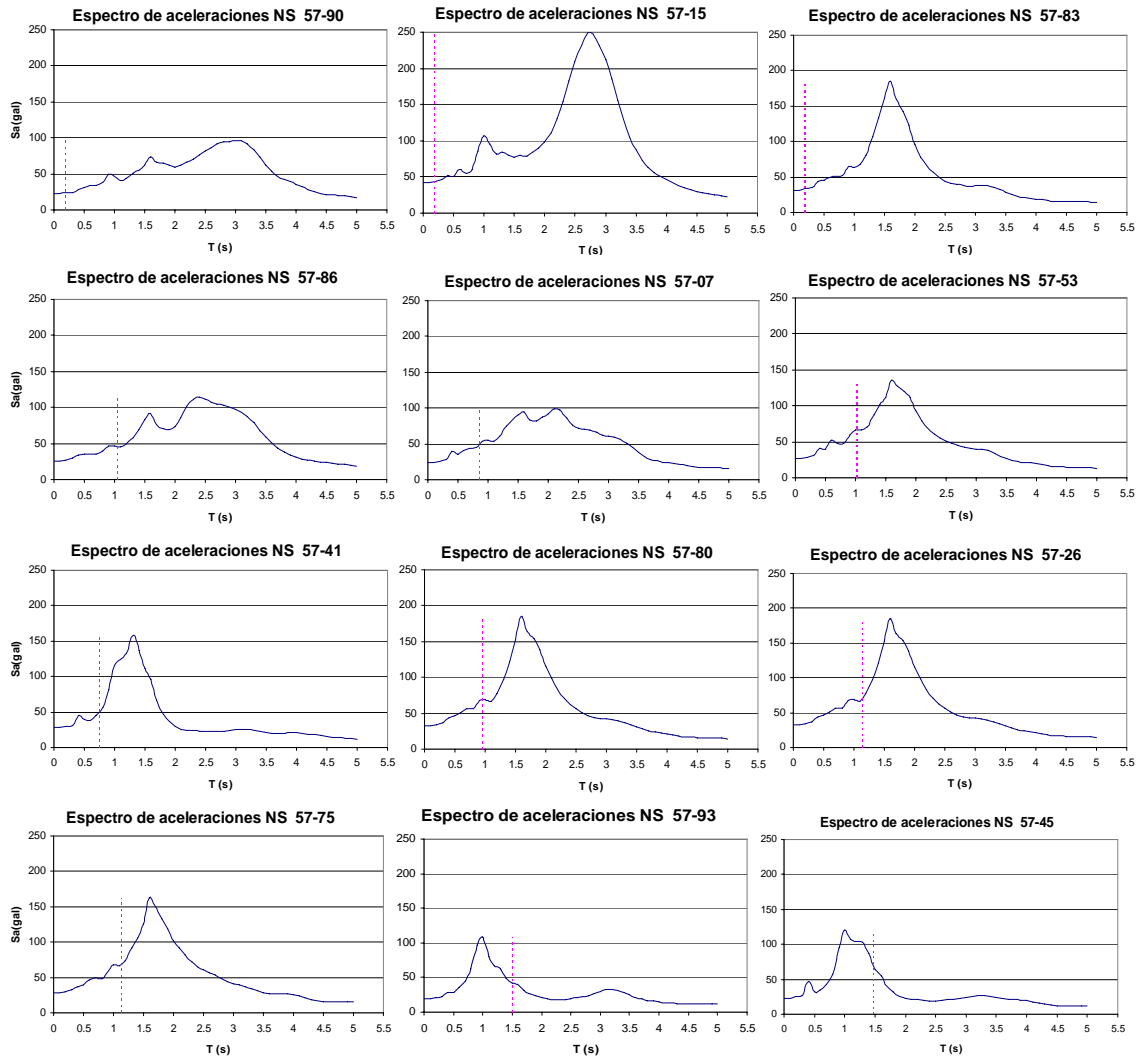


Figura A.4 De las estructuras estudiadas con daño leve y moderado doce de ellas el Te estaba antes o después de la ordenadas máximas del espectro de respuesta (30 a 70 gals), los daños fueron leves.

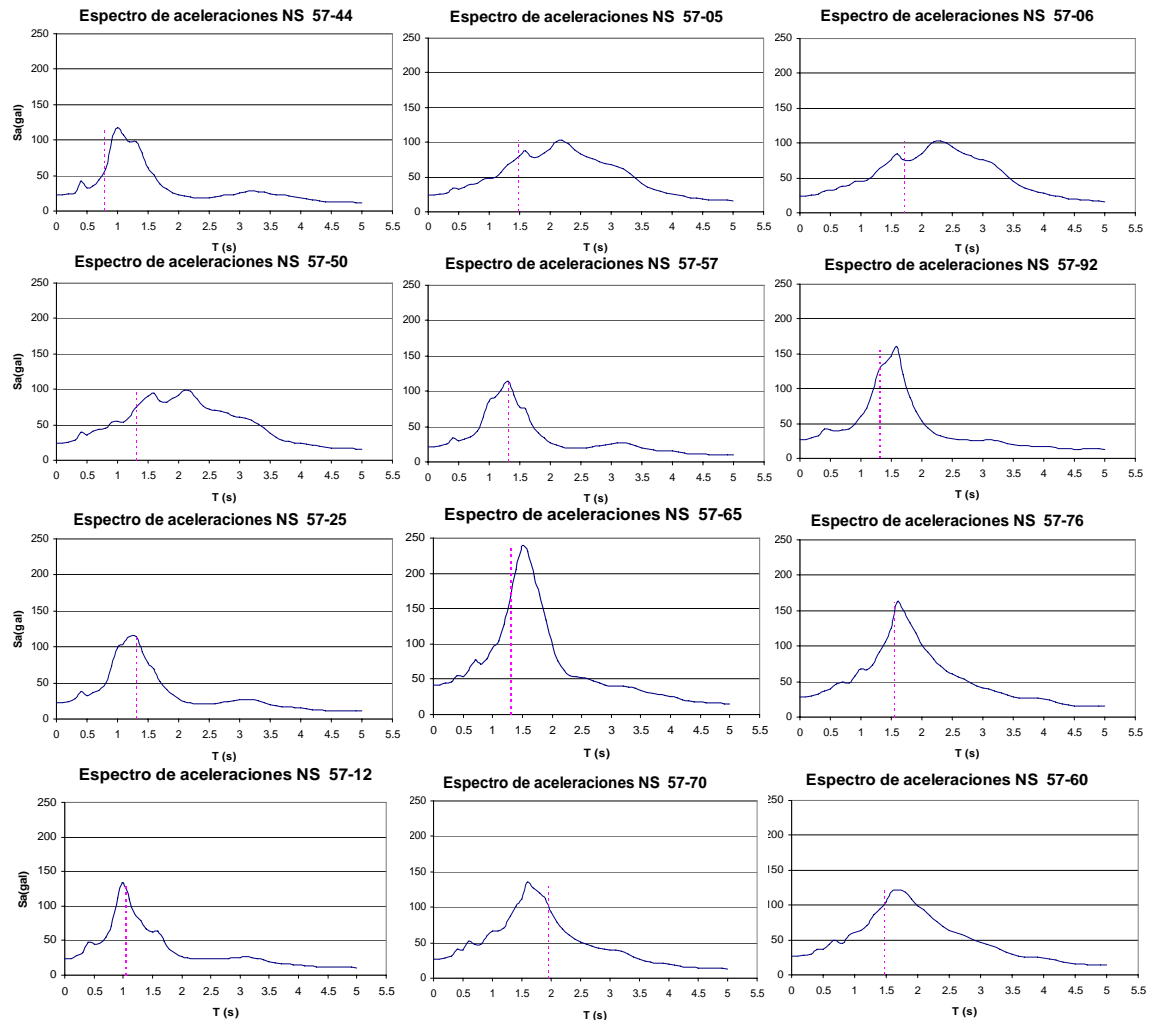


Figura A.5 En otras doce estructuras el T_e si coincidió con el valor de las ordenadas máximas del espectro de respuesta (60 a 130 gals), pero los daños fueron leves. Esto implica que no existió una correlación entre la magnitud de daño y las ordenadas máximas del espectro de respuesta

APÉNDICE B

MAPAS DE INTENSIDAD SÍSMICA DE LA DELEGACIÓN CUAUHEMOC PARA EL SISMO DEL 28 DE JULIO DE 1957

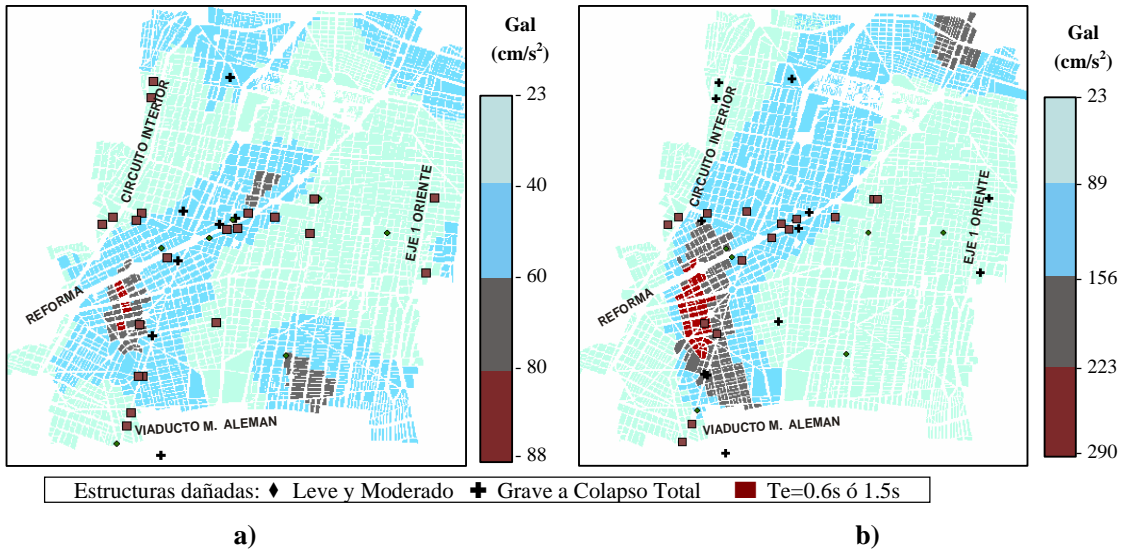


Figura B.1 Estructuras con daño y mapas de aceleración a) para valores de $T_e=0.6s$ y b) para valores de $T_e=1.5s$. Se aprecian pocos casos en los que coinciden los daños con las zonas de mayores aceleraciones.

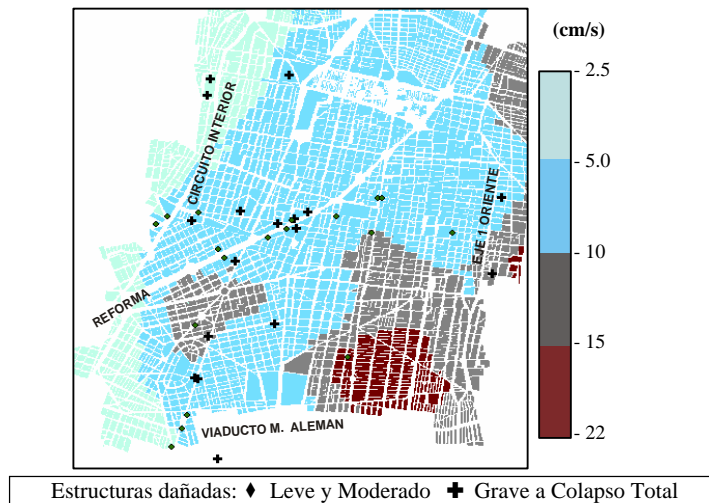


Figura B.2 Estructuras con daño ubicadas en mapa de velocidades máximas. Se aprecia que hay muy pocos casos en los que coinciden los daños con las zonas de mayores velocidades.

APÉNDICE C

Tabla C.1 Descripción de estructuras estudiadas en el sismo del 19/09/85

Clave estructura	Dirección		Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Cimentación	En esquina	Periodo del suelo aprox.	Daño 1957	Asentamiento previo a 1985	Modificaciones hechas antes de 1985		Daño 1985	Daño estructural		Asentamiento diferencial
	Calle	#										Reposición o reparación de daños	Descripción del refuerzo		Descripción del daño en elementos	Ubicación (# de piso)	
57-4	Á. Obregón	223	1955	9	Hospital	MC	PC	No	2.01	●	No	Cambio de control de pilotes	Refuerzo traveses con estribos exteriores de varillas ahogadas en losa (falló P.B.)	★	Flexión en columnas, tensión diagonal de traveses, falla de columnas de coincidencia por cortante. Sobrepeso al cambiar de uso y 1 piso añadido, impacto con edificio derrumbado	P.B., 4 y 5	No
57-8	Balsas	37	1943	11	Vivienda	MC	PM	No	1.27	●	No	Resane de muros	Ninguno	●	Ninguno. Golpeteo, se dañó el edificio vecino.	---	No
57-9	Carpio	99	1937	2	Cine	NI	S	No	1.32	●	No	Aligeramiento de la cubierta	Se confinó y ancló nuevo muro y mejoró contraventeo de armaduras.	●	Ninguno	---	No
57-20	Casco de Sto. Tomás	-	1950	4	Escuela	MC	S	No	0.98	●	No	---	Aumentó y cambio de sección y de refuerzo de columnas, rigidización de marcos (C/2) ligando muros divisorios y eliminación de 4° piso y voladizos	●	Agrietamiento leve horizontal en algunas columnas. El refuerzo trabajó muy bien y la eliminación de un piso también ayudó (le benefició la demolición de 2 edificios del conjunto después de 1957)	No	No
57-27	Hidalgo	5	1946	21	Oficinas	MA	PM	No	2.25	●	No	Reposición no estructural	Ninguno	▲	Falla muros de concreto de cubo de elevadores. Irregularidad en altura produjo efectos de torsión y el asentamiento diferencial se dio hacia el lado donde se concentraban las masas	3 y 8	Si
57-29	Humbolt	49	1941	11	Oficinas	MC	PM	No	2.18	●	No	Reposición y resane de muros	Ninguno	★	Cortante en uniones trabe-columna y losas, tensión diagonal en traveses. Por pocos estribos en elementos estructurales, cambio en la distribución y cantidad de masa e irregularidad en planta que pudieron provocar torsión (muy probable daño acumulado)	P.B. al 6	No
57-34	Insurgentes	85	1953	11	Oficinas	MC	PC	No	2.08	●	No	Reposición no estructural	Ninguno	▲	Grietas horizontales y de torsión en varias columnas, cortante y tensión diagonal en traveses, falla por compresión en muro de rigidez. Y de control de pilotes. Principales causas son la ubicación en esquina, posición de cubo de elevadores y muro de rigidez que produjo torsión,	3 al 9	Si
57-36	Insurgentes	113	1940	3	Cine	MA	S	No	2.07	●	No	Aligeramiento de la cubierta	Mejor contraventeo, anclaje de muros a columna de concreto para evitar volteo	●	Levantamiento de losa de piso en zona de butacas. El refuerzo de muros funcionó bien	1	No
57-48	Juárez	42	1952	13	Oficinas	MC	CC	No	2.23	●	No	---	Refuerzo mediante muro de concreto en sentido corto. Solo un cuerpo se reforzó	★	Falla por torsión y cortante en columnas, aplastamiento en traveses, muro de concreto falló por cortante en huecos de puertas, falla por cortante en losas. Se aumento rigidez pero no se modificó la cimentación y provocó asentamiento diferencial	1 a 4	Si
57-49	Juárez	52	1949	17	Hotel	CC	PC	Si	2.22	●	Si	Corrección de asentamiento con pilotes de control	Nuevos muros se andaron a la estructura. Se amplió junta de coincidencia	●	Agrietamiento de 30% aplanados y muros en los 14 niveles inferiores. Al dar más rigidez a la estructura con los muros se evitó golpeteo. Tenía golpeteo	---	No
57-59	Morelos	58	1948	15	Oficinas	MC	PM	Si	2.21	●	Si	Resane de muros	Ninguno	▲	Tensión diagonal en traveses, compresión en columnas de P.B. a 3° piso. La ubicación en esquina causó efectos de torsión y parece ser la causa del asentamiento diferencial grave, que además no fue corregido.	P.B. al 6	Si
57-64	Río Neva	16	1950	8	Vivienda	MC	CC	Si	1.79	●	Si	Reposición no estructural	Ninguno	▲	Tensión diagonal en traveses. Irregularidad en elevación y asentamientos diferenciales graves (no corregidos y hacia donde se concentran las masas) son las principales causas de daño	P.B. al 3	Si
57-71	Reforma	51	1955	24	Oficinas	CC	PC	No	2.07	●	No	---	Ninguna	●	Ninguno	---	No
57-72	Reforma	69	1945	18	Oficinas	MC	CC	No	2.09	●	No	Reposición de muros dañados	Ninguna	●	Agrietamiento horizontal leve en unión trabe-columna y daño leve en trabe de borde por el peso de la fachada. No presento problemas a pesar de irregularidades en planta y elevación	3 a 5	No

Tabla C.1 Descripción de estructuras estudiadas en el sismo del 19/09/85 (continuación).

Clave estructura	Dirección		Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Orientación	En esquina	Periodo de suelo aprox.	Daño 1957	Asentamiento previo a 1985	Modificaciones hechas antes de 1985		Daño 1985	Daño estructural		Asentamiento diferencial (# de pisos)
	Calle	#										Reposición o reparación de daños	Descripción del refuerzo		Descripción del daño en elementos	Ubicación	
57-73	Reforma	76	1953	18	Oficinas	MC	PM	SI	2.18	●	No	Reposición no estructural	Ninguna	●	Ninguno	---	No
57-78	Reforma	202	1953	4	Escuela	MC	S	SI	1.99	●	No	---	Ninguna	●	Elementos con secciones muy sobradas para el tamaño de la estructura, tubo desplazamientos muy pequeños	---	No
57-81	Reforma	449	1946	14	Oficina y Vivienda	CC	PM	No	1.31	●	SI	Reposición no estructural	Ninguna. Edificios vecinos se demolicion construyendo nuevos con holgura adecuada	○	Ninguno. No se corrigió el asentamiento y se incrementó con el sismo	---	SI
57-85	S. J. Leirán	21	1939	11	Oficinas	MA	PCP	SI	2.35	●	No	Resane de muros	Rigidización con contraventeos en cruz en donde los muros fallaron por cortante.	◆	Derrumbe de 5 últimos pisos. Falla por inestabilidad de todos los contraventeos y presentó golpeo con edificio vecino	7 al 11	SI
57-87	S. J. Leirán	37	1937	8	Oficina y almacén	CC	PM	SI	2.37	●	No	Relleno abertura entre muros y columnas mortero	Ninguna	●	Ninguno Muros de colindancia con edificio que se derrumbó presentaron daños.	---	SI
57-91	Sullivan	1	1943	13	Hotel	MC	PM	No	1.93	●	SI	Reposición de muros	Ninguna	●	Ninguno Destrucción de muros por impacto con edificio vecino en pisos 6 al 9. A pesar del golpeo y de irregularidad en planta, buen comportamiento	---	SI
57-94	Vallarta	1	1946	11	Oficinas	MC	CC	No	2	●	No	Reposición muros con irregularidad en la distribución y material	Ninguna	▲	Tensión diagonal en traves y en unión trabe columna, flexión en losas, contraventeos fallaron totalmente. Falta de estribos en traves, de acero de refuerzo en losas, contraventeos esbeltos, cambio de muros y centro de masas restando rigidez, pueden ser causas de los daños	1 al 4	No
57-96	Versalles	15	1956	8	Oficinas	MC	PCP	No	2.24	●	No	---	Aumento de secciones de columnas con concreto reforzado (sin estribos) y traves se reforzaron con estribos exteriores de soleras y barras lisas	★	Flexo compresión en columnas, cortante y flexión diagonal en traves y grietas de losas. Refuerzo no trabajó monóticamente con la sección original en columnas. Efectos de torsión, ubicación en esquina, irregularidad en planta y elevación pueden ser causas de los daños	3 al 6	No
57-99	Juárez	73	1941	13	Oficinas y almacén	MC	CC	SI	2.15	●	No	---	Ninguna	◆	Pequeño derrumbe en esquina superior del edificio e incendio total. El golpeo con edificio vecino que le transmitió el incendio y posible daño acumulado pueden ser causas del daño (fue demolido)	13	No
57-100	Reforma	393	1946	10	Oficinas	MC	CC	SI	1.45	●	SI	Lastrado de cimentación eliminando asentamientos	Ninguna	●	Ninguno. Falla en muros de colindancia, debido a que se ligaron a la estructura.	---	SI
57-05	Aquiles Serdán	29	1950	13	Oficinas	MC	PM	SI	2.21	●	SI	---	Refuerzo de algunas columnas, adición muros de concreto zona de ascensores (asimétricamente).	★	no se permitía acceso. Irregularidad en planta (esquina) y refuerzo en forma asimétrica pueden ser causas de los daños	---	SI
57-07	Baldernas	44	1941	6	Oficinas y Escuela	MC	S	No	2.18	●	SI	Resane muros y traves, fachada se modificó	Ninguna	○	Agrietamiento helicoidal leve en columna de 3 piso, golpeo con los edificios vecinos	3	SI
57-12	Chapultepec	540	1953	8	Oficinas	MC	S	No	1.14	●	No	---	Adición de traves de gran peralte y de secciones rectangulares en columnas de C.R. en marcos extremos en ambos sentidos	○	Agrietamiento en unión de trabe de refuerzo y columna de refuerzo en varios pisos. Refuerzo en forma simétrica pero no se tomó en cuenta la cimentación y al incrementar las fuerzas transmitidas se dio asentamiento diferencial importante	---	SI
57-25	Gutemberg	47	1949	11	Vivienda	MC	PM	No	1.11	●	No	---	Cubo de escaleras aumentó secciones de elementos, refuerzo muros con diagonales de concreto, se unió los 2 cuerpos	●	Ninguno. En cubo de escaleras se daño la losa rampa de escaleras en la unión con la losa de descanso ya que no se ancló el acero. Muros rigidizados con problemas por volteo	---	No

Tabla C.1 Descripción de estructuras estudiadas en el sismo del 19/09/85 (continuación).

Clave estructura	Dirección		Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Ortografía	En esquina	Periodo de susto aprox.	Daño 1957	Asentamiento previo a 1985	Modificaciones hechas antes de 1985		Daño 1985	Daño estructural		Asentamiento diferencial
	Calle	#										Reposición o reparación de daños	Descripción del refuerzo		Descripción del daño en elementos	Ubicación (# de pisos)	
57-26	Havre	7	1952	9	Oficinas	MC	CC	No	1.91	0	Si	Reposición de trabes y columnas dañadas	Muros confinados toda la periferia y ligados a la estructura para dar rigidez	0	Tensión diagonal en trabe de 2° piso, esfuerzo cortante en 3 nudos y pandeo de trabes y columnas de una colindancia, debido tal vez a que la estructura se hizo más rígida con los muros y no se revisó la cimentación (no se corrigió asentamiento del 57)	2 y 3	Si
57-41	Insurgentes	428	1947	5	Comercio	MC	S	No	1.17	0	No	Reposición no estructural	Ninguna	0	Tensión diagonal y torsión leves en una columna de doble altura en P.B., al tener todos los muros ligados a los marcos la estructura es muy rígida. Irregularidad en planta y golpepelo posible causa de daños	P.B.	No
57-44	Insurgentes	473	1942	8	Oficinas	MC	PM	No	1.1	0	No	---	Aumento de secciones de trabes y columnas en sentido E-O. En sentido N-S unión de muros a estructura y contraventeos de concreto en muro	Ninguno, pequeños agrietamientos diagonales en muros, solo en el 2° piso. El refuerzo fue echo de manera simétrica y bien realizado evitando mal comportamiento de la estructura	---	No	
57-45	Insurgentes	576	1950	13	Vivienda	MC	PM	No	1.06	0	Si	Colocación de controles a los pilotes y nivelación	Ninguna	▲	Se reabrieron grietas en trabes con intensidad moderada y grave, todos los muros sufrieron agrietamiento diagonal. El no reforzar la estructura ni repararla influyó en que se presentaran los daños con mayor intensidad. Los muros ayudaron en la rigidez del edificio.	P.B. al 7	No
57-53	La Fragua	4	---	7	Oficinas	MC	CC	No	2.03	0	No	---	Colocación de contraventeos (asbestos) y solo 3 pisos intermedios (asimetría)	Derrumbe de 4 últimos pisos tuvo golpepelo con edificio vecino a trabe con al trabe al derribo parcial. Dichos pisos fueron enlucidos al principio con golpepelo utilizando materiales diferentes (sobrepeso en el refuerzo y el golpepelo pueden ser causas del daño.	4 al 7	No	
57-57	M. Ocampo	257	1944	11	Vivienda	MC	---	Si	1.15	0	No	Reposición muros dobles por sencillos resistentes al corte	Ninguna	0	Ninguno. Se redujo la masa al quitar los muros dobles, esto y que estuvieran ligados ayudo a buen comportamiento sin haber reforzado la estructura	---	No
57-70	Reforma	45	1950	19	Oficinas	CC	CC	Si	2.08	0	Si	Eliminación muros divisorios y nivelación celdas de cimentación	Ninguna	0	Ninguno ayudo la reducción de masa al eliminar muros	---	Si
57-75	Reforma	104	1952	9	Oficinas	MC	PCP	No	2.17	0	Si	Reposición no estructural	Colocación de marco de concreto para rigidizar.	▲	Tensión diagonal en trabes y se repitieron los daños en cubo de escalera con intensidad grave. Efectos de torsión por la posición del cubo de escaleras y el no reparar los daños son las principales causas. El marco colocado solo ayudo un poco en la torsión. No se corrigió asentamiento.	P.B. al 5	No
57-80	Reforma	336	1948	7	Oficinas	MC	S	No	1.87	0	No	Reposición no estructural	---	▲	Falla total por compresión de 2 columnas que soportaban la fachada. El daño se dio en el 5 piso donde tuvo golpepelo con edificio vecino, esto parece ser la causa	5	No
57-92	Sullivan	199	1955	11	Oficinas	MC	CC	Si	1.28	0	No	Reposición no estructural	Ninguna. Algunas uniones losa columna se les puso ábaco.	0	Tensión diagonal un 1 sola trabe de los pisos 3, 4, 6 y 7. Existe un muro de concreto en toda la altura menos en la P.B. (que tiene doble altura) que pudo haber ocasionado efectos de torsión y planta débil y sin embargo no se presentaron daños mayores en el edificio	3, 4, 6 y 7	No
57-15	Dr. Barragán	538	1940	3	Vivienda	MmC	S	No	2.92	▲	Si	Reposición de muros dañados.	Ninguna	★	Esfuerzo cortante en muros, deformaciones pronunciadas en losas y deformaciones diferenciales en muros de colindancias. Los asentamientos diferenciales (no corregidos) y que no hay holgura entre las edificaciones son posibles causas de daño	P.B.	Si
57-50	Juárez	76	1938	11	Oficinas	MC	PM	Si	2.17	▲	Si	---	Ninguna	+	Colapso total. Presentó efectos de torsión además los daños previos no fueron reparados ni se reforzó a pesar de tener trabes y columnas de escasas dimensiones.	todos	No
57-60	Morelos	110	1945	13	Oficinas	MC	PM	Si	2.16	▲	Si	---	Aumento de sección algunos marcos con acero en celosía y concreto ref., columnas de esquina de forma similar	▲	En P.B. una columna falló por cortante y compresión, una trabe falló por cortante (no estaban reparadas). El refuerzo trabajó bien, pero la falta de refuerzo de todos los elementos, los efectos de torsión (esquina)	P.B.	Si

Tabla C.1 Descripción de estructuras estudiadas en el sismo del 19/09/85 (continuación).

Clave estructura	Dirección		#	Año de construcción	# Niveles	Uso	Tipo estructural	Orientación	Ensayo	Factor de reducción	Daño 1985	Modificaciones hechas antes de 1985		Daño 1985	Daño estructural		Asentamiento (cm)	Asentamiento diferencial
	Calle	Reposición o reparación de daños										Descripción del refuerzo	Descripción del daño en elementos		Ubicación (planta)			
57-65	Oaxaca	50	1955	11	Oficinas	MC	PCP	No	1.75	▲	★	Ninguna	Ninguna	★	Falla en columnas por torsión, cortante, flexión e impacto. Tensión diagonal en traveses. Una columna falló por aplastamiento. La falla de los controles de pilotes provocó asentamiento diferencial, además el golpeo en los posibles causas de daños (se demolió).	P.B. al 7	Si	
57-76	Reforma	122	1951	14	Oficinas	MC	PCP	No	2.19	▲	▲	Varillas en cruz a modo de contraventeo en muros de cubo de servicios, los traveses se reforzaron con armaduras de acero.	Ninguna	▲	Falla total de columna en 9° piso por cortante y compresión, columnas adyacentes presentan indicios del mismo tipo de falla. Losas agrietadas en zona de fachada. Refuerzo muy localizado no funcionó bien para evitar daños mayores.	P.B. al 9	Si	
57-83	Río Rhin	82	1935	3	Vivienda	MmC	S	No	1.69	▲	●	Demolición y reposición de partes de las losas	Ninguna	●	Ninguno	---	No	
57-86	San Juan de Letrán	23	1936	7	Oficinas	MC	S	No	2.36	▲	+	Reposición estructural con misma sección	Ninguna	+	Colapso total por aplastamiento al derrumbarse los pisos superiores del edificio vecino. Importante mencionar, daños por golpeo en los sismos del 57 y 85, esto contribuyó al derrumbe parcial del edificio vecino	todos	No	
57-90	Soledad	90	1930	3	Comercio	MmC	S	Si	2.54	▲	○	Reposición no estructural	Confinamiento de nuevos pisos con losas y se pusieron traveses de refuerzo.	○	Destrucción parcial en muros no reparados y pandeo en colindancias. Asentamiento (no corregido después del 57) hacia el sureste debido a golpeo con el edificio vecino y a falta de confinamiento en los muros originales	1 al 3	Si	
57-93	Topógrafos	7	1952	14	Vivienda	MC	PC	Si	0.93	▲	▲	Resane de muros	Ninguna	▲	Reapertura de grietas en losas de intensidad moderada, otros daños no se aprecian, incertidumbre en desempeño, golpeo abajo	3 al 11	No	
57-03	Abraham González	3	1947	10	Oficinas	MC	PM	Si	2.16	★	★	Reposición de elementos dañados.	Se aumento sección a columnas y se aumento el número de traveses soporte en losas	★	Tensión diagonal y flexión en traveses, agrietamiento y deformaciones graves en losas. Irregularidad en planta y ubicación de esquina pudieron causar efectos de torsión, al poner más traveses soporte no sirvió, aumento la masa y no tanto la resistencia. Pequeño asentamiento	P.B. al 6	Si	
57-22	Casco de Sto. Tomas	---	1950	4	Escuela	MC	S	No	0.7	★	●	Reposición de traveses y demolición de una parte del edificio	Aumento sección columnas y se confinaron y ligaron a la estructura.	●	Ninguno. demolición de parte del edificio y refuerzo de columnas (en 3 primeros niveles) trabajo muy bien, se evitó problemas por torsión	---	No	
57-37	Insurgentes	263	1946	9	Oficinas	MC	PM	Si	1.78	★	+	---	Ninguna	+	Colapso total. Irregularidad en planta, efectos de torsión, daños previos no reparados, no refuerzo y asentamientos diferenciales importantes no corregidos posibles causas del colapso.	todos	Si	
57-38	Insurgentes	368	1948	5	Banco	MC	S	Si	1.44	★	●	---	Aumentó sección con concreto reforzado en columnas P.B. y traveses opuestas a colindancia	●	Ninguno. Un ligero agrietamiento en muros de cubo de escaleras. Refuerzo logró evitar efectos de torsión reduciendo los centros de masa de la estructura	---	No	
57-55	Lecumberri	63	1946	2	Cine	NI	S	No	2.62	★	●	---	Demolición y reconstrucción con columnas de concreto, armaduras de acero y muros ligados a la estructura	●	Ninguno. La nueva estructura tenía bastante rigidez y en esta si se tubo el cuidado de poner contraventeos en los dos sentidos de las armaduras	---	No	
57-69	Reforma	35	1956	14	Oficinas	MC	CC	No	2.06	★	★	---	Aumento sección columnas, sobre elementos agrietados. En traveses es similar y solo en las zonas dañadas.	★	Concentración de esfuerzos de tensión diagonal y compresión en zonas no reparadas, en losas de 5 primeros niveles grietas por flexión. El haber colocado el refuerzo sobre la estructura no reparada y provocar cambios bruscos de sección en traveses influyeron en el mal comportamiento de la estructura	P.B. al 5	No	
57-74	Reforma	77	1943	14	Oficinas	MA	PM	Si	2.06	★	★	Aumento sección columnas y se reforzaron losa y refuerzo traveses con concreto reforzado y los demás solo nudos	---	Derrumbe del último nivel, debido a que el piso que se añadió era de rigidez diferente (muy esbelto) a las de los niveles existentes y al gran peso del cuarto de máquinas ubicado sobre este último piso (no se tomó en cuenta como apéndice)	14	No		
57-98	Villalongin	---	---	5	Oficinas	MC	PM	No	1.28	★	●	Las trabes dañadas se repusieron	Rigidización con muro de concreto reforzado en todo el edificio	●	Ninguno. Refuerzo logró dar la suficiente rigidez para no presentar mal comportamiento. No se menciona sobre la corrección del asentamiento diferencial pero es probable que se halla corregido	---	No	
57-46	Insurgentes	1338	1955	1	Bodegas	NI	S	No	1.42	◆	●	Demolición y reconstrucción de muros confinados y ligados a columnas de concreto, nuevas mensulas	---	Ninguno	---	No		

Tabla C.1 Descripción de estructuras estudiadas en el sismo del 19/09/85 (continuación).

Simbología

TIPO DE CIMENTACIÓN	
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
S	Superficial
CC	Cajón de cimentación
PCP	Parcialmente compensada con cajón y pilotes
PC	Pilotes de concreto (fricción)
PM	Pilotes de madera (punta)

NIVEL DE DAÑO	
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
○	Leve
▲	Moderado
★	Grave
◆	Colapso parcial
+	Colapso total

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
MC	Marcos de concreto
MA	Marcos de acero
CC	Construcción compuesta
MmC	Mampostería Confinada
NI	Naves Industriales

---	Sin datos exactos
-----	-------------------