



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAS

REVISIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS EN SISMOS
OCURRIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO A LA LUZ
DE NUEVOS CONOCIMIENTOS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MIGUEL ANGEL HERNÁNDEZ ZARCO

TUTOR:
EDUARDO REINOSO ANGULO, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2017



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. López Bátiz Oscar Alberto
Vocal: Dr. Reinoso Angulo Eduardo
1^{er}. Suplente: Dr. Jaimes Téllez Miguel Angel
2^{do} Suplente: Dr. Niño Lázaro Mauro Pompeyo

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dr. Eduardo Reinoso Angulo

NOMBRE:

Miguel Ángel Hernández Zarco

FIRMA

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco al Dr. Eduardo Reinoso, por su tiempo, recursos y enseñanzas compartidas para la elaboración de esta tesis. Al M.I. Carlos Quiroga, porque sus investigaciones y aportaciones fueron un gran avance para la finalización de este trabajo. Al Dr. Ventura, por el tiempo dedicado para la revisión de las ubicaciones de los predios de los edificios dañados. Al Ing. Edgar Osuna por sus aportaciones a la elaboración del visualizador.

Agradezco también a los sinodales de este examen por sus valiosos comentarios para complementar el trabajo y ordenar las ideas y conceptos que trato de transmitir.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN	1
I.I	ANTECEDENTES	4
I.I.I	EL SISMO DE 1957	4
I.I.II	EL SISMO DE 1985	5
I.II	MOTIVACIÓN	6
I.III	CONTENIDO DEL TRABAJO	6
CAPÍTULO II	REVISIÓN DE LOS INFORMES DE LOS DAÑOS EN SISMOS	9
II.I	REPORTE DEL EEFIT	9
II.I.I	EFFECTOS DEL SISMO EN SUPERESTRUCTURAS	10
II.I.II	METODOLOGÍA Y ESTADÍSTICAS OBTENIDAS	11
II.I.III	COMPORTAMIENTO DE LAS CIMENTACIONES DURANTE EL SISMO	16
II.II	REPORTE DE INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS	18
II.III	REPORTE DE LA COORDINACIÓN DE CONTROL DE EDIFICACIONES	20
II.IV	REPORTE DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM	21
II.V	REPORTE DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD)	21
CAPÍTULO III	GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOS DAÑOS Y SU VISUALIZACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	37
III.I	DETALLE DE LA BASE DE DATOS	37
III.II	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA A LA BASE DE DATOS	39
III.II.I	ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS	40
III.II.II	ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUELO	42
III.III	VISUALIZADOR DE DAÑOS	43
CAPÍTULO IV	INTERPRETACIÓN DE LOS DAÑOS	47
IV.I	ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR USO DEL EDIFICIO	49
IV.I.I	OFICINA	51
IV.I.II	VIVIENDA	52
IV.II	ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR SISTEMA ESTRUCTURAL	53
IV.III	ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR CAUSA DE DAÑO	55
IV.IV	ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR PERIODO DEL SUELO Y DE LA ESTRUCTURA	57
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES Y DISCUSIONES	61

V.I	CONCLUSIONES	61
V.II	DISCUSIÓN.....	63
V.II.I	<i>SIMULACIÓN DE ESCENARIOS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES.....</i>	<i>63</i>
V.II.II	<i>APLICACIONES.....</i>	<i>64</i>
V.II.III	<i>ACCESO DE LA INFORMACIÓN AL PÚBLICO NO ESPECIALIZADO</i>	<i>65</i>
REFERENCIAS	67	
ANEXO A	73	

Capítulo I INTRODUCCIÓN

Desde su existencia, el hombre se ha visto en la necesidad de hacer construcciones que le permitan satisfacer sus necesidades, desde las más básicas como un hogar para protegerse de la intemperie o donde almacenar alimentos, hasta estructuras complejas que albergan cómodamente espacios de trabajo o entretenimiento. La construcción de dichas estructuras, se ha ido modificando a lo largo del tiempo debido a factores como los materiales disponibles, condiciones climáticas, el tipo de suelo donde se construirá, los recursos económicos, la estética, los avances tecnológicos, entre otros, aunque siempre, la característica en común es la permanencia de lo que se construye.

Las catástrofes naturales han sido el principal inconveniente para establecer un nivel de seguridad mínimo de las construcciones, por lo que ha sido, a través de la experiencia, que el hombre ha modificado y regulado la forma de hacer sus estructuras, pues los daños que se generan llegan a ocasionar problemas sociales y económicos que impiden el desarrollo de una comunidad o un país. Es por eso que se han establecido códigos y reglamentos particulares a las necesidades de la zona donde se construye, que intentan establecer ese nivel de seguridad

mínimo, de tal forma que se mitiguen las consecuencias de los eventos que, se sabe, van a ocurrir.

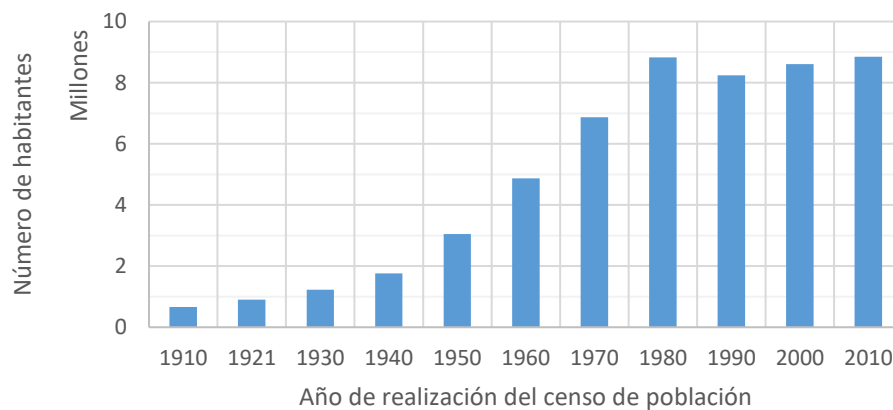
En la República Mexicana, particularmente en la Ciudad de México, la situación es especialmente complicada debido a que su ubicación geográfica lo hace vulnerable a diversas amenazas: sismos, huracanes, erupciones volcánicas, entre otros.

Los sismos fuertes en México son causados por la subducción de las placas oceánicas de Cocos y de Rivera bajo la placa continental de Norteamérica. Se estima que la frontera entre las placas de Rivera y de Norteamérica interseca muy cerca de Manzanillo, mientras que la placa de Cocos comienza su convergencia al noreste de Colima hasta llegar a la frontera de México con Guatemala (Singh & Ordaz, 1990). La Ciudad de México está localizada en una zona donde la ocurrencia de sismos fuertes (mayores a 5.5) es algo constante. Tan solo en los últimos 10 años (desde 2006), se han registrado 129 sismos fuertes en la República Mexicana (SSN UNAM, 2016). Aunque no todos estos sismos afectan directamente a la Ciudad de México, la cantidad de eventos nos da una idea de que la amenaza es constante; por ejemplo, en la Tabla I.1 se muestran los 10 eventos de mayor magnitud en la República Mexicana ocurridos en este lapso.

Tabla I.1 Sismos de mayor magnitud en los últimos 10 años en México (SSN UNAM, 2016)

MAGNITUD	FECHA - HORA	EPICENTRO	PROFUNDIDAD
7.4	20/03/12 - 12:02:47	29 km al sur de Ometepec, Gro.: 16.251°, -98.521°	16 km
7.3	07/11/12 - 10:35:51	68 km al suroeste de Cd Hidalgo, Chis.: 14.08°, -92.32°	16 km
7.2	18/04/14 - 9:27:23	40 km al sur de Petatlan, Gro.: 17.18°, - 101.19°	10 km
7.2	04/04/10 - 17:40:41	18 km al sureste de Mexicali, BC: 32.54°, -115.36°	10 km
6.9	07/07/14 - 6:23:58	47 km al suroeste de Tapachula, Chis.: 14.75°, -92.63°	60 km
6.9	03/08/09 - 13:00:02	84 km al suroeste de M. Alemán (La Doce), Son.: 28.48°, -112.24°	10 km
6.8	12/04/12 - 2:15:49	109 km al noreste de Guerrero NEGRO, BCS: 28.78°, -113.43°	10 km
6.7	13/09/15 - 3:14:09	105 km al suroeste de Los Mochis, Sin.: 24.96°, -109.49°	10 km
6.7	07/04/11 - 8:11:22	83 km al suroeste de Las Choapas, Ver.: 17.2°, -94.34°	167 km
6.6	17/12/15 - 13:49:54	37 km al sur de Tonalá, Chis.: 15.76°, - 93.7°	90 km

Otros factores que hacen relevante a la Ciudad de México es que es la ciudad con mayor densidad de población del país ($5\,920\text{ hab}/\text{km}^2$)¹ y que, además, alberga a las instituciones gubernamentales, comerciales y financieras más importantes del país; todo esto genera un interés especial, ya que, desde el punto de vista de la ingeniería estructural, la seguridad es el punto de partida para cualquier construcción y la ocurrencia de eventos catastróficos, como los sismos, representan un reto no sólo para salvar vidas, sino para garantizar la continuidad en el desarrollo económico del país. Es por eso que el estudio de los eventos que ya han ocurrido puede ayudar a generar información que permita prevenir que el siguiente gran sismo no produzca los mismos daños que los sismos previos.



Gráfica I.1 Número de habitantes en la Ciudad de México (censos INEGI)

En ese sentido, el crecimiento de población es un factor a tomar en cuenta, ya que el número de habitantes es un índice de la vulnerabilidad (debido a la necesidad de construir más estructuras) y el riesgo está en función de la vulnerabilidad, por lo que, si crece la población en un área determinada, crecerá también el número de estructuras deberán satisfacer las necesidades de dicha población y, por lo tanto, habrá más inmuebles susceptibles de sufrir daño. De la Gráfica I.1 se observa que, a partir de 1980 no ha habido crecimiento en el número de habitantes en la Ciudad de México, pero sí se puede concluir, a partir de la Tabla I.2 que la población se ha desplazado dentro del territorio. Así tenemos que, para la Delegación Cuauhtémoc, una de las más afectadas en el sismo de septiembre de 1985, tal como se verá en los siguientes capítulos, ha disminuido considerablemente su número de habitantes. Por el contrario, delegaciones como Tlalpan o Xochimilco han aumentado su población. Esto es relevante pues para el próximo evento sísmico es muy probable que, por este motivo, se vean

¹ (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

afectaciones en zonas donde para eventos anteriores hubo pocos daños o hubo daños de magnitud poco considerable.

Tabla I.2 Habitantes por delegación en la Ciudad de México, según los censos

DELEGACIÓN	1980	1990	2000	2010	TENDENCIA DE CRECIMIENTO
Álvaro Obregón	639 213	642 753	687 020	727 034	
Azcapotzalco	601 524	474 688	441 008	414 711	
Benito Juárez	544 882	407 811	360 478	385 439	
Coyoacán	597 129	640 066	640 423	620 416	
Cuajimalpa	91 200	119 669	151 222	186 391	
Cuauhtémoc	814 983	595 960	516 255	531 831	
Gustavo A. Madero	1 513 360	1 268 068	1 235 542	1 185 772	
Iztacalco	570 377	448 322	411 321	384 326	
Iztapalapa	1 262 354	1 490 499	1 773 343	1 815 786	
Magdalena Contreras	173 105	195 041	222 050	239 086	
Miguel Hidalgo	543 062	406 868	352 640	372 889	
Milpa Alta	53 616	63 654	96 773	130 582	
Tláhuac	146 923	206 700	302 790	360 265	
Tlalpan	368 974	484 866	581 781	650 567	
Venustiano Carranza	692 896	519 628	462 806	430 978	
Xochimilco	217 481	271 151	369 787	415 007	

I.1 ANTECEDENTES

Los sismos son, como ya se mencionó, eventos que amenazan constantemente a la República Mexicana y, por las características del suelo de la Ciudad de México existen amplificaciones de las intensidades de dichos eventos en función de la zona de la ciudad, hasta 100 veces en la zona de lomas (Singh, et al., 1988). En particular, han ocurrido dos eventos de magnitud tal, que los daños ocasionaron grandes pérdidas humanas y económicas: el sismo de 1957 y el sismo de 1985.

I.1.1 EL SISMO DE 1957

El 28 de julio de 1957 ocurrió un sismo, conocido como “el sismo del Ángel”, que se originó en la costa del Pacífico y que generó daños importantes en la Ciudad de México, aunque, debido a la falta de registros no fue posible hacer estudios formales del sismo. A pesar de eso,

algunos autores llegaron a conclusiones referentes a la amplificación de las ondas sísmicas en terreno blando (Rosenblueth, 1958).

La magnitud calculada del sismo fue de 7.5 en la escala de Richter, con un valor de VII en la escala de Mercalli modificada. Su epicentro estuvo localizado en las coordenadas 16°21'N y 99°13'W, al sur de Acapulco.

Se estima que el total de muertes, en todo el país, ascendió a 50 además, las pérdidas en propiedades particulares como gubernamentales fueron de alrededor de un mil millones de pesos. De esas cantidades, 39 muertes, 5 colapsos parciales y 4 colapsos totales. ocurrieron sólo en la Ciudad de México (Orozco & Reinoso, 2007)

Como consecuencia de este sismo, se emitieron las Normas de Emergencia donde se incluyó la división de la Ciudad de México en tres zonas sísmicas: lago, transición y lomas (Departamento del Distrito Federal, 1985).

I.I.II EL SISMO DE 1985

En la mañana del 19 de septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1 grados en la escala de Richter, se originó en las costas de Michoacán en una extensión de 50 por 170 kilómetros a unos 18 kilómetros de profundidad (Rosenblueth, et al., 1992). Es el sismo que más daños ha producido en nuestro país afectando ciudades como Zihuatanejo, Lázaro Cárdenas o Ciudad Guzmán, siendo la Ciudad de México la más perjudicada.

Oficialmente, el Comité Metropolitano para Emergencias (Secretaría General de Obras, DDF, 1988), reportó las siguientes cifras: 4,287 muertos (aunque se estima que fueron muchas más), 5,748 heridos de gravedad, 10,188 con heridas leves y 22,669 personas afectadas psicológicamente. Se rescataron 4,096 personas vivas de entre los escombros de los edificios. En ese mismo reporte se indican 5,728 edificios dañados o destruidos, de los cuales, el 15% se colapsaron en forma parcial o total, 38% sufrieron daño estructural y 47% no sufrieron daño. En estos datos no se incluyen las estructuras que fueron dañadas y reparadas por sus propietarios sin dar aviso al gobierno.

I.II MOTIVACIÓN

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión, partiendo de nuevas investigaciones, de todos los reportes de daños ocurridos en la Ciudad de México con el agregado de los aportes que investigaciones en ingeniería sísmica, así como las nuevas tecnologías, hacen a este tipo de estudios, de tal forma que su análisis permita generar información para tomar decisiones para mitigarlos, pues sabemos que el peligro sísmico está en función de la probabilidad de ocurrencia de un sismo de determinada magnitud, cosa que está fuera del alcance del ingeniero disminuir; también está en función de la respuesta que tendrán las estructuras expuestas durante el evento y es ahí, donde las decisiones pueden ser tomadas. La ingeniería estructural debe estar enfocada en disminuir la vulnerabilidad de las construcciones mediante mejoras en los sistemas constructivos, el uso de herramientas avanzadas para el análisis de las estructuras o el uso de tecnologías innovadoras para disipar la energía sísmica, todo esto a partir de entender bien el problema mediante el correcto análisis y manejo de la poca información disponible que se ha registrado después de un sismo.

I.III CONTENIDO DEL TRABAJO

En los siguientes capítulos, se presentará la recopilación de diversos reportes que incluyen la información de edificios dañados después del sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México. Posteriormente, se hará una comparación entre ellos para corregir, ampliar o verificar los datos que contienen, de tal forma que se pueda crear una base de datos que consideremos correcta y susceptible de un análisis estadístico. Además, se le incluirá información que, con los avances en el conocimiento de ingeniería sísmica, permitan complementarla y así tener un mejor panorama de lo sucedido durante el sismo. Con esos datos se alimentará un sistema de información geográfica, que estará disponible para el público en general, donde se presentará, de forma resumida, la información de la base de datos. También, se realizará un análisis estadístico, donde se presentarán tendencias que permitan comprender cómo fue que respondieron las estructuras, según su uso, sistema estructural, número de niveles y correlacionarlo con su ubicación dentro de la ciudad. Finalmente, se presentará una discusión sobre la ayuda que puede representar el uso un sistema de información geográfica en futuros eventos catastróficos considerando que el tiempo que toma almacenar y analizar la información es mucho menor comparado con lo que tomó realizar algunos de los estudios que

se presentarán en este trabajo, con el añadido de que la información puede ser de acceso público y las aportaciones de otros ingenieros y especialistas puede ser más eficiente y de forma integral.

Capítulo II REVISIÓN DE LOS INFORMES DE LOS DAÑOS EN SISMOS

El propósito de este capítulo es hacer una revisión de los informes que se generaron después del sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México, pues, debido a la magnitud de daños que provocó, es el que más información ha generado. Para poder hacer dicha revisión primero se realizó una recopilación de los documentos existentes para poder generar una base de datos, de tal forma que sirva como punto de partida para estudios posteriores y análisis estadísticos que permitan entender, bajo una perspectiva actual, lo que pasó en el sismo y que acciones se deberían tomar para evitar la misma cantidad de daños en eventos futuros.

II.1 REPORTE DEL *EARTHQUAKE ENGINEERING FIELD INVESTIGATION TEAM* (EEFIT)

El reporte (Earthquake Engineering Field Investigation Team, 1986) generado por el equipo de investigación de campo del *Institute of Structural Engineers* de Londres, Inglaterra,

estuvo en la Ciudad de México 12 días después de que ocurrió el sismo para registrar la ubicación de las estructuras que habían tenido daños importantes (ver Figura II.1).

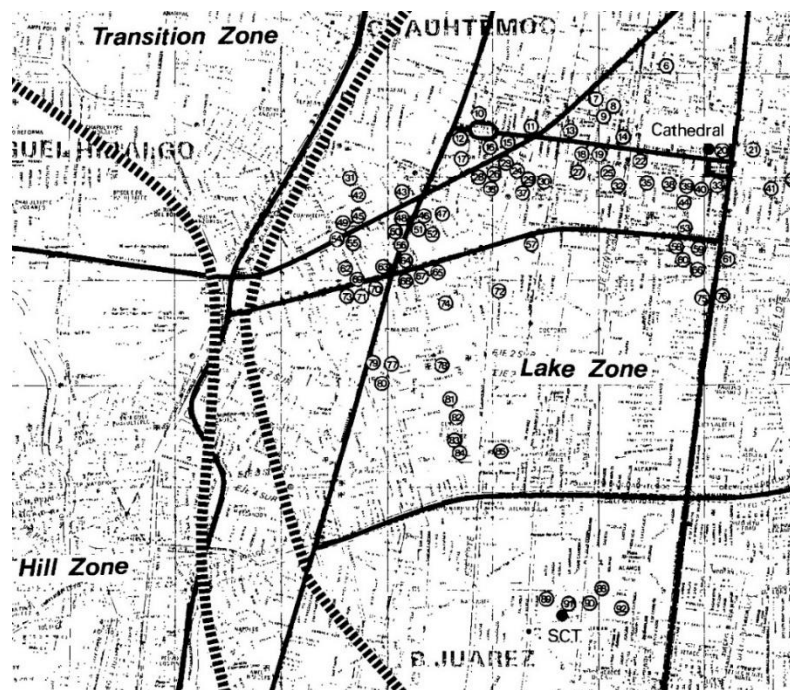


Figura II.1 Detalle del mapa de ubicación de los edificios registrados por el EEFIT

II.1.1 EFECTOS DEL SISMO EN SUPERESTRUCTURAS

En general se observó que la mayoría de los edificios, de mediana y gran altura, eran de concreto reforzado, muchos de ellos de mampostería en las crujías, pero los muros de rigidez no eran el principal elemento sismo-resistente. Existieron también algunos edificios de estructura metálica y muchos tenían conexiones hechas con remaches. Los edificios de mampostería, a menudo de baja calidad, eran de baja altura o son monumentos históricos como iglesias o teatros.

Los principales modos de falla observados en edificios de concreto reforzado fueron los siguientes:

1. Falla por penetración de las columnas en la losa, tanto en edificios antiguos como en edificios modernos
2. Colapso de niveles intermedios. En algunos casos estuvo asociado al golpeteo de edificios adyacentes, aunque también se observó en edificios aislados en cuyo caso pudo haber sido provocado por penetración de columnas en la losa
3. Falla de entrepiso débil.
4. Colapso total.

5. Golpeteo entre edificios. Daños en los puntos de contacto fueron ampliamente observados

Es importante mencionar que el EEFIT no hizo diferencia en el sistema estructural empleado en los edificios de concreto reforzado, incluyendo los datos de marcos estructurales y de losas planas en una misma categoría.

También se encontraron edificios de concreto reforzado, rigidizados con contravientos distribuidos en forma de "X". Normalmente estas crujías se rellenan con mampostería no reforzada. A pesar de que se observaron daños en este tipo de edificios, el único que se registró como colapsado fue el Edificio Nuevo León, localizado en el Conjunto Urbano Nonoalco Tlatelolco.

II.1.1.11 METODOLOGÍA Y ESTADÍSTICAS OBTENIDAS

Según se indica, los objetivos del reporte fueron:

1. Definir la naturaleza y distribución de los daños categorizándolos por sistema estructural
2. Determinar, tan preciso como sea posible, los factores que intervinieron en dicha distribución de los daños
3. Examinar la vulnerabilidad de los diferentes tipos de sistemas estructurales usados en los edificios de la época al tipo de movimiento experimentado durante el sismo

Se hizo un recorrido detallado de la zona delimitada en el mapa de la Figura II.2

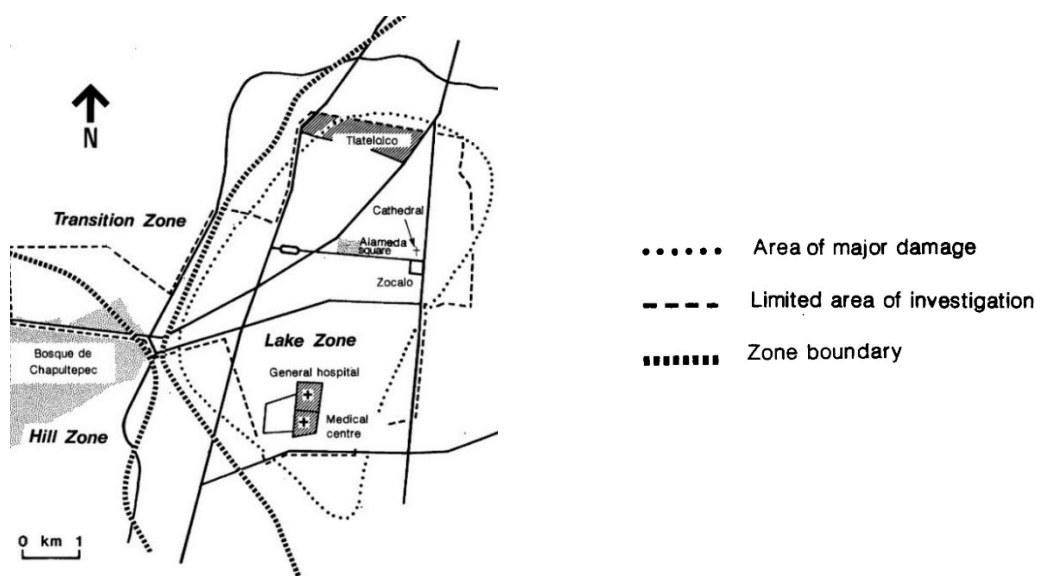


Figura II.2 Mapa general de la zona de estudio del EEFIT

Algunas de las observaciones que se hicieron son que las peores zonas de daño fueron también las que más afectaciones tuvieron después del sismo de 1957 (ver Figura II.3).

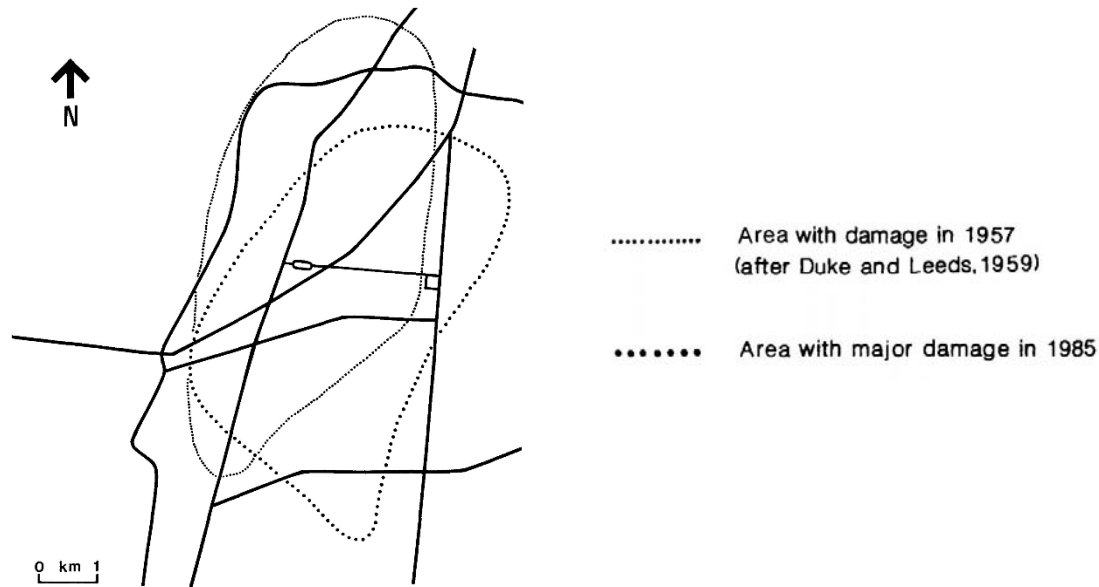


Figura II.3 Comparación de las áreas dañadas en la Ciudad de México después de los sismos de 1957 y de 1985

El reporte también indica que el área donde se buscaron daños se extendió, de forma deliberada, hacia el oeste, de tal forma que se tocaran las zonas de transición y de lomas, para identificar qué tanto influyó el tipo de suelo en el nivel de daños. Con estas consideraciones se documentaron la mayor cantidad posible de edificios dañados, señalando el sistema estructural y el número de niveles de cada uno, asignándole una categoría cualitativa de daño: colapso total, colapso parcial, daño grave, daño moderado y daño leve. La catalogación de los daños fue realizada por el mismo investigador, el Ing. Edmund Booth de Ove Arup & Partners, Consulting Engineers, de tal forma que se tuviera el mismo criterio para todos los edificios.

Un dato importante que menciona el estudio es que de los 575 edificios catalogados dentro de "daño leve" sólo 11 se localizan fuera de la zona de lago, mientras que, para los niveles de daño superiores, ningún edificio estuvo fuera de esta zona (ver Figura II.4 y Figura II.5).

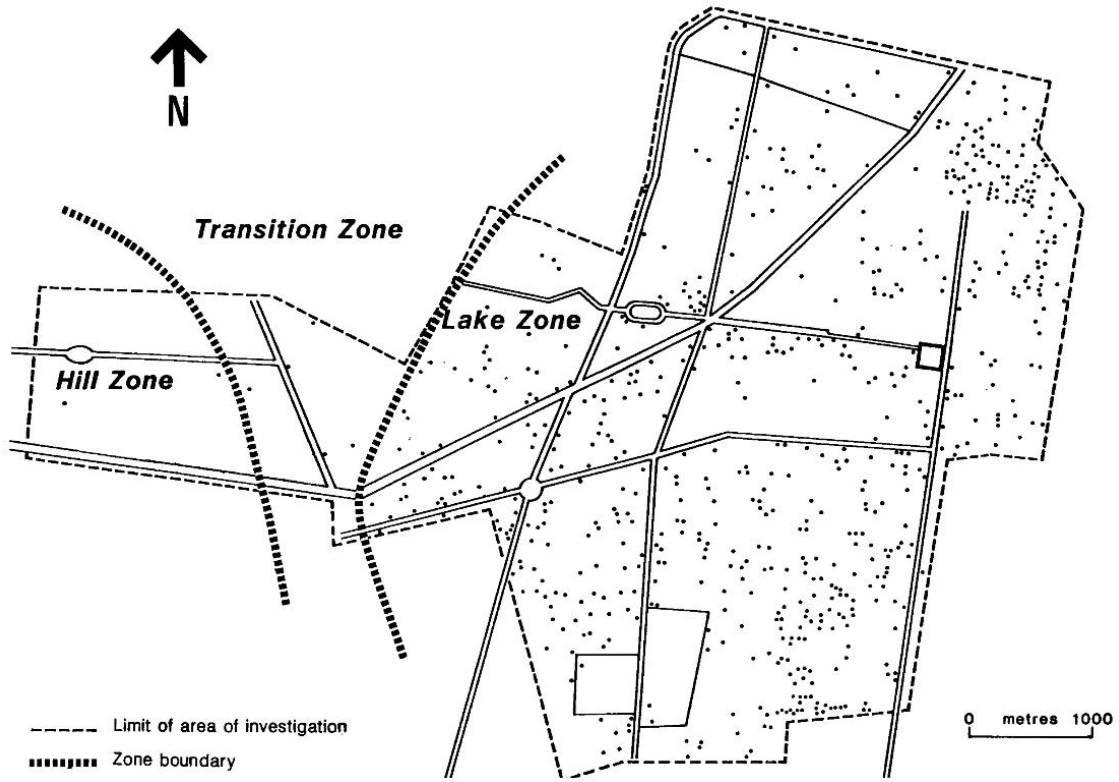


Figura II.4 Edificios catalogados con Daño Leve

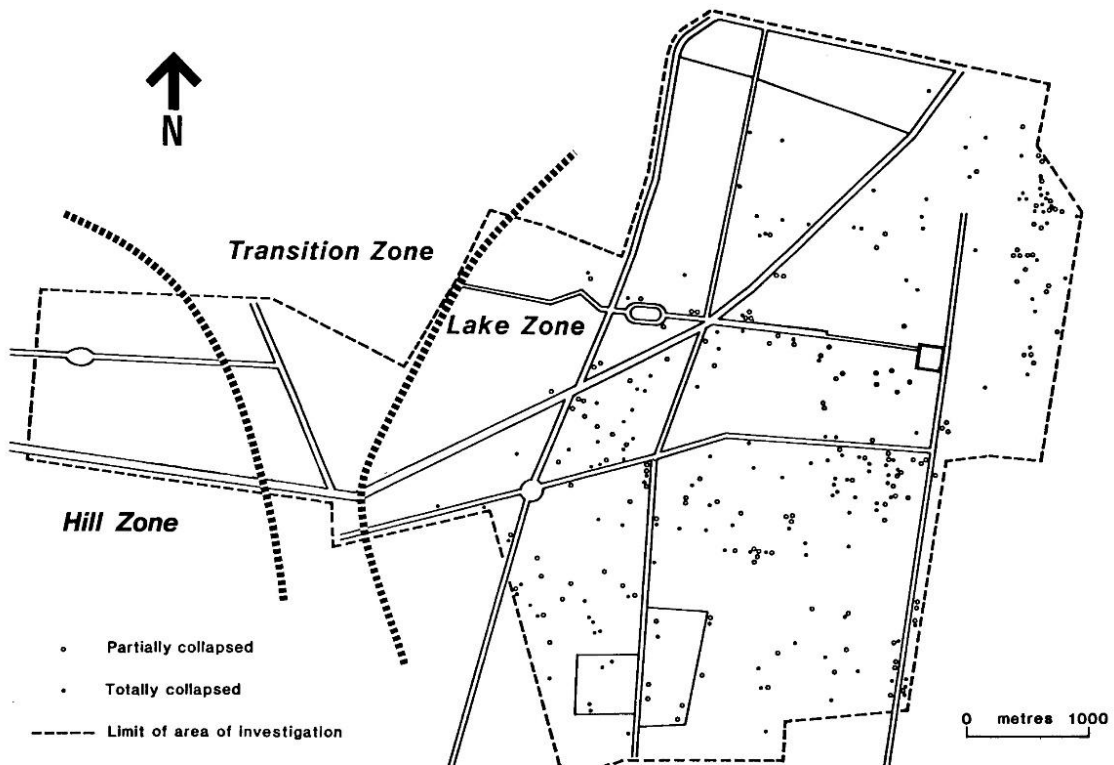


Figura II.5 Edificios catalogados como Colapso Parcial o Colapso Total

La estadística de todos los edificios dañados está resumida en la Tabla II.1, excepto los correspondientes a Colapso Total, pues no era posible identificar, con certeza, el número de niveles.

Tabla II.1 Clasificación de edificios dañados por categoría, sistema estructural y número de niveles

Sistema estructural	Nivel de daño	Número de niveles							
		<3	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	>20
Estructuras de concreto	Colapso parcial	7	15	29	16	5	5	-	-
	Grave	3	35	50	50	31	10	2	-
	Moderado	13	42	77	41	24	14	5	2
	Leve	20	76	84	36	11	8	5	7
	Total	43	168	240	143	71	37	12	9
Muros de mampostería de tabique	Colapso parcial	46	9	-					
	Grave	62	21	1					
	Moderado	129	40	2					
	Leve	219	80	2					
	Total	456	150	5					
Muros de mampostería de roca	Colapso parcial	1	-						
	Grave	4	-						
	Moderado	3	1						
	Leve	16	5						
	Total	24	6						
Marcos de acero	Colapso parcial	3	-	-	-	-			
	Grave	2	-	-	-	3			
	Moderado	-	1	-	1	-			
	Leve	1	5	-	1	-			
	Total	6	6	0	2	3			

Para determinar a detalle el desempeño de los diferentes sistemas estructurales durante el sismo sería necesario comparar el daño observado contra un inventario de todos los edificios en la zona de estudio, cosa que no fue posible obtener, por lo que se realizó un sistema de muestreo en cinco ejes (*transect*) diferentes, los cuales se muestran en la Figura II.6.

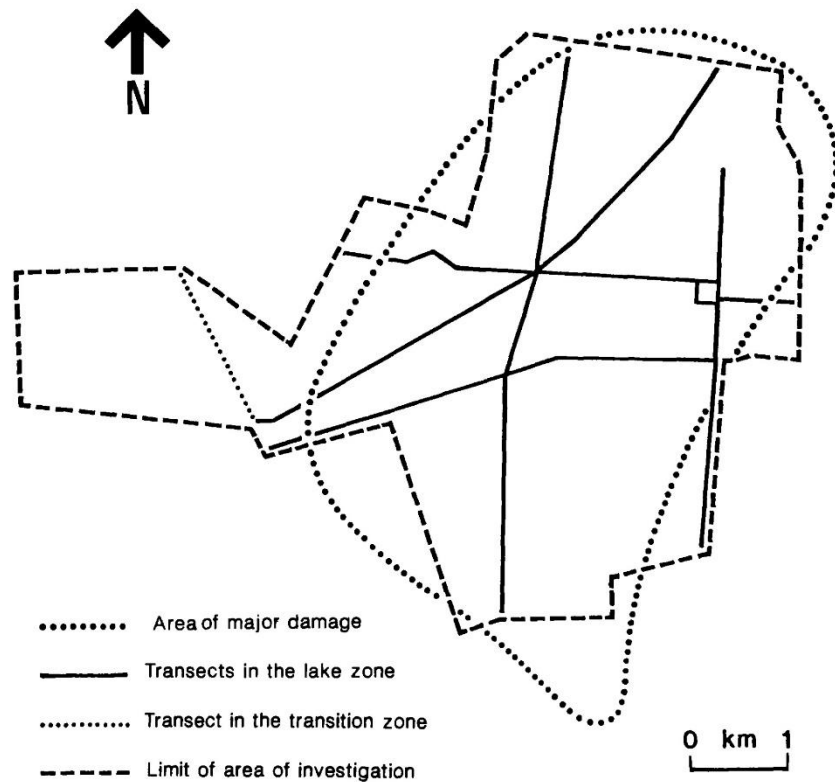


Figura II.6 Zonas y ejes de estudio (transect)

Para cada uno de los ejes de estudio se registró la información siguiente: sistema estructural, número de niveles y si se dañó o no (sin asignar nivel de daño). Después se graficaron los resultados del porcentaje de daño por sistema estructural para intervalos de altura específicos. La Figura II.6 ilustra claramente que existen diferencias importantes en el porcentaje de edificios dañados con la misma altura, pero con distinto sistema estructural, particularmente para edificios de concreto de entre 9 a 11 niveles, que fueron los más vulnerables.

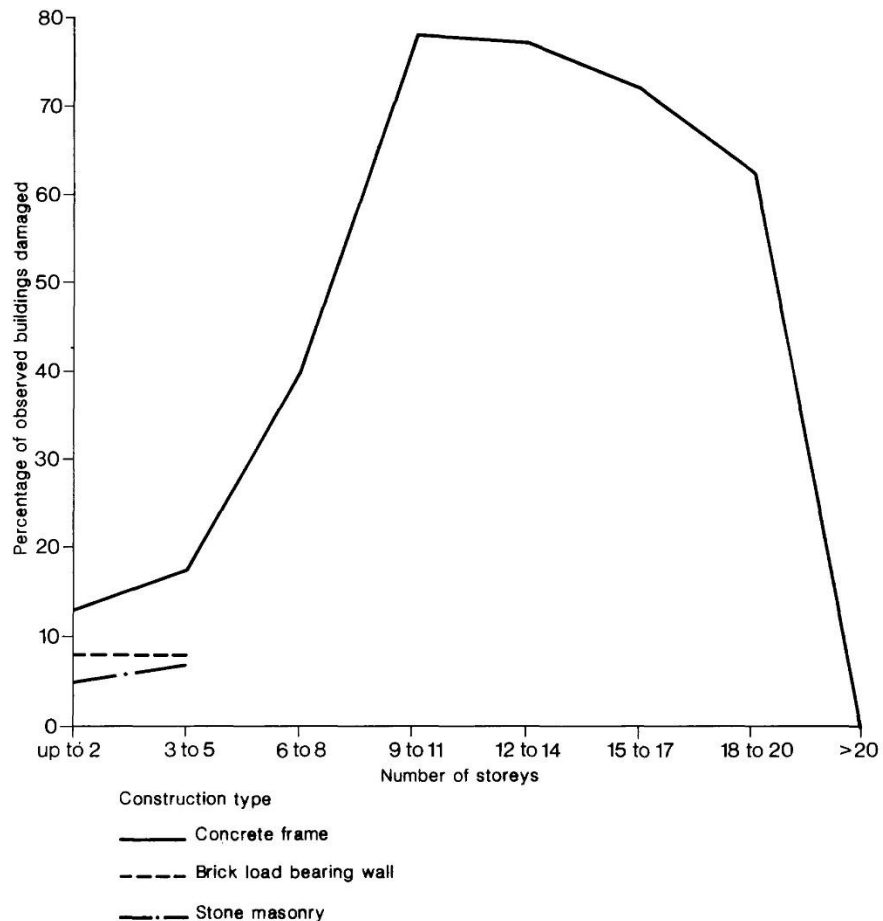


Figura II.7 Relación del porcentaje de edificios dañados entre el total de edificios observados contra número de pisos

II.1.1.111 COMPORTAMIENTO DE LAS CIMENTACIONES DURANTE EL SISMO

Debido a lo complejo de las condiciones del suelo y los distintos tipos de sistemas estructurales usados en la Ciudad de México, se usan varios tipos de cimentaciones que fueron catalogados, según el reporte, de la siguiente forma:

- Zapatas aisladas. Usadas principalmente para edificios de baja altura
- Losa de cimentación. Rigidizadas con vigas peraltadas, se usan para formar cajones que compensen el peso de suelo retirado en la excavación y así poder disminuir los asentamientos
- Pilotes. Usadas para diversos tipos de estructuras, normalmente de madera o de concreto prefabricado.

Para la mayoría de los edificios no hubo evidencia de fallas en la cimentación, y en los casos en los que sí hubo daños se podía observar que la superestructura no era afectada. Los daños registrados fueron:

- a) Emersión. En edificios con pilotes se encontraron signos de emersión después del sismo, esto en valores menores a 100 milímetros y que se cree pudieron haber ocurrido independientemente del sismo, debido al hundimiento regional.
- b) Asentamientos. Muchos edificios presentaron asentamientos que produjeron desplome en las estructuras. Se identificó que este tipo de daño aparecía principalmente en edificios antiguos.



Figura II.8 Ejemplo de un edificio dañado por asentamientos

- c) Falla. Sólo se registró un caso de falla de la cimentación que consistió en una falla por capacidad de carga en la losa de cimentación, desplantada a 3 metros de profundidad.



Figura II.9 Falla de cimentación

II.II REPORTE DE INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS

Este reporte está publicado en el *journal* de la *American Asociation of Civil Engineers* realizado en la Ciudad de México en 1986 (Borja-Navarrete, et al., 1985)

Se indica que existían seis tipos básicos de estructuras en la Ciudad de México:

1. Estructuras antiguas con muros de mampostería muy anchos y sistema de piso con vigas de acero o de madera soportando tabiques, duela o bóvedas de piedra.
2. Muros de mampostería con muros más esbeltos confinados por elementos de concreto reforzado y sistemas de piso también de concreto reforzado. Este sistema, como el anterior, es usado para vivienda con un máximo de 6 a 8 niveles
3. Marcos con losas macizas
4. Losas planas tipo nervadas (*waffle*)
5. Sistemas con elementos de rigidez adicional como muros o contravientos

También señala que, de todos los sistemas estructurales mencionados, el concreto reforzado fue el material que más daño tuvo. Muy pocas estructuras de acero sufrieron daños, debido, principalmente, a que este material se usa en edificios altos cuya respuesta dinámica fue mínima debido a que sus periodos eran mucho mayores que los del suelo, de hecho, sólo se registró un edificio de acero (de 21 niveles) que se colapsó, cuyo periodo se midió en 2 segundos, por lo que el daño se atribuye a un problema de resonancia.

Los principales daños en elementos de concreto fueron fisuras diagonales en vigas, columnas y muros debidas a fallas por cortante, pérdida de material en columnas debido a la combinación de compresión y flexión. También hubo muchas fallas en losas planas por penetración de la columna en el sistema de piso.

Para poder hacer una evaluación rápida de los daños después del sismo, se hizo un levantamiento fotográfico aéreo que permitió definir un área de 43 km^2 , delimitados por Circuito Interior al noroeste, Avenida Eugenia y División del Norte al sur y, al este, Calzada de la Viga. Esta zona después fue subdividida en diez sectores. Es importante mencionar que, en ese entonces, el área metropolitana tenía un área aproximada de 1 100 kilómetros cuadrados.

Para una primera evaluación, se establecieron tres tipos de daños: colapso total, colapso parcial y daño grave. En la Tabla II.2 se muestra, para cada sector, el número de construcciones que corresponde a cada uno de los niveles de daño. Mientras que en la Tabla II.3 se muestra, también para cada sector, el número de edificios dañados contra el número de edificios existentes, asociado a la altura del edificio.

Tabla II.2 Número de edificios dañados, por sector

Nivel de daño	Sector										Suma	Porcentaje
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Colapso total	24	24	20	48	3	5	1	-	1	7	133	18%
Colapso parcial	59	102	106	41	6	28	-	4	2	5	353	47%
Daño grave	31	39	99	57	3	21	1	-	2	18	271	36%
Suma	114	165	225	146	12	54	2	4	5	30	757	100%

Tabla II.3 Número de edificios dañados y edificios existentes, por sector

Número de niveles	Sector										Suma	Porcentaje	Edificios existentes	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			Suma	Porcentaje
<3	13	111	128	35	1	44	-	2	-	12	346	46%	37484	1%
3-5	30	24	61	44	5	8	-	1	-	6	179	24%	13498	1%
6-8	38	18	18	47	3	2	-	1	1	8	136	18%	1616	8%
9-12	26	6	12	18	3	-	-	-	3	4	72	10%	531	14%
<12	7	6	6	2	-	-	2	-	1	-	24	3%	229	10%
Suma	114	165	225	146	12	54	2	4	5	30	757	100%	53358	1%

Finalmente, se registraron los edificios dañados, según su uso, de donde se observa que la mayoría eran construcciones de uso habitacional (Tabla II.4):

Tabla II.4 Edificios dañados catalogados según su uso (continúa...)

Uso	Sector										Suma	Porcentaje
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Casa	4	37	30	26	14	8	119	16%	55%			
Edificio habitacional	23	72	93	64	5	21	2	1	5	9	295	39%

Tabla II.5 Edificios dañados catalogados según su uso (continuación)

Uso	Sector										Suma	Porcentaje	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Edificio público	16	12	20	8		3				6	65	9%	
Edificio privado	49	17	48	35	5	10		3		6	173	23%	
Hospital			11								11	1%	
Escuela	2	1	9	5		1					18	2%	
Banco	7		3								10	1%	45%
Religioso		1		1		1					3	0%	
Hotel	5		3	1	2						11	1%	
Fábrica	1	25	6	3		3				1	39	5%	
Teatro	1		1	3		1					6	1%	
Centros de reunión	6		1								7	1%	
Suma	114	165	225	146	12	54	2	4	5	30	757	100%	100%

II.III REPORTE DE LA COORDINACIÓN DE CONTROL DE EDIFICACIONES

Este documento (Coordinación de Control de Edificaciones, 1988) actualmente está en posesión del Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal (iSCDF) pero fue elaborado, en su momento, por la Coordinación de Control de Edificaciones, quien a su vez convocó a varios ingenieros que revisaron los inmuebles de más de cuatro niveles y de uso público. En total se revisaron 1658 de los cuales, después de las inspecciones, tuvieron que ser demolidos en su totalidad, demolidos parcialmente o ser reforzados.

Se presenta la información para cada uno de los edificios, asignando primero la dirección del inmueble (calle, entrecalle, colonia y delegación), posteriormente se definen las características del edificio (uso, número de niveles, régimen privado o gobierno, nombre del propietario y domicilio del propietario), también se incluye información respecto al sismo (tipo de daño, nombre del perito que realizó la inspección, fecha de autorización y fecha de liberación, así como la persona encargada de las obras de inspección), finalmente se presenta una sección donde se incluyen observaciones que indican el estatus de los trabajos de refuerzo o demolición del inmueble, según lo indicado en el peritaje.

Al ser un documento realizado por una institución de gobierno, su objetivo fue que un especialista determinara si la permanencia o no de la estructura dañada pondría en riesgo la vida de las personas que lo utilizaran o que generara daños a inmuebles vecinos. Esta

información se presenta de forma breve, para llevar un control de cuál fue la acción tomada para cada edificio revisado (reparación, demolición por parte del gobierno o demolición a cargo del propietario).

II.IV REPORTE DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de sus organismos especializados: el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HABITAT) y el PNUD realizaron un trabajo (Secretaría General de Obras, DDF, 1988), en conjunto con el Gobierno del Distrito Federal, para contemplar acciones que permitieran generar información útil para tomar medidas para la Ciudad de México.

El trabajo fue encomendado a la Fundación Javier Barrios Sierra, A.C. quien a su vez solicitó a diversos especialistas (mencionados en cada capítulo del documento), la elaboración de determinada porción de la investigación.

El objetivo del proyecto fue establecer bases empíricas y metodológicas para incorporar conceptos de peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en reglamentos, así como en el proceso de la planeación urbana. Las actividades realizadas para lograr el objetivo fueron el análisis del peligro sísmico, la evaluación de la vulnerabilidad de elementos físicos del Centro Histórico y la preparación de un plan de desarrollo del Centro Histórico.

El área de estudio se determinó considerando diversos factores como el tiempo y el presupuesto asignado al proyecto, por lo que se buscó que fuera una zona de riesgo sísmico alto, comparado con otras zonas en la Ciudad de México, considerando que fuera, además, representativa de los tipos de edificaciones en el resto de la ciudad. Por estas razones se consideró sólo el Centro Histórico para el estudio y comprende 245 manzanas. Es importante mencionar que la zona descansa sobre una zona que antes era un lago, por lo que está conformada por capas de depósitos de arcilla blanda. En esta zona encontramos varios tipos de construcción, desde edificios antiguos hasta rascacielos, de igual forma, existe una variedad de actividades económicas que resultan en varios tipos de uso de suelo (comercios, instituciones financieras, oficinas públicas y privadas, vivienda y zonas de esparcimiento). En el sistema de

transporte también se encuentran muchos tipos de vías, siendo las autopistas urbanas o de acceso controlado, las únicas que no están presentes

Una vez descritas los objetivos y alcances que se determinaron en este reporte, se presenta el contenido:

1. Naturaleza del peligro sísmico. Incluye un trabajo introductorio sobre el potencial sísmico que puede afectar el área metropolitana y los trabajos de recolección y depuración de datos geológicos, geofísicos y geotécnicos.
2. Medición del peligro sísmico. Contiene una descripción de las redes existentes de instrumentación para la medición de actividad telúrica, un catálogo de los sismos severos y una metodología para la evaluación de sismicidad.
3. Efectos del riesgo sísmico en el Valle de México. Describe la evolución del sistema de asentamientos humanos en el valle, los sismos que han afectado a la ciudad a través del tiempo y un resumen de los daños causados por los últimos tres terremotos.

En el presente trabajo se presentará la información contenida exclusivamente en el contenido del Capítulo III de la 3ª parte del documento (cuyos autores son Jesús Iglesias y Jorge Aguilar): Identificación de daños ocasionados por sismos de 1985, 1979 y 1957 en la zona metropolitana. En esta sección se muestra la información recopilada de daños causados en los tres sismos mencionados. Se tiene como fuentes el reporte del Instituto de Ingeniería de la UNAM, presentado en la Sección II.IV, un reporte de la UAM con 332 expedientes catalogados por investigadores del Departamento de Materiales y el registro de 116 inmuebles que, en el momento en que se hizo el levantamiento de los datos se encontraban en proceso de reparación. A partir de esa información, se generó una base de datos detallada de edificios dañados con 619 estructuras, registrando los datos que aparecen en la Tabla II.6 para cada inmueble.

Adicionalmente, se realizó una base de datos general a partir de información obtenida del Departamento del Distrito Federal y mediante levantamiento de información en sitio, obteniendo así registros de 5177 inmuebles donde se presentan datos como dirección, número de niveles y nivel de daño. En el reporte se menciona que la información contenida en la base de datos general no es muy confiable, por lo que sólo se presentará la información de la base de datos detallada.

Tabla II.6 Campos de datos para la base de datos detallada 1985

Campo	Información	Campo	Información
CALLE	Calle	PENETRA	Penetración en capiteles
NÚMERO	Número	CARGA	Exceso de carga
UBICACIÓN	Calles adyacentes	REP	Tipo de reparación
COLONIA	Colonia	RESA	Resane
DELEGACIÓN	Delegación	RESI	Inyección de resinas
CONS	Fecha de construcción	SMAT	Sustitución de materiales
NIV	No. De niveles	GATE	Recuperación de nivel con gateo
USO	Uso	ECOL	Encamisado de columnas de concreto
EST	Tipo de estructuración	EACOL	Encamisado de columnas con acero
CIM	Tipo de cimentación	EVIG	Encamisado de vigas con concreto
DANO	Grado de daño	EAVIG	Encamisado de vigas con acero
MODOF	Modo de falla	MRIG	Adición de muros de rigidez
ESQ	Torsión por ser esquina	MRE	Adición de muros de relleno
GOLP	Golpeteo con los vecinos	CMET	Adición de contraviento metálico
PBF	Planta baja flexible	MCON	Adición de marcos de concreto
IVER	Irregularidad vertical	ELAD	Otros elementos adicionales
IPLA	Irregularidad en planta	PIL	Colocación de nuevos pilotes
COLC	Columnas cortas	RCIM	Refuerzo de cimentación
DESP	Desplome	ENDE	Enderezado de la estructura
HUND	Hundimiento	DEPA	Demolición parcial
EMER	Emersión	DETO	Demolición total
DANP	Daño previo	DPRE	Daños en otros sismos
COEX	Conexiones excéntricas		

Con esta base de datos se generaron diversos mapas que permiten visualizar, de una forma más práctica, la localización de los edificios estudiados, así como las zonas donde se presentaron mayores daños.

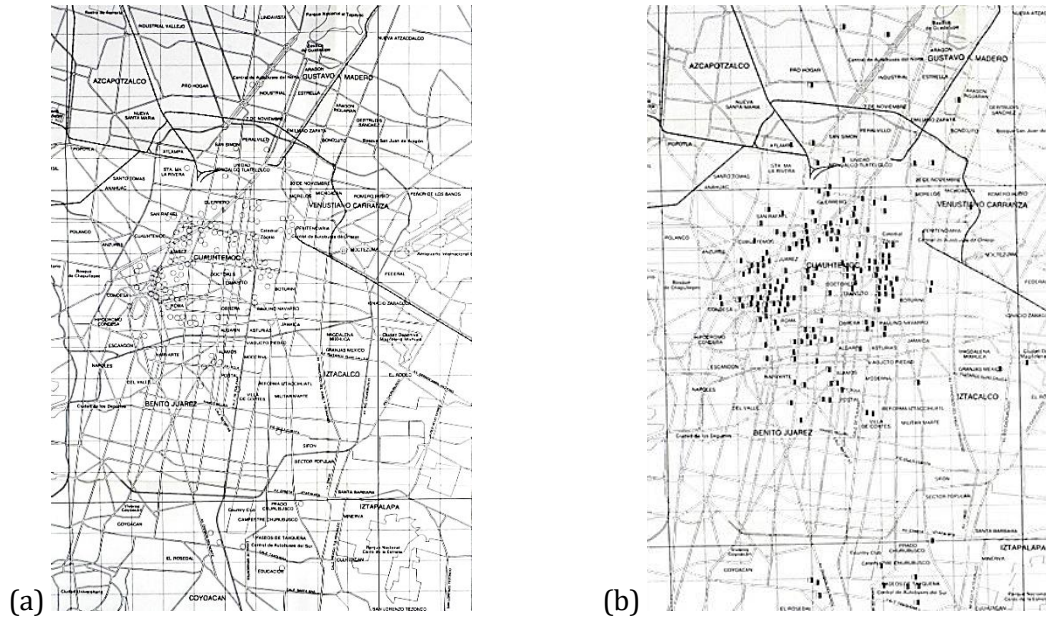


Figura II.10 Inmuebles afectados por el sismo

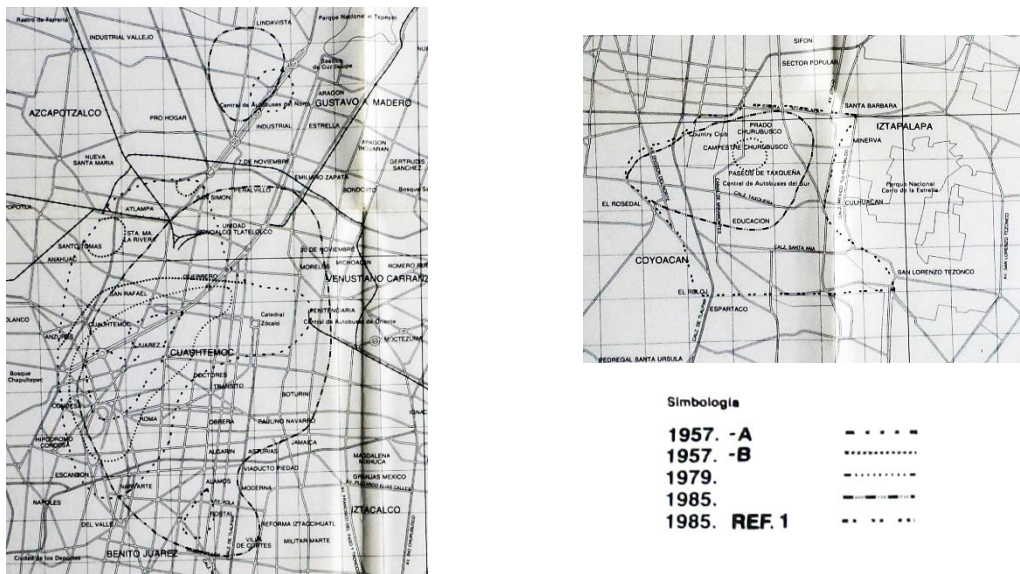


Figura II.11 Zonificación de daños ocasionados por los sismos de 1957,1979 y 1985

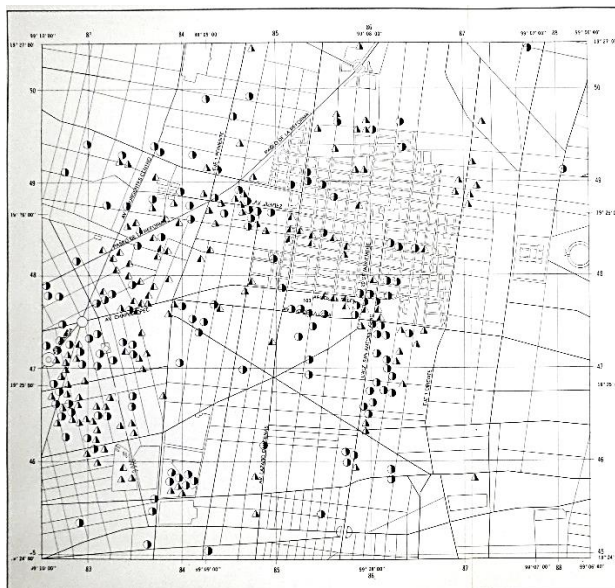


Figura II.12 Edificios dañados por el sismo de 1985 en el centro histórico

La Figura II.10a muestra los inmuebles colapsados del sismo, mientras que en la Figura II.10b, se presentan los que sufrieron daño grave. En el mapa de la Figura II.11 se indican las curvas envolventes que señalan las zonas de daños causados por los sismos de 1957, 1979 y 1985. Por último, en la Figura II.12, se presenta un detalle del centro histórico con las estructuras con daño grave y colapsos.

El trabajo finalmente presenta algunas conclusiones:

1. Alrededor del 30% de los edificios con daño grave o colapso tenían de más de ocho niveles y estaban localizados en la Delegación Cuauhtémoc.
2. El modo de falla principal involucraba a los elementos de sustentación (muros y columnas), sin importar el sistema estructural empleado.
3. La causa principal de daños fue la irregularidad en planta, incluyendo los efectos de esquina. El segundo motivo fue por problemas de planta baja débil, luego irregularidad en elevación y golpeteo con estructuras vecinas.
4. De los mapas de envoltura de daños (Figura II.12) se observa que las zonas suelen ser concéntricas, donde la curva que delimita al sismo de mayor magnitud incluye, en la misma área, a los sismos de menor magnitud. Esto conduce a la conclusión de que, en la Ciudad de México, existen zonas definidas por características locales en las que se presentan amplificaciones del movimiento del terreno, para los sismos con origen

en fenómenos de subducción en la costa del Pacífico, independientemente de la ubicación del epicentro.

II.V REPORTE DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

El reporte (Meli & Miranda, 1986) generado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM estuvo a cargo de Roberto Meli, mientras que la recopilación de los resultados estuvo a cargo de Eduardo Miranda. El documento está dividido en tres secciones:

1. Parte I. Contiene el informe que realizó el Instituto de Ingeniería y que fue difundido en noviembre de 1985. El Anexo C del reporte contiene los informes de los 330 edificios junto con fotografías y del cual se toma la información para la elaboración de la presente tesis.
2. Parte II. Contiene una evaluación detallada de edificios típicos, donde se analizaron 8 inmuebles dañados, de los cuales se realizó un levantamiento detallado de los daños, se recopiló también la información estructural que se considerara confiable (planos estructurales y construcción que estuviera acorde a ellos), se hizo la medición de periodos de vibración y una aplicación de métodos simplificados de análisis sísmicos
3. Parte III. En esta sección se hace un seguimiento de los edificios que fueron reportados como dañados en los sismos de 1957 y de 1972. Se hace una comparación de las características de los daños y se obtienen algunas conclusiones

Los daños de los edificios se catalogaron en 17 zonas (ver Figura II.13), y fueron registrados por brigadas de ingenieros que revisaron los edificios de los que se tenía noticias de daño asignando una clave formada por dicha zona, en número romano, seguido de un número consecutivo para cada uno. Se registraron los datos generales del edificio, como la ubicación por calle, colonia y delegación, así como el nombre del edificio, en caso de tenerlo, su fecha de construcción, el número de pisos y el sistema estructural. Para la clasificación de los daños primero se identificó la causa probable de daño, como irregularidades en planta o en elevación, ubicación en esquina o en cuña, golpeteo con edificios vecinos, etcétera. Posteriormente, se hizo una categorización cualitativa del nivel de daño, asignando, según lo observado, cada edificio a una de las siguientes categorías: colapso parcial, colapso total, grave, intermedio y menor.

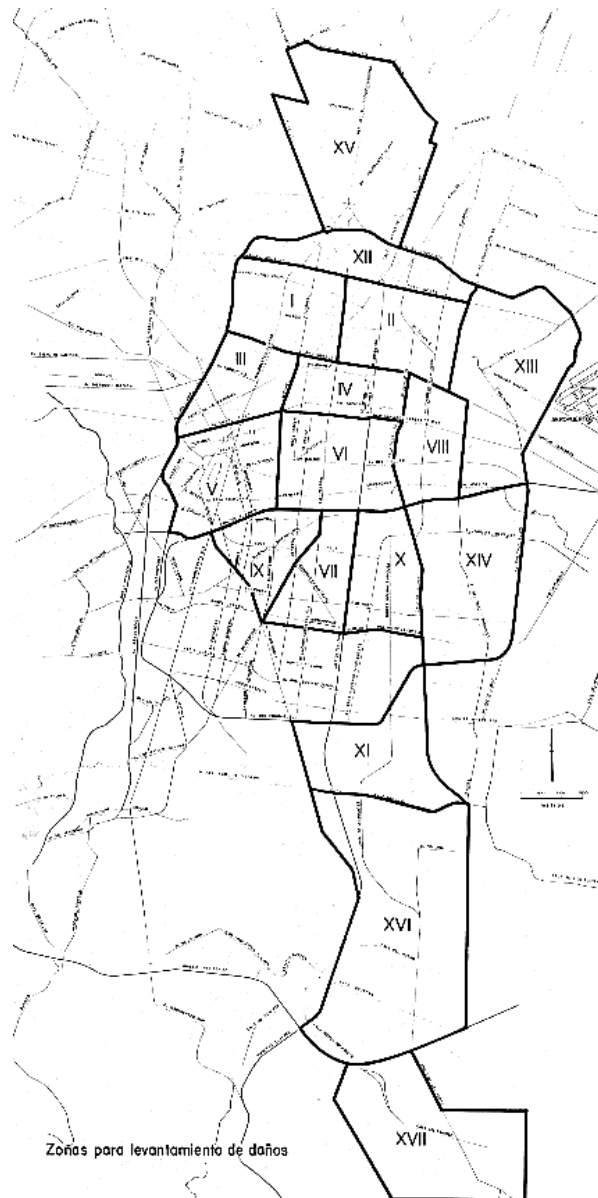


Figura II.13 Zonificación de la Ciudad de México para la ubicación de edificios dañados por el sismo

En el reporte se menciona que la mayor cantidad de edificios dañados fueron los de cinco niveles, a diferencia de las estructuras de menos niveles (representan la mayor cantidad de inmuebles en el área de mayor daño) y los edificios altos cuyos periodos no eran similares a los periodos del suelo.

ANEXO A. FORMA PARA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS	
I. Identificación del Edificio	
1.1 Dirección (incluye colonia)	_____
1.2 Nombre (de tenerlo)	_____
1.3 Función (oficina, deptos. etc.)	_____
1.4 Año de construcción (preguntar, o estimar)	_____
II. Descripción del Edificio	
2.1 Número de pisos	_____
2.2 Dimensiones en planta	_____
2.3 Croquis de planta(s)	_____
2.4 Particularidades (cambios de forma en planta o elevación, volados, parapetos, apéndices)	_____
III. Sistema Estructural	
3.1 Cimentación (preguntar, zapatas, losa corrida, pilotes)	_____
3.2 Sistema de soporte de cargas verticales (columnas de concreto o acero, muros de carga de mampostería o concreto)	_____
3.3 Sistema de piso (losa de concreto, losa reticular, prefabricado)	_____
3.4 Sistema resistente a carga lateral (marcos, muros de concreto o mampostería, contraventeos, combinaciones, otros)	_____
IV Clasificación del Daño	
No estructural-Nulo	_____
Ligero	_____
Sustancial	_____
Elevado	_____
Estructural Nulo	_____
Ligero	_____
Intermedio	_____
Grave	_____
Colapso	_____

Figura II.14 Hoja de evaluación usada por las brigadas para el levantamiento de datos

En la Tabla II.7 se muestra, de forma resumida, la información recopilada, clasificando sólo los edificios que tuvieron colapsos o daño grave, ubicándolos en las 17 zonas estudiadas, y estableciendo tres categorías: número de niveles, cinco tipos de sistemas estructurales y, finalmente, la edad del edificio (haciendo distinción en la fecha de construcción con respecto al reglamento de construcción vigente en esa época, es decir, antes de 1957 se puede considerar que no existía reglamentación sísmica, entre 1958 y 1976 estuvieron efectivas las normas de emergencia y una posterior revisión que fue la vigente para los edificios que sufrieron el sismo de 1985). En la tabla ya mencionada se pueden encontrar grandes diferencias en los resultados debido, principalmente, a la gran diversidad de tipos de construcción prevalecientes en cada zona, por tal motivo se generó la Tabla II.8 que presenta la información de daños sin tomar en cuenta la zona donde estaba localizada la estructura.

En la revisión se encontró que el 1% de las edificaciones de menos de cinco pisos resultaron dañadas, mientras que, para los edificios de mayor altura, se encontró daño en el 10% de las estructuras revisadas (53 356 edificios).

Tabla II.7 Clasificación de edificios por su nivel de daño y número de pisos

Zona	Tipo de daño	Número de pisos				Tipo de construcción					Edad de construcción			Total
		≤5	6-10	11-15	>15	Marco de concreto	Marco de acero	Losa reticular	Mampostería	Otro	<1957	1957-1976	>1976	
I	Colapso	5	3	1	0	3	0	2	1	3	2	3	4	9
	Grave	3	3	1	0	0	0	3	1	3	2	5	0	7
	Total	8	6	2	0	3	0	5	2	6	4	8	4	16
II	Colapso	8	7	0	0	6	0	7	1	1	6	9	0	15
	Grave	3	3	0	0	5	0	0	1	0	2	4	0	6
	Total	11	10	0	0	11	0	7	2	1	8	13	0	21
III	Colapso	9	20	4	0	18	0	10	3	2	16	13	4	33
	Grave	4	9	3	1	9	1	5	1	1	4	8	5	17
	Total	13	29	7	1	27	1	15	4	3	20	21	9	50
IV	Colapso	14	21	4	3	14	10	16	0	2	18	22	2	42
	Grave	0	7	5	0	6	0	6	0	0	4	6	2	12
	Total	14	28	9	3	20	10	22	0	2	22	28	4	54
V	Colapso	27	17	2	0	25	0	16	4	1	5	37	4	46
	Grave	0	14	2	0	4	0	11	0	1	2	7	7	16
	Total	27	31	4	0	29	0	27	4	2	7	44	11	62

Tabla II.7 Clasificación de edificios por su nivel de daño y número de pisos

Zona	Tipo de daño	Número de pisos				Tipo de construcción					Edad de construcción			Total
		≤5	6-10	11-15	>15	Marco de concreto	Marco de acero	Losa reticular	Mampostería	Otro	<1957	1957-1976	>1976	
VI	Colapso	13	23	3	1	12	0	22	2	4	4	30	6	40
	Grave	13	14	8	1	13	1	11	11	0	10	19	7	36
	Total	26	37	11	2	25	1	33	13	4	14	49	13	76
VII	Colapso	1	5	0	0	1	0	5	0	0	0	6	0	6
	Grave	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
	Total	1	6	0	0	1	0	6	0	0	0	7	0	7
VIII	Colapso	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	Grave	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	3
	Total	3	1	0	0	0	0	1	3	0	3	0	1	4
IX	Colapso	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3
	Grave	4	2	0	0	0	0	4	2	0	2	2	2	6
	Total	4	5	0	0	0	0	7	2	0	2	2	5	9
X	Colapso	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	Grave	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
	Total	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	2

Tabla II.7 Clasificación de edificios por su nivel de daño y número de pisos

Zona	Tipo de daño	Número de pisos				Tipo de construcción					Edad de construcción			Total
		≤5	6-10	11-15	>15	Marco de concreto	Marco de acero	Losa reticular	Mampostería	Otro	<1957	1957-1976	>1976	
XI	Colapso	4	2	0	0	0	0	5	1	0	0	4	2	6
	Grave	1	2	1	0	2	0	2	0	0	0	1	3	4
	Total	5	4	1	0	2	0	7	1	0	0	5	5	10
XII	Colapso	2	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	3
	Grave	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	Total	2	2	0	0	0	0	2	0	2	1	2	1	4
XIII	Colapso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Grave	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2
	Total	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2
XIV	Colapso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Grave	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
	Total	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
XV	Colapso	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2
	Grave	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
	Total	2	1	0	0	2	0	1	0	0	0	3	0	3

Tabla II.7 Clasificación de edificios por su nivel de daño y número de pisos

Zona	Tipo de daño	Número de pisos				Tipo de construcción					Edad de construcción			Total
		≤5	6-10	11-15	>15	Marco de concreto	Marco de acero	Losa reticular	Mampostería	Otro	<1957	1957-1976	>1976	
XVI	Colapso	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	Grave	4	0	0	0	3	0	0	1	0	0	3	1	4
	Total	5	0	0	0	3	0	1	1	0	0	3	2	5
XVII	Colapso	2	0	0	2	1	0	1	0	0	0	2	0	2
	Grave	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	2	0	2
	Total	4	0	0	4	2	0	1	1	0	0	4	0	4

Tabla II.8 Clasificación de edificios dañados por su uso y número de pisos

Estructuración	Tipo de daño	Año de construcción			Número de pisos				Total
		<1957	1957-1976	>1976	≤5	6-10	11-15	>15	
Marcos de concreto	Derrumbe	27	51	4	27	46	8	1	82
	Grave	16	23	6	10	28	6	1	45
Marco de acero	Derrumbe	7	3	0	4	3	1	2	10
	Grave	1	1	0	0	0	2	0	2
Losa reticular	Derrumbe	8	62	21	36	49	5	1	91
	Grave	4	22	18	5	26	12	1	44
Mampostería	Derrumbe	6	5	2	11	2	0	0	13
	Grave	9	13	1	22	1	0	0	23
Otro	Derrumbe	4	8	2	12	2	0	0	14
	Grave	0	4	2	2	4	0	0	6
Total		82	192	56	129	161	34	6	330

Existe una clara relación entre la distribución de daños y el tipo de subsuelo, en las Figura II.15 se muestra la zonificación usada en 1985 donde se indican tres zonas principales, dicha zonificación era poco precisa para el sur de la ciudad donde los datos de sondeos eran muy escasos. En la Figura II.16 se muestra un detalle de la zonificación vigente en las Normas Técnicas Complementarias (Gobierno del Distrito Federal, 2004), en ella se puede apreciar, que la Zona III (de lago) ha sido subdividida en 4 zonas con características específicas para la definición del espectro de diseño.



Figura II.15 Zonificación del suelo en 1985

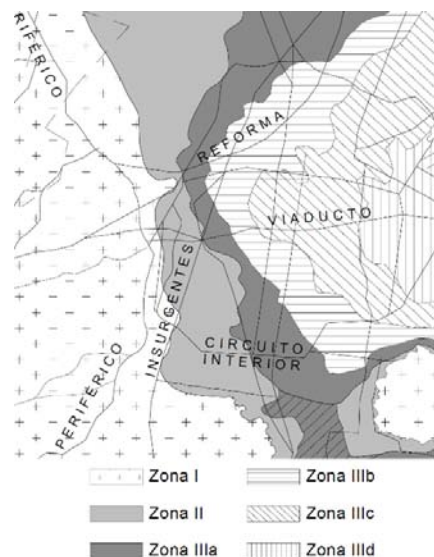


Figura II.16 Detalle de la zonificación de las NTC-Sismo

Algunas conclusiones que presenta el reporte son:

1. Se deben revisar los espectros de diseño, sobre todo para la zona de terreno compresible.
2. Las demandas de ductilidad fueron sumamente elevadas por lo que se deben revisar los factores de reducción por ductilidad vigentes en el reglamento.
3. Las estructuras de concreto diseñadas con la práctica común no fueron capaces de desarrollar grandes ductilidades, lo que debe generar requisitos más estrictos de refuerzo.
4. Debe promoverse el empleo de sistemas estructurales que proporcionen mayor rigidez y resistencia a cargas laterales como muros y contravientos
5. El empleo de losas planas y columnas debería limitarse a edificios de baja altura, para evitar problemas de flexibilidad excesiva. También se debe detallar apropiadamente la zona de la losa alrededor de la columna.
6. Se debe evitar el uso de muros de mampostería como elementos divisorios en estructuras flexibles o deben desligarse apropiadamente de la estructura principal.
7. Debe prestarse atención a los problemas de interacción suelo-estructura.
8. Se debe hacer una supervisión más estricta durante la construcción para evitar problemas de choques entre edificios adyacentes o alteraciones en la estructura para alojar ductos.

Capítulo III GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOS DAÑOS Y SU VISUALIZACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Una vez que se ha presentado la información obtenida, y para poder generar información nueva, es necesario garantizar que dichos reportes son correctos. Para eso se hizo una revisión de las bases de datos, comparando la información de cada uno de los edificios con la información que se obtuvo de todos los reportes y de las fotografías (tanto de daños como actuales) con las que se cuenta, para así tener resultados que se puedan considerar confiables.

III.1 DETALLE DE LA BASE DE DATOS

Habiendo hecho la revisión de la información, se capturó en una hoja de cálculo, de tal forma que se permitiera su manejo de una forma fácil para hacer el posterior análisis estadístico. A continuación (Tabla III.1), se hace una descripción de los campos que se eligieron para conformar la base de datos final:

Tabla III.1 Descripción de los campos que conforman la base de datos

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Clave del edificio	Dato alfanumérico que relaciona la ubicación del edificio con la identificación numérica que se asignó en el reporte del Instituto de Ingeniería UNAM
Edificio	Nombre del edificio (en caso de existir) o breve descripción de la estructura de la que se trata
Uso	Indica la función del edificio
Calle	Dirección del edificio
Esquina con...	Calle con la que el edificio hace esquina, cuando sea el caso
Entrecalle	Indica las dos calles perpendiculares aledañas al edificio para facilitar su ubicación
Colonia	Dirección del edificio
Delegación	Dirección del edificio
Fecha de construcción	Dato que presenta la fecha en que fue construido o la última reparación de la que se hubiera tenido conocimiento
Número de pisos	Indica la altura del edificio con la cantidad de niveles de la estructura
B	Dimensión en planta de la estructura medida paralela a la fachada principal, en metros

Tabla III.1 Descripción de los campos que conforman la base de datos

CAMPO	DESCRIPCIÓN
L	Dimensión en planta de la estructura medida perpendicularmente a la fachada principal, en metros
Sistema estructural	Se describen los materiales y la solución estructural que se usó en el edificio
Periodo de la estructura	Valor estimado, en segundos
Periodo del suelo	Valor estimado (Reinoso & Ordaz, 1999), en segundos
a_{max} de la estructura	Valor estimado, en cm/s^2
a_{max} del suelo	Valor estimado (Reinoso & Ordaz, 1999), en cm/s^2
T_e/T_s	Cociente del periodo de la estructura y el del suelo
Nivel de daño	Magnitud cualitativa del daño: menor, intermedio, grave, colapso parcial y colapso total
Causas de los daños	Motivos que causaron fallas en la estructura según lo que se observó en el levantamiento y en la revisión posterior mencionada en este capítulo
Otras observaciones	Presenta los comentarios que se hicieron durante el levantamiento de daños y que se presentan en el reporte que elaboró el Instituto de Ingeniería de la UNAM
Descripción de la situación actual	Qué existe actualmente en ese predio o qué sucedió con el edificio

Algunos de los datos que se presentan en la Tabla III.1, en particular SISTEMA ESTRUCTURAL y CAUSA DE DAÑO contienen más información que permite clasificar a cada edificio de una mejor forma. La Tabla III.2 muestra los sistemas estructurales más usuales en la construcción en México, se eligió usar sólo esos 24 tipos para categorizar las estructuras de una forma que fuera representativa de la muestra.

Tabla III.2 Sistemas estructurales empleados para catalogar a los edificios

SISTEMA ESTRUCTURAL	CLAVE
Muros de carga de Mampostería	MCM
Marco de concreto	MC
Marcos y muros de concreto	MMC
Marco de concreto contraventeado	MC-CV
Columnas y losas planas de concreto	CLPC
Columna y losas planas de concreto con muros	CLPC-M
Columnas y losas planas de concreto con contraventeo	CLPC-CV
Muros y losas planas de concreto	MLPC
Marcos de acero	MA
Marcos de acero contraventeado	MA-CV
Marcos de acero con muros de concreto	MA-MC
Estructura prefabricada de concreto	PC

Tabla III.2 Sistemas estructurales empleados para catalogar a los edificios

SISTEMA ESTRUCTURAL	CLAVE
Industrial con cubierta ligera con claros pequeños no rigidizada	I-CL-CP-NR
Industrial con cubierta ligera con claros pequeños rigidizada	I-CL-CP-R
Industrial con cubierta ligera con claros medianos no rigidizada	I-CL-CM-NR
Industrial con cubierta ligera con claros medianos rigidizada	I-CL-CM-R
Industrial con cubierta ligera con claros grandes no rigidizada	I-CL-CG-NR
Industrial con cubierta ligera con claros grandes rigidizada	I-CL-CG-R
Industrial con cubierta pesada con claros pequeños no rigidizada	I-CP-CP-NR
Industrial con cubierta pesada con claros pequeños rigidizada	I-CP-CP-R
Industrial con cubierta pesada con claros medianos no rigidizada	I-CP-CM-NR
Industrial con cubierta pesada con claros medianos rigidizada	I-CP-CM-R
Industrial con cubierta pesada con claros grandes no rigidizada	I-CP-CG-NR
Industrial con cubierta pesada con claros grandes rigidizada	I-CP-CG-R

En la Tabla III.3 se muestran las 16 categorías que, a partir de los reportes presentados en el Capítulo II y con la revisión realizada en el presente capítulo, se determinó eran las más adecuadas para indicar el comportamiento de la estructura. Evidentemente, existen causas de daño que están asociadas de una forma más estrecha a cierto sistema estructural, pero de eso se hablará más adelante.

Tabla III.3 Descripción de las causas de daños detectadas

CAUSA DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
Columna Corta	Problemas de cambio de longitud en una columna que origina fuerzas cortantes mayores a las de diseño
Sobrepeso	Indica que las cargas gravitacionales, presentes durante el sismo, eran mayores a las consideradas en el diseño
Golpeteo	Se presenta cuando la distancia en entre un edificio y su vecino (normalmente de diferente altura) es poca, de tal forma que se genera contacto entre ellos durante el sismo
Ubicado en la esquina	Edificio que, por su posición en la calle, tiene muros de colindancia en el lindero con los edificios vecinos donde hace esquina
Ubicado en cuña	Indica que el edificio está ubicado en una bifurcación, por lo que la geometría en planta de la estructura es triangular
Irregularidad en elevación	Edificio que, por su geometría o estructuración, presenta cambios de rigidez en su altura
Irregularidad en planta	Edificio que, por su geometría o estructuración, presenta cambios de rigidez en planta
Hundimientos	Indica que el edificio tuvo problemas en la cimentación que provocó desplazamientos verticales en la misma

Tabla III.3 Descripción de las causas de daños detectadas

CAUSA DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
Daño previo	Estructura que tuvo deterioros en su estructura en algún evento anterior al sismo de 1985
Grado de conservación	Indica que la estructura no tuvo el mantenimiento necesario durante su etapa de vida
Problemas de Cimentación	Edificio que tuvo daños por algún defecto en el diseño o construcción de la cimentación
Estructura modificada o "autoconstruida"	Indica que la estructura no tuvo un diseño estructural formal o que posterior a su construcción sufrió cambios en su estructuración
Mala calidad de materiales	Problemas debidos al uso de materiales de menor resistencia a los usados típicamente en otras estructuras similares
Mala construcción/diseño	Indica que la estructura no tuvo una supervisión adecuada durante su construcción o que la resistencia de alguno de sus elementos fue sobrestimada por parte del ingeniero proyectista
Planta baja débil	Edificio que tenía un cambio de rigidez debido a la ausencia de contravientos o muros únicamente en planta baja (normalmente por estar destinada para estacionamiento)
Punzonamiento	Falla exclusiva de edificios con losa plana cuya capacidad a cortante en la zona cercana a la columna fue insuficiente

III.II INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA A LA BASE DE DATOS

Con la intención de agregar información que hoy es relativamente fácil generar, se agregaron, como se menciona en la Tabla III.1, valores estimados de las aceleraciones del suelo y de la estructura, así como los periodos de los mismos. De esta forma se pretende hacer un análisis con datos adicionales que permitan entender de mejor forma el comportamiento de las estructuras estudiadas asociado a una zona de la Ciudad de México. Para dicho efecto se efectuó la estimación de valores característicos de cada edificio, así como del suelo donde está desplantado.

III.II.I ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS

Típicamente, las ecuaciones para la estimación del periodo fundamental de un edificio existente son conservadoras, de tal forma que permitan calcular un valor del cortante basal mayor al esperado con el problema de que, para un periodo menor, los desplazamientos son también menores y, por lo tanto, subestimados.

Para el cálculo del periodo fundamental de cada estructura, se determinó usar la expresión propuesta por diversos códigos americanos como el UBC, el SEAOC o el ATC, cuya única diferencia entre ellos estriba en el valor asignado para C_t . Para el presente trabajo se determinó usar los valores propuestos por el SEAOC-90:

$$T = C_t(h_n)^{3/4} \tag{Ecuación III.1}$$

Donde h_n corresponde a la altura del edificio, en pies, y C_t es el factor que depende del sistema estructural del edificio.

Tabla III.4 Valores de C_t según SEAOC-90

MARCOS DE CONCRETO	MARCOS DE ACERO	MARCOS DE ACERO CON CONTRAVIENTOS	OTROS
0.035	0.030	0.030	0.020

Otra expresión que se empleó para el cálculo del periodo involucra las dimensiones en planta de la estructura y debido a que, es un dato que también se recopiló para la mayoría de los edificios. La intención de usar esta expresión es obtener los periodos de la estructura en ambos sentidos ortogonales, de acuerdo a su geometría en planta. Para esto existen expresiones que toman en cuenta las dimensiones de la estructura, además de su altura. La Ecuación III.2, obtenida de (Applied Technology Council, 1982)

$$T = \frac{0.05h_n}{\sqrt{L}} \tag{Ecuación III.2}$$

Donde L es la dimensión en planta del edificio en la dirección de estudio, en pies.

Como se indica en el título de esta sección, los valores calculados, son una estimación, pues, aunque existen otras expresiones más precisas, no se cuenta con información suficiente que permita usarlas. En ese sentido, también se hace notar que la altura de los edificios fue obtenida considerando una altura típica o promedio según el uso del edificio y no necesariamente coincide con la altura real de cada entrepiso. Los valores de la altura de entrepiso usados para el cálculo de cada uno se pueden ver en la Tabla III.5.

Tabla III.5 Altura típica para edificios según su uso

USO DE LA ESTRUCTURA	ALTURA, EN m	USO DE LA ESTRUCTURA	ALTURA, EN m
Almacén	4	Hospital	4
Banco	3	Hotel	4

Biblioteca	4	Industria	4
Central de comunicaciones	3	Laboratorio	4
Central eléctrica	3	Librería	4
Centro comercial	4	Museo	4
Comercio	3	Oficina gubernamental	3
Depósito de sustancias explosivas	4	Oficina privada	3
Depósito de sustancias inflamables	4	Restaurante	4
Depósito de sustancias tóxicas	4	Servicios de emergencia	3
Escuela	3	Terminal de transporte	5
Estacionamiento	3	Tienda departamental	4
Fábrica	5	Vivienda	2.5
Funeraria	4	Otro	4
Hangar	5		

III.II.II ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUELO

Para la estimación de estos valores se tomó como base trabajos realizados previamente por otros autores (Reinoso & Ordaz, 1999). En dicho documento, se menciona que, para algunas frecuencias, la amplificación de los sismos puede ser del orden de 500 veces los valores registrados en los epicentros.

Posterior al sismo de 1985, el sistema sismológico aumentó la instrumentación de acelerómetros en la ciudad, llegando a más de 90 estaciones digitales para 1999. Algunos de los sismos, cuyos registros se obtuvieron para el estudio, se muestran en la Tabla III.6.

Tabla III.6 Sismos registrados por el sistema de acelerómetros de la Ciudad de México

FECHA	ORIGEN	MAG.	LAT. N	LONG. W	PROF. [km]	DIST.-CU [km]	AZIM.-CU [°]	a_{max} [gal]
19/09/85	Subd.	8.1	18.08	102.94	15	280	250	31.8
09/10/95	Subd.	8.0	18.85	104.53	27	515	260	2.2
21/09/85	Subd.	7.6	18.02	101.48	15	310	230	13.9
14/09/95	Subd.	7.4	17.00	99.00	45	280	170	11.9
25/04/89	Subd.	6.9	16.6	99.4	19	250	185	12.2
24/10/93	Subd.	6.6	16.54	98.98	5	280	175	4.9
10/12/94	Subd.	6.4	15.81	98.79	20	280	240	5.6
23/05/94	Normal	6.0	18.03	100.57	23	200	225	5.7
31/05/90	Subd.	5.9	17.17	100.89	16	290	210	3.8
08/02/88	Subd.	5.7	17.49	101.16	19	300	210	2.6
02/05/89	Subd.	4.9	16.64	99.51	13	270	188	1.9
11/05/90	Subd.	4.9	17.05	100.84	13	290	210	2.5

A partir de la información registrada por las estaciones acelerométricas, se pudo establecer relaciones que permitieron crear mapas de donde se obtuvo la información necesaria para generar los valores en las ubicaciones de cada uno de los edificios que se estudian en este trabajo.

Para la estimación del cálculo del periodo dominante del suelo, se usó el programa de cómputo "Z" (Ordaz, et al., 1997) obteniendo el valor para cada uno de los sitios donde se encuentra cada estructura.

III.III VISUALIZADOR DE DAÑOS

Una vez capturada la información, con los campos que se mencionó en la Tabla III.1, se elaboró el archivo *SHAPE*, que permite el proceso de los datos para su posterior visualización e interacción en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Un SIG es un programa de cómputo que tiene la finalidad de administrar y manipular datos para poder ser presentados con referencia a la superficie terrestre, normalmente, mediante mapas digitales que contienen la información separada por capas donde se almacena la información para su visualización individual o en conjunto. La información se asocia a una clave identificadora de tal forma que se puedan conocer los datos específicos de cada elemento.

Como el objetivo es que este trabajo pueda ser visto por el público en general, se subió toda la información a internet para ser visualizado con ayuda del mapeo disponible a través de *Google Maps*, a la dirección <http://web.ernclientes.com:84/> en la que, al acceder se verá el mapa de la Ciudad de México donde se muestran los polígonos de los predios de las estructuras de la base de datos. Dichos polígonos están categorizados según el nivel de daño, asignando un color a cada uno: blanco para daños menores, verde para daños intermedios, amarillo para graves, naranja para las estructuras que tuvieron colapso parcial y rojo para los de colapso total.



Figura III.1 Escala de colores para nivel de daño

Para que el visualizador tenga más valor informativo y presente datos a los que el usuario pueda acceder de forma específica, se ha agregado una ventana auto-desplegable sobre cada uno de los polígonos que delimitan el predio de la estructura dañada. Haciendo *click* en el botón “+ Detalles...” se desplegará una ventana nueva con información de lo que ocurrió en ese edificio, en tres etapas con el sismo de 1985 como punto de referencia. Esta información es la misma que aparece en la base de datos en el ANEXO A, pero organizada para que se muestre el estado de la estructura antes del sismo, durante el sismo y el estado actual (información que también fue investigada y corroborada, en su mayoría, mediante visualizaciones de *Street View* de *Google*). A estos datos se agregan fotografías que permitan conocer al edificio en esas tres etapas para así dar una mayor sensibilidad a la información que se presenta. Es importante mencionar que, para algunos edificios poco conocidos, fue difícil encontrar fotografías que mostraran el estado original de la estructura (sin daños), por lo que sólo se presenta la información recopilada de los reportes sin ninguna evidencia fotográfica que la respalde. En la Figura III.4, se muestra un detalle de la zona centro de la Ciudad de México y la ventana que presenta la información específica de cada edificio.



Figura III.2 Vista general de la distribución de edificios dañados asociado a un mapa de Google Maps.

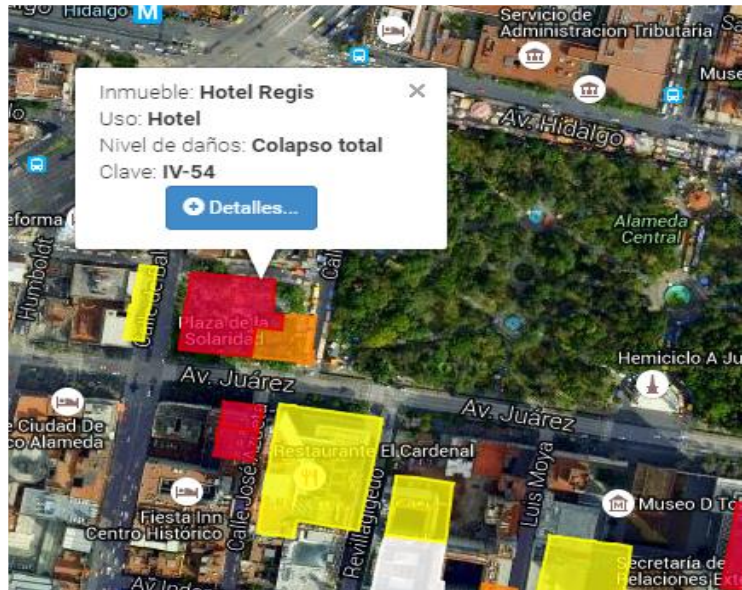


Figura III.3 Detalle de los predios sobre la distribución actual de la Ciudad de México.

En la Figura III.4, se muestra la ventana que se despliega al hacer *click* en el botón “+Detalles...” y que presenta información específica de cada edificio. En este caso, se tomó como ejemplo al Hotel Regis.

INFORMACIÓN DE LA UBICACIÓN

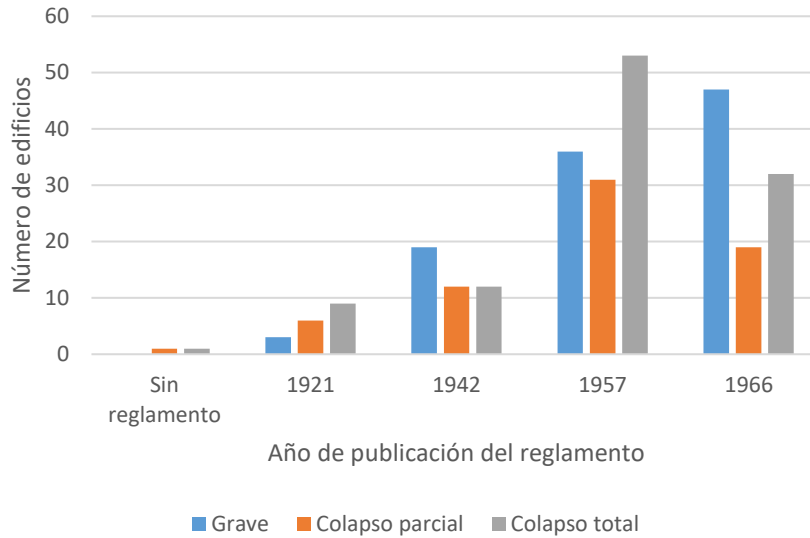
ANTES DEL SISMO	LO QUE PASÓ EN EL SISMO	SITUACIÓN ACTUAL
		
Edificio: Hotel Regis	Nivel de Daño: Colapso total	Descripción Actual Se construyó el parque público Plaza de la Solidaridad en memoria de las víctimas del sismo de 1985. Cuenta con áreas verdes, fuentes, bancas y al centro de la plaza se localiza una estatua que conmemora a las víctimas.
Uso: Hotel	Causas de los daños <ul style="list-style-type: none"> • a_{max} Estructura: 283 cm/s² • a_{max} Suelo: 117 cm/s² 	
Calle: Av. Juárez		
Colonia: Centro		
Delegación: Cuauhtémoc		
Fecha de construcción: 1910		
Número de pisos: 6		
Sistema estructural: Marcos de acero	Otras observaciones Daños cercanos al colapso apartir del 3er nivel (falla en la conexión losa columna).	
Periodo de la estructura: 1.0 s		
Periodo del suelo: 2.0 s		
Cociente T_e/T_s : 0.47		

Figura III.4 Detalle de la ficha de información de un edificio seleccionado en el visualizador (Hotel Regis)

Capítulo IV INTERPRETACIÓN DE LOS DAÑOS

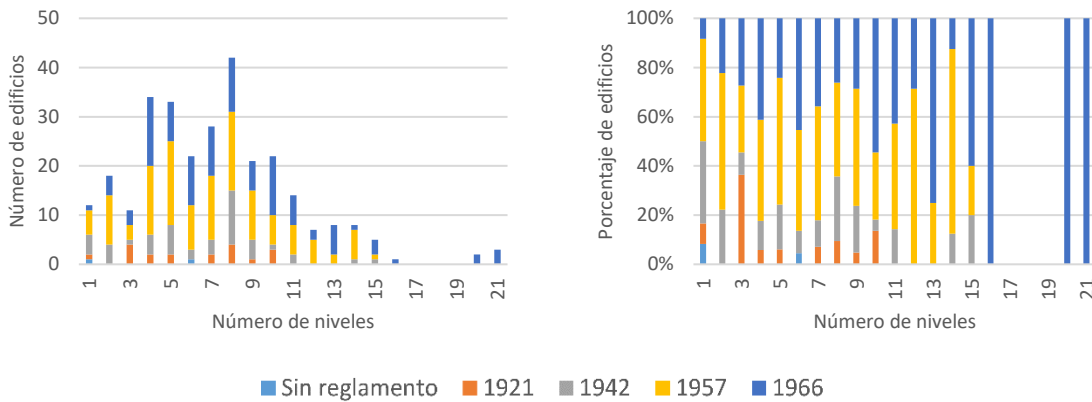
Para poder interpretar la información, es necesario hacer correlaciones que permitan encontrar tendencias del comportamiento de las estructuras con daño después del sismo. Es importante hacer notar que, para todas las gráficas y datos presentados en este capítulo, se despreciarán los edificios catalogados con daño menor e intermedio, pues la cantidad de edificios en esta base de datos seguramente es mucho menor a la cantidad de edificios totales que sufrieron esos niveles de daño, por lo que la muestra no es representativa y podría sesgar los resultados.

Para entrar en contexto, se presenta la Gráfica IV.1 que permite revisar el nivel de daño de los edificios registrados contra el año de entrada en vigor del reglamento de construcciones con el que seguramente fue diseñado. De ahí se observa que fue el de 1957 el que más casos de daño aportó, situación que está influenciada por el crecimiento de la ciudad, pero también por el número de niveles de los edificios que se construyeron en cada periodo, evidentemente, influenciado por los avances en ingeniería estructural.



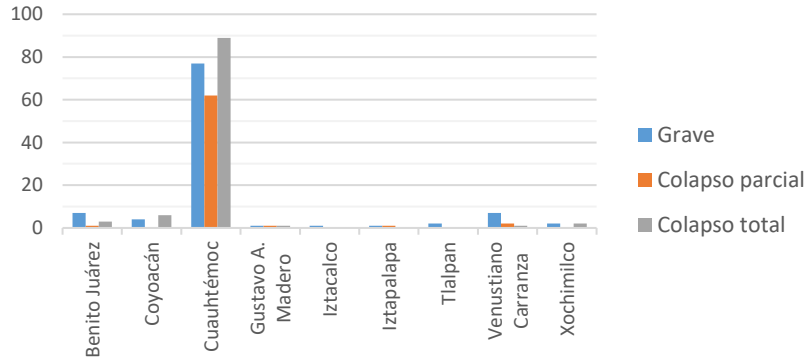
Gráfica IV.1 Número de edificios dañados, según el reglamento vigente durante su construcción

Tal como se observa en la Gráfica IV.2, los edificios de 8 niveles son los que representan una mayor cantidad de edificios dañados y fue en el periodo de 1957 dónde más edificaciones de este tipo se construyeron (32% de los edificios registrados para 8 niveles). Para los edificios con otro número de niveles se observa un porcentaje similar respecto a los edificios construidos en otros periodos, aunque a partir de 16 pisos no hubo ningún edificio construido antes de 1957, siendo todos construidos después de 1966.



Gráfica IV.2 Número de edificios construidos según su número de niveles y reglamento vigente

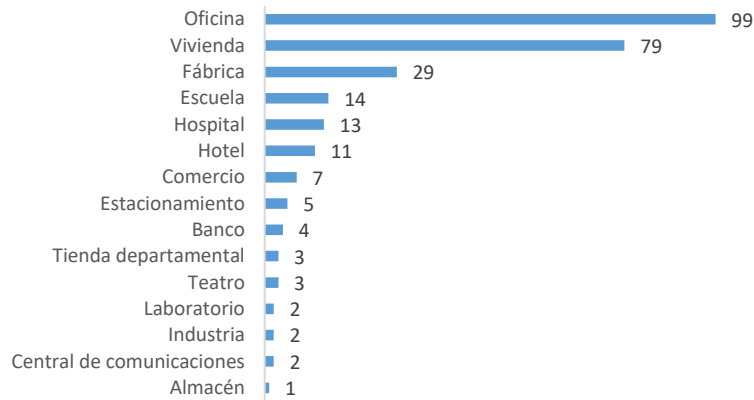
Finalmente, para terminar la introducción del panorama, se presenta la gráfica que muestra el número de edificios, según su nivel de daño, catalogados por delegación. Ahí se hace evidente lo que ya se sabe del sismo, que la mayoría de los edificios que tuvieron problemas estaban localizados en la zona centro de la ciudad (delegación Cuauhtémoc).



Gráfica IV.3

IV.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR USO DEL EDIFICIO

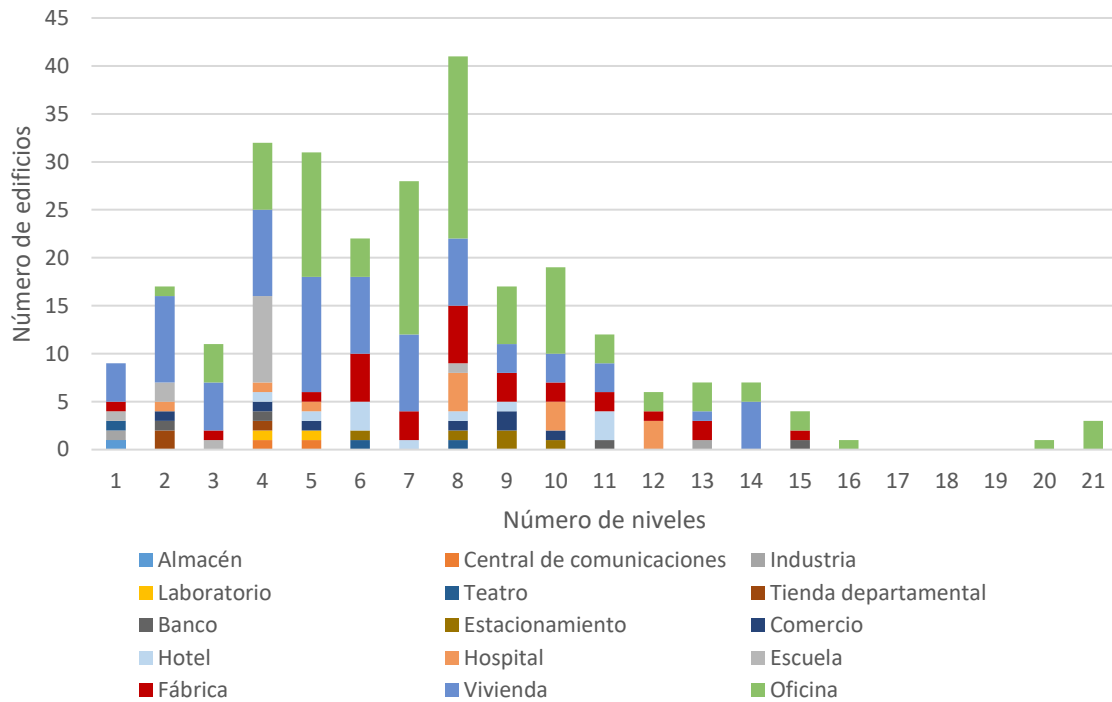
Es importante poner como referencia el uso que tenía asignado el edificio, pues esto da una sensibilidad de la cantidad de edificios que había para cada tipo, lo que permite prever, de cierta manera, el sistema estructural o el número de niveles que podrían tener cada tipo de estructuras. Evidentemente, oficinas y vivienda son el tipo de uso predominante en las estructuras en la ciudad, tal como lo refleja la Gráfica IV.4.



Gráfica IV.4 Número de edificios según su uso

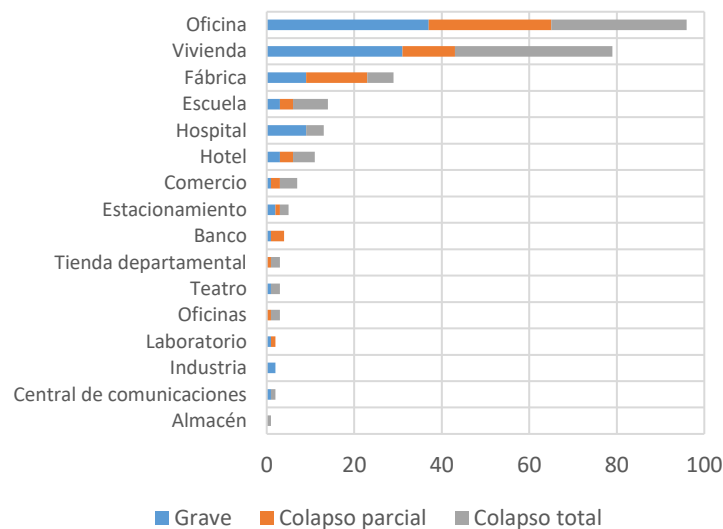
En la Gráfica IV.5, se muestran los edificios catalogados por número de niveles y uso, de tal forma que es posible determinar que, en general, las estructuras de 8 niveles fueron las más afectadas por el sismo, seguidos por las de 4 y 5 niveles (más adelante se hará una correlación del número de niveles con el periodo estimado de la estructura). Se observa una tendencia de los edificios dañados respecto al número de niveles: en aumento desde estructuras con un nivel,

llegando al máximo en 8 niveles y, a partir de ahí disminuyendo, siendo un número relativamente menor para los edificios de más de 12 niveles.



Gráfica IV.5 Número de edificios según su uso y número de niveles

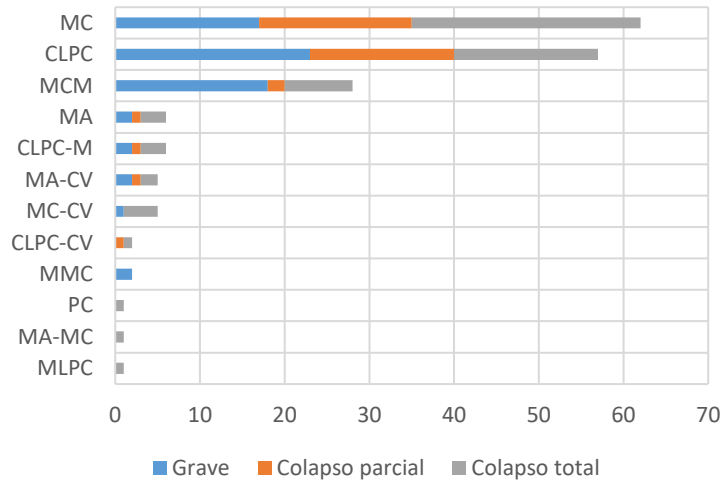
Además, resulta conveniente determinar cuántos edificios de la muestra sufrieron un nivel de daño determinado, siendo “colapso total” un daño predominante en la mayoría de los edificios según su uso (ver Gráfica IV.6).



Gráfica IV.6 Número de edificios según su uso y nivel de daño

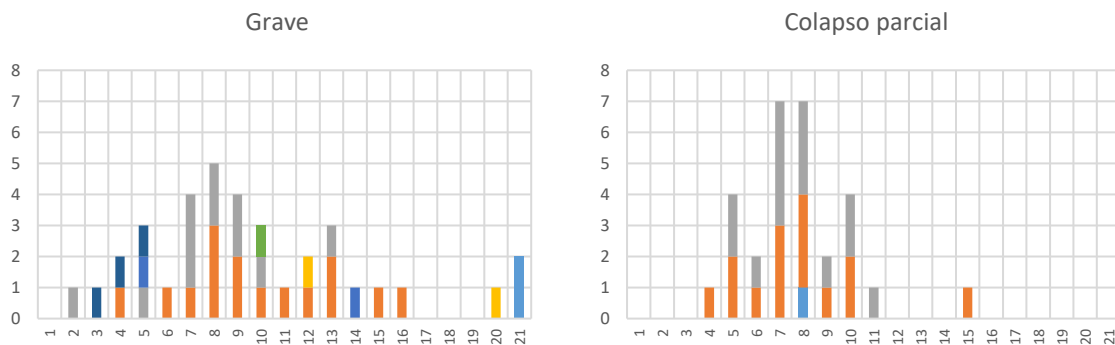
IV.1.1 OFICINA

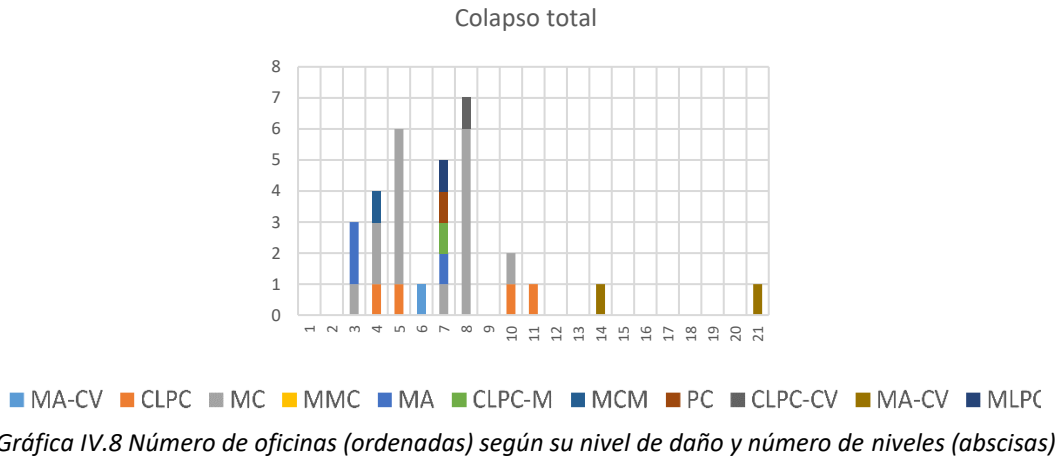
Al hacer el análisis de los datos para los edificios de oficina, encontramos que las estructuras usadas para este fin que presentaron más daño, fueron los muros de concreto y las columnas con losas planas de concreto. En este caso, los muros de concreto fueron los que presentaron más colapsos totales (y más daños en general).



Gráfica IV.7 Número de edificios con uso de oficina, según su sistema estructural y nivel de daño

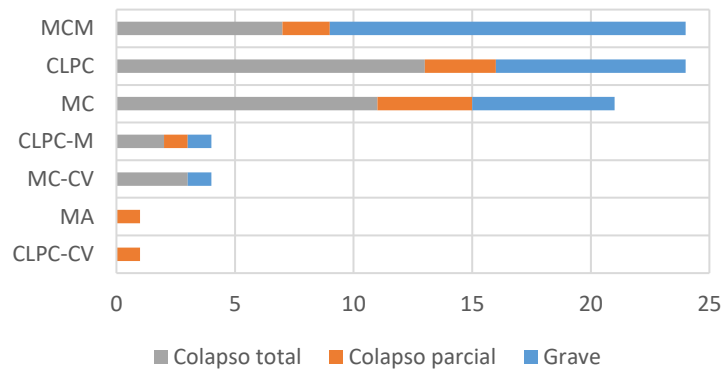
Al desplegar las gráficas, separando cada una por nivel de daño y agregando el número de niveles, observamos que la tendencia del número de edificios dañados tiende a aumentar cercano a los 8 niveles y, a partir de ahí, disminuir.



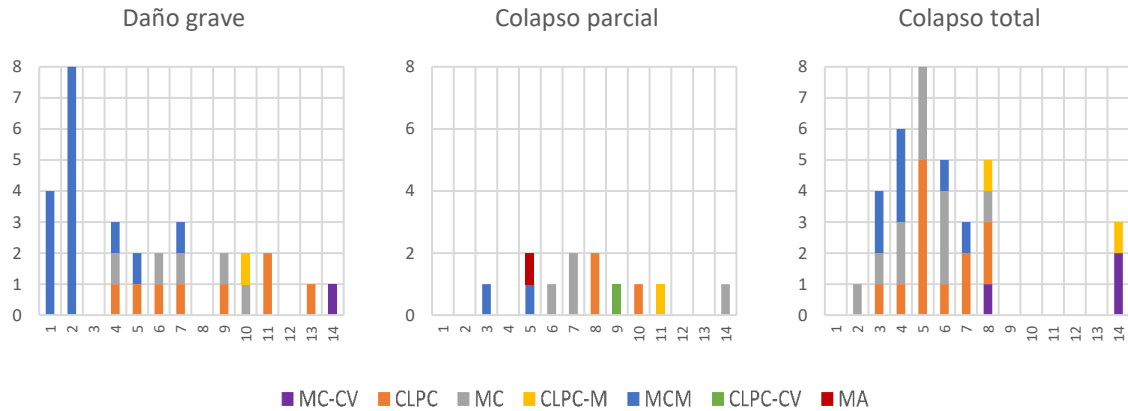


IV.I.II VIVIENDA

Como se observa en la Gráfica IV.4, la mayoría de los edificios en la base de datos corresponden a vivienda, por lo que es conveniente hacer un análisis detallado para este uso en particular. La Gráfica IV.9 presenta los resultados para distintos sistemas estructurales catalogados, además, por nivel de daño. De dicha gráfica se deduce que los sistemas de muros de carga de mampostería junto con las losas planas fueron los más afectados para vivienda.



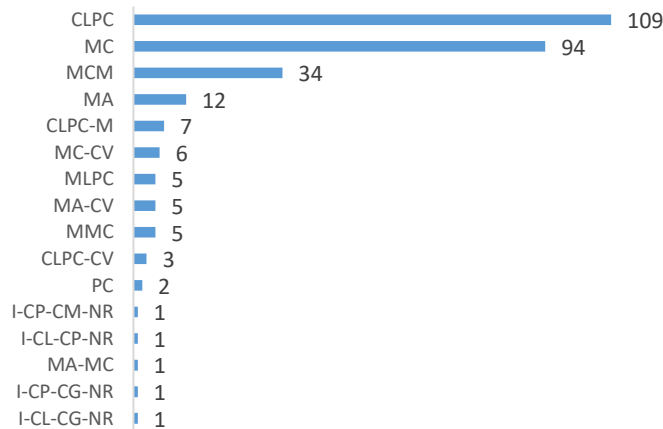
En las siguientes gráficas, se observa una distribución un poco más uniforme al analizar los resultados por separado para cada nivel de daño, lo que permitió incluir, además, el número de niveles de cada edificio. Resulta relevante la cantidad de edificios con sistema de columnas y losas planas de concreto que tuvieron colapso total, pues se confirma que fue uno de los sistemas más empleados para vivienda (debido a las restricciones de altura en los reglamentos arquitectónicos). Este tipo de sistema estructural puede presentar falla frágil al estar gobernado por esfuerzos cortantes inducidos por las columnas a la losa (punzonamiento).



Gráfica IV.10 Número de viviendas (ordenadas) según su nivel de daño y número de niveles (abscisas)

IV.II ANALISIS ESTADÍSTICO POR SISTEMA ESTRUCTURAL

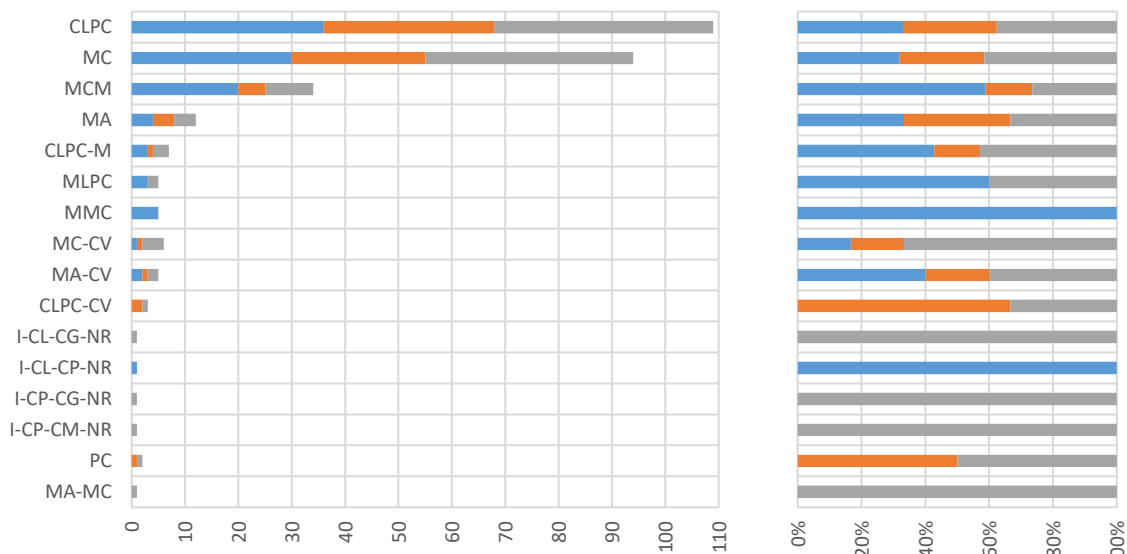
De forma análoga a lo realizado en la sección anterior, se presenta la Gráfica IV.11 para comprender la práctica común en los sistemas estructurales de las estructuras presentes durante el sismo. Se observa que las predominantes son columnas y losa plana de concreto, así como muros de concreto, aunque muros de carga de mampostería tenían gran presencia, principalmente porque la mayoría de las viviendas empleaban este sistema. Es importante aclarar que estos valores no necesariamente reflejan la predominancia de un sistema sobre otro en el total de construcciones presentes durante el sismo.



Gráfica IV.11 Número de edificios con determinado sistema estructural

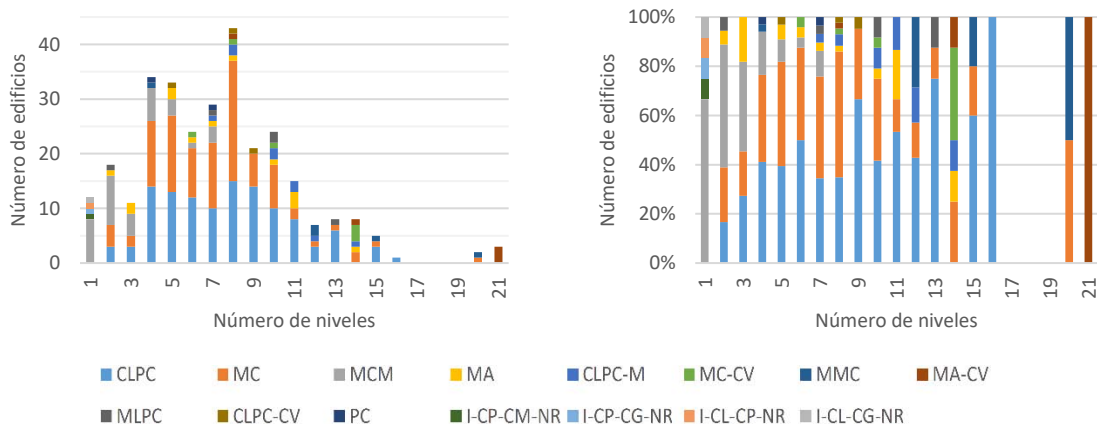
De igual forma, se presentan los resultados que relacionan el sistema estructural con el nivel de daño, para comprender qué sistema fue más vulnerable. Así, se observa que “CLPC” y “MC” tuvieron más colapsos totales que parciales o daño grave. Por el contrario, “MCM”, tuvo

más edificios con daño grave que para los demás niveles de daño. Este tipo de resultados nos permite tener una idea de la forma de la curva de vulnerabilidad de cada uno de los sistemas revisados, que será más “vertical” para los sistemas con presencia importante de colapsos totales, y más “horizontal” para los que tuvieron daño grave como nivel predominante.



Gráfica IV.12 Número de edificios con determinado sistema estructural, por nivel de daño

Finalmente, se asocia cada sistema estructural con el número de niveles. Situación que nos permite ver que, por ejemplo, los muros de carga de mampostería (MCM), son estructuras que tienden a construirse de baja a mediana altura, mientras que los edificios de marcos de concreto (incluidos los edificios con losa plana) o de acero tienen presencia en prácticamente todas las alturas.

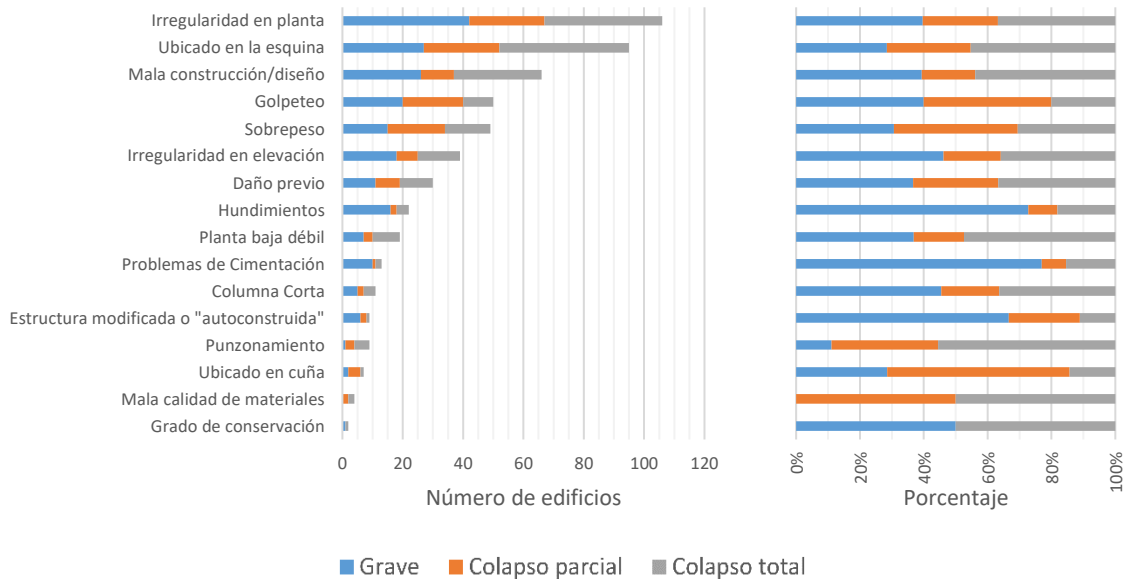


Gráfica IV.13 Número de edificios según su sistema estructural y número de niveles

IV.III ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR CAUSA DE DAÑO

Hasta ahora, las estadísticas presentadas no incluyen un análisis que implique muchos conocimientos de ingeniería estructural, pues no representan una interpretación de lo observado en los documentos recabados. Por tal motivo, en esta sección, se mostrarán los resultados a partir de los cuales se obtendrán conclusiones que faciliten la toma de decisiones de la que se habló en la motivación de este trabajo.

En este caso, la cuenta total de edificio para una determinada causa de daños puede ser mayor a la muestra total de edificios dañados, esto se debe a que, para un mismo edificio, se pudieron haber identificado distintas causas de daños.



Gráfica IV.14 Número de edificios con una causa de daño determinada

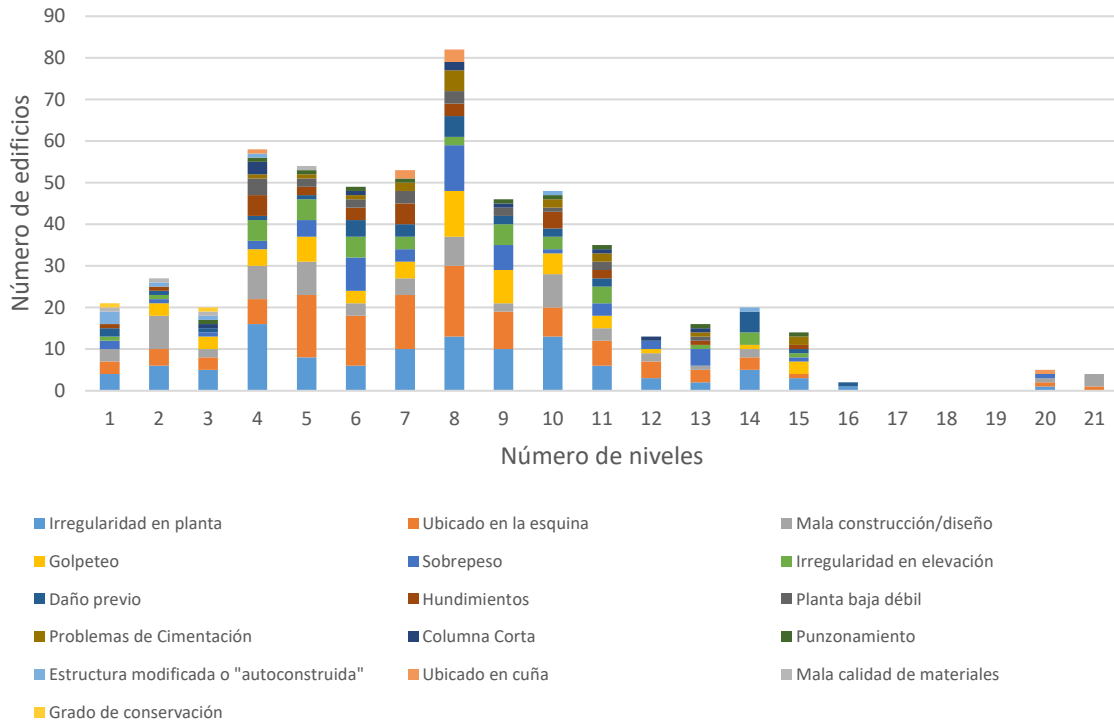
Se pueden hacer observaciones de lo observado en la Gráfica IV.14 que permitan hacer conclusiones interesantes más adelante, por ejemplo, que los problemas de irregularidad en planta y de esquina son las causas que más daño generaron. Esto se debe a que los efectos de torsión no eran tan castigados en los reglamentos sísmicos de la época, lo que generaba configuraciones arquitectónicas caprichosas que eran satisfechas con geometrías desfavorables ante cargas laterales.

Otro problema que se estuvo presente en gran cantidad de edificios, debido a la gran necesidad área construida, junto con la poca supervisión de los reglamentos, fue la distancia

entre edificios, que provocó golpeteo entre muchos de ellos, llegando a generar daños importantes (colapsos parciales) principalmente cuando las estructuras eran de diferente altura.

También destaca el problema del sobrepeso o sobrecarga que presentaron muchos edificios durante el sismo, al ser modificado el uso para el que fue construida la estructura y que provocó cortantes basales mayores a los esperados. Situación que además se combinó, en algunos casos, con estructuraciones con losa plana, induciendo problemas como el punzonamiento. Continuando con esta última causa de daño, podemos observar que, las estructuras que la presentaron, son particularmente vulnerables (más del 50% de los edificios tuvieron colapso total), pues como ya se mencionó, el modo de falla es frágil; situación que va en contra de cualquier filosofía de diseño por sismo.

Hablando de la vulnerabilidad de las estructuras que presentaron cierta causa de daño, destacan también las fallas por planta baja débil. Este es un problema generado por la combinación de una necesidad arquitectónica con una mala concepción del comportamiento estructural, sumado a las pocas restricciones que establecen los reglamentos a los sistemas estructurales que provocan este tipo de falla. Aunque no son exclusivos de los muros de carga de mampostería, prácticamente la mayoría caen en este caso, pues se trata de viviendas cuya cantidad de muros para generar habitaciones es eficiente usada mediante muros que participan en el comportamiento estructural. El problema se genera por la necesidad de tener un número mínimo de lugares de estacionamiento en los edificios, que por cuestiones prácticas se colocan en la planta baja, lo que impide que los muros de las zonas habitacionales no puedan llegar a la cimentación y sean sustituidos por columnas que permitan el libre paso de los automóviles. Este cambio de rigidez entre ambos niveles provoca articulaciones plásticas en los extremos de las columnas de planta baja, formando un mecanismo de falla que se denomina planta baja débil. En las Normas Técnicas Complementarias del 2004 esta diferencia de rigideces se castiga aplicando un factor de irregularidad igual a 0.70 factor de comportamiento sísmico.

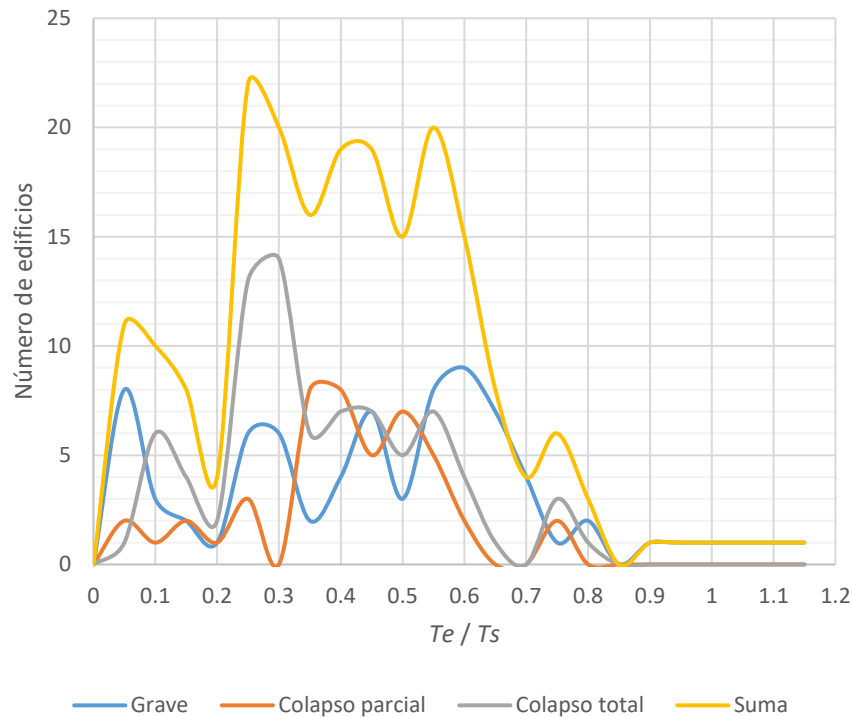


Gráfica IV.15 Causa de daños según el número de niveles de la estructura

IV.IV ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR PERIODO DEL SUELO Y DE LA ESTRUCTURA

En esta sección se discutirá una característica de la que no se tenía información suficiente hace 30 años: el periodo del suelo (T_s) y de las estructuras (T_e). Como ya se mencionó en el capítulo anterior, estos valores son estimados, pero las ecuaciones y métodos de cálculo que los sustentan, permiten tener cierta certeza de los resultados obtenidos para poder emitir conclusiones al respecto.

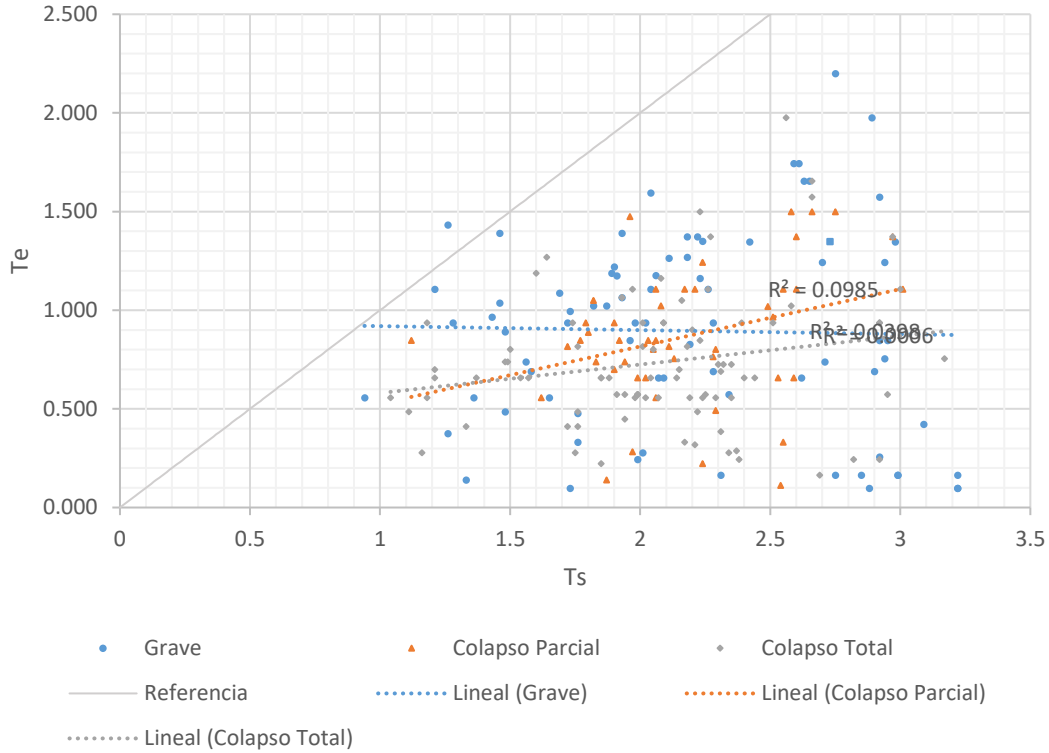
En primera instancia, mucho se ha discutido sobre la resonancia del comportamiento de las estructuras. Este fenómeno está asociado a la similitud entre los periodos del suelo y del edificio en cuestión, que provoca un incremento en los desplazamientos de la estructura mucho mayores a las que la misma excitación provocaría a otra estructura con la misma masa, pero con un periodo fundamental alejado del periodo del suelo. Se aclara que, la “resonancia perfecta” ocurriría cuando el cociente entre ambos periodos es igual a uno, es decir, son iguales.



Gráfica IV.16 Número de edificios asociados al cociente del periodo de la estructura entre el periodo del suelo

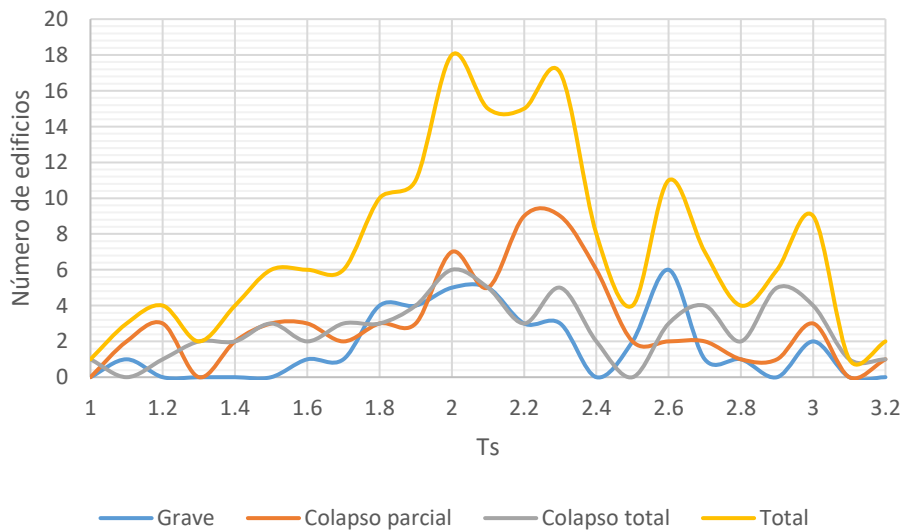
En la Gráfica IV.16, se muestran sólo los edificios que tuvieron daño grave, colapso parcial o colapso total y que se determinó que su comportamiento les permitió alcanzar una resistencia tal que el fenómeno de resonancia pudiera haberse despreciado, por tal motivo, se desprecian las estructuras que presentaron golpeteo. Como se puede observar, la mayor cantidad de edificios dañados se encuentran en un rango entre 0.4 y 0.7, cosa que nos indica que la resonancia no fue un factor influyente en el daño de las estructuras, como ya se ha mencionado en otros trabajos (Quiroga & Reinoso, 2005).

Otra forma de representar la relación de los periodos es mediante una gráfica de dispersión (Gráfica IV.17). Aquí se confirma que la resonancia no tuvo un papel importante en el comportamiento de las estructuras. En este caso, se hubiera esperado que la mayoría de los pares de datos estuvieran ordenados cerca de la línea de referencia que indica cuando ambos periodos son iguales, sin embargo, se observa un comportamiento completamente alejado de la línea que describe a la resonancia, dejando fuera posibilidades como contemplar efectos de ductilidad o de interacción suelo-estructura para acercar estas tendencias al comportamiento resonante.

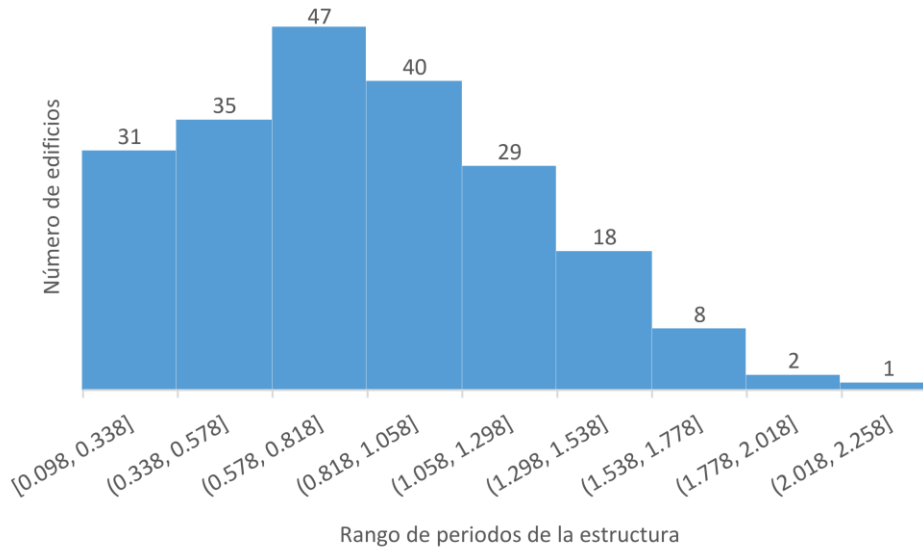


Gráfica IV.17 Correlación del periodo de las estructuras dañadas y el periodo del suelo

Una forma de asociar al edificio con su ubicación, dejando de lado las divisiones geográficas, es mediante el periodo dominante del suelo. En este caso la Gráfica IV.18, la gran cantidad de edificios dañados alrededor de los 2 segundos nos indica que las fuentes sísmicas que afectan a la Ciudad de México generan mucha energía en dicho periodo.



Gráfica IV.18 Número de estructuras según el periodo del suelo donde están ubicadas



Gráfica IV.19 Histograma de los periodos de las estructuras en la base de datos

Para terminar el contexto de los edificios dañados en el sismo, se presenta el histograma de la Gráfica IV.19, que muestra que la mayoría de las estructuras en la base de datos, tenían sismos cercanos a 0.8 segundos, dato que nos permitirá llegar a conclusiones interesantes más adelante.

Capítulo V CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

En este capítulo final se pretende incorporar algunos comentarios que resumirán los resultados obtenidos en este trabajo: la recopilación de diversos registros de edificios dañados, su revisión y de las estadísticas generadas con dicha base.

V.I CONCLUSIONES

1. Se hizo la revisión de la base de daños elaborada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, comparándola con otros documentos que permitieran rectificar o corregir la información registrada. Por tal motivo, esta base de datos se podría considerar como punto de partida para otras revisiones.
2. La base de datos corregida se capturó en un archivo SHAPE que permite su visualización en un Sistema de Información Geográfica que está disponible para el público en general mediante un sitio web.

3. La visualización de los daños del sismo permite tener un panorama general de su distribución geográfica. Además de que, para muchos predios, se pueden conocer detalles de la situación de la estructura antes y después del sismo.
4. La información específica de cada predio también fue investigada y capturada para su visualización en SIG. Mucha de esta información fue deducida de la lectura detallada de cada uno de los reportes y luego comparada con lo observado en sitio con el uso de *Street View* de *Google Maps*. Y con el reporte del Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal.
5. Tener el registro detallado de las estructuras reparadas después del sismo es un punto de partida interesante para estudios futuros.
6. Se confirma que la mayoría de las estructuras dañadas fueron construidas después de la entrada en vigor del reglamento de construcciones de 1957.
7. La gran cantidad de construcciones después de 1957 se debe al gran crecimiento poblacional de la década de los 50, sumado a los avances en ingeniería sísmica y estructural.
8. La Delegación Cuauhtémoc fue la más afectada debido al tipo de suelo que predomina en la zona, con periodos de suelo estimados cercanos a los 2 segundos. Situación que además concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, donde se observa que la mayoría de los daños se localizan en suelos con periodos comprendidos entre los 1.8 y 2.4 segundos
9. La mayoría de los edificios dañados tenían alrededor de 8 niveles, pero se confirma que la resonancia no fue un factor influyente en la causa de daños, pues la mayoría de las estructuras en la base de daños tenían un cociente del periodo de la estructura entre el periodo del suelo comprendido entre 0.35 y 0.65.
10. Como en otros estudios previos (Quiroga & Reinoso, 2005), se confirma que la mayoría de las estructuras presentes en 1985 eran de 5 niveles o menos, por lo que los daños se asocian más a las grandes aceleraciones espectrales que corresponde a la mayoría de los edificios de 8 niveles.
11. Las causas de daño que más influyeron fueron las que presentaban irregularidades geométricas o de rigidez, ya sea en altura o en planta. Situación observada en su momento y corregida en el reglamento mediante factores que castigan el uso de este tipo de estructuras.

12. Los sistemas estructurales empleados predominantemente obedecen a que la mayoría de las estructuras eran viviendas y oficinas: los sistemas de columnas de concreto con losa plana, los edificios con muros de concreto y los edificios de muros de carga de mampostería fueron los más afectados.
13. Columnas con losa plana de concreto fue el sistema con más porcentaje de edificios dañados (prácticamente el 40% o más en la mayoría de los edificios de distinta altura) debido a que la capacidad sismo-resistente de estas estructuras era sobrestimada.
14. Una de las causas de daño que generan más vulnerabilidad (aproximadamente 50% de los edificios de la base de daños) es el problema de planta baja débil. Actualmente, las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal indican que, para una estructura fuertemente irregular se deberá aplicar un factor de reducción de 0.7 que afectará al factor de comportamiento sísmico. Se propone aquí estudiar otras formas de atacar el problema de la irregularidad que ocasiona los problemas de planta baja débil.
15. Muchas de las fallas están asociadas a que los valores de comportamiento sísmico (Q) que se permitían en algunas versiones del reglamento no solicitaban la cantidad de refuerzo necesario para garantizar el comportamiento dúctil al que se supone estaría sometida la estructura.

V.II DISCUSIÓN

Se presentan algunas ideas de forma que su desarrollo permita investigaciones futuras, partiendo del hecho de que aquí se presenta una base compilada, revisada y depurada, de los diversos reportes de daños generados después del sismo de 1985. Esto, con la intención de propiciar un uso más generalizado de los sistemas de información geográfica para la mitigación del riesgo por sismo en nuestro país.

V.II.I SIMULACIÓN DE ESCENARIOS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES

La importancia del uso de SIG en la evaluación de riesgos yace en el hecho de que las consecuencias de un peligro determinado varían en función del espacio geográfico, partiendo de un área de impacto hasta disiparse a una cierta distancia. En ese proceso, la amenaza se encontrará con el factor que genera los daños: los elementos vulnerables, en este caso, las

estructuras y sus contenidos. Por tal motivo, la información recopilada debe ser preparada de forma adecuada para responder eficazmente en una situación de desastre.

Las categorías presentadas aquí fueron condensadas a partir de las ideas de los reportes originales y agregando información nueva. Esto puede servir como punto de partida para posibles levantamientos de daños en eventos futuros.

Contar con una base de datos actualizada y revisada permite estudiar escenarios para diversas amenazas que, inclusive, podrían ser revisadas en conjunto. Así, trabajos como el presente, permiten terminar de entender lo que, a grandes rasgos se sabe del sismo de 1985, pero desde una perspectiva actual, que permitirá enfrentar los eventos que seguramente ocurrirán en el futuro.

Actualmente, la generación de la información posterior a un desastre es relativamente sencilla. Con el uso de herramientas como el internet para la colaboración entre empresas, ONG y voluntarios se puede tener información prácticamente horas después del desastre. Esto tiene varias ventajas: el acceso a los datos por parte de la población en general y el mapeo de los daños de una forma precisa y, por supuesto, georreferenciada.

V.II.II APLICACIONES

V.II.II.I REGISTRO DE DAÑOS DESPUÉS DE UN EVENTO CATASTRÓFICO

El 25 de abril de 2015 ocurrió un sismo en Nepal de MW=7.5 a las 11:56 am. Una hora después, *Digital Globe* estaba dando órdenes de obtener imágenes desde su satélite *WorldView-3*, a partir de ahí, mediante voluntarios de *Open Street Map* (OSM) pudieron mapear alrededor de 14 700 kilómetros cuadrados, identificando 3 128 edificios dañados. Para el día uno, la Cruz Roja estaba cruzando la información de los mapas con el Censo de 2011 para localizar las zonas más pobladas y así poder identificar vulnerabilidades. (Clark, 2015). Todo esto nos deja ver la facilidad con la que la información puede ser almacenada en un SIG y a partir de ahí, son muchas las posibilidades de acción. En este caso hubiera sido interesante poder comparar los daños de dicho sismo con los daños de algún sismo previo del cual se tuviera información adecuada y suficiente.

V.II.II.II SECTOR ASEGURADOR

A diferencia de otros bienes susceptibles de ser asegurados, la infraestructura que es vulnerable a sismo cuenta con poca información que permita generar estadísticas confiables para el cálculo del riesgo. Por ejemplo, en México, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 se robaron en promedio 5.6 mil carros asegurados (AMIS, 2016), mientras que no ha habido un sismo con una repercusión similar a la del sismo de 1985. Por tal motivo, la forma en que las compañías de seguros determinen las primas, el reaseguro o el capital líquido necesario para pagar en el momento en que un evento catastrófico ocurra es un factor fundamental para el desarrollo económico de un sector importante de la población. El uso de herramientas que faciliten el análisis de riesgo, permite generar resultados con menor error y que garanticen el pago de los daños en caso de ser necesario.

V.II.III ACCESO DE LA INFORMACIÓN AL PÚBLICO NO ESPECIALIZADO

Finalmente, además de ser importante para la ingeniería, la información generada para un evento determinado, ya sea que ya haya ocurrido (como el caso de este trabajo) o que ocurra en un futuro, debería ser de acceso al público, pues es este el que será el usuario final de las estructuras. Aunque ellos no serán, evidentemente, los tomadores de las decisiones de impacto en la ingeniería o en el desarrollo de la industria de la construcción, el hecho de que tengan un panorama estudiado y asimilado por ingenieros les permitirá tener la información suficiente para tomar una decisión sencilla pero muy relevante: el lugar donde vivirán

REFERENCIAS

AMIS, 2016. *Robo de vehículos asegurados*, Ciudad de México: s.n.

Applied Technology Council, 1982. *Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings*. California: ATC 3-06.

Bard, P. Y. y otros, 1988. A theoretical investigation of large- and small-scale amplification effects in the Mexico City Valley. *Earthquake Spectra*, 4(3), pp. 609-633.

Borja-Navarrete, G., Díaz-Canales, M., Vázquez-Vera, A. & del Valle-Calderon, E., 1985. Damage Statistics of the September 19, 1985 Earthquake in Mexico City. En: M. A. Cassaro & E. Martínez-Romero, edits. *The Mexico Earthquakes - 1985*. New York: American Society of Civil Engineers, pp. 70-77.

Chopra, A. & Goel, R., 2000. Building period formulas for estimating seismic displacements. *Earthquake Spectra*, 16(2), pp. 533-536.

Clark, L., 2015. *Wired*. [En línea]
Available at: <http://www.wired.co.uk/article/mapping-nepal-after-the-earthquake>
[Último acceso: 21 11 2016].

Coordinación de Control de Edificaciones, 1988. *Los sismos de 1985*, México: DDF.

Departamento del Distrito Federal, 1985. Normas de emergencia en materia de construcción para el Distrito Federal. *Diario Oficial de la Federación*, 18 10.

Earthquake Engineering Field Investigation Team, 1986. *The Mexican Earthquake of 19th September 1985*, Cambridge, Inglaterra: Ove Arup & Partners.

Fundación ICA, 1988. *Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985*. México: Limusa.

García-Ranz, F. & Gómez, R., 1988. The Mexico earthquake of September 19, 1985 - Live load specifications of the 1976 and 1987 Mexico City Building Codes. *Earthquake Spectra*, 4(3), pp. 461-467.

Gómez, A. y otros, 1989. The Mexico earthquake of September 19, 1985 - Response and design spectra obtained from earthquake-damaged buildings. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 113-120.

Hanson, R. & Martin, H., 1987. Performance of steel structures in the September 19 and 20, 1985 Mexico earthquakes. *Earthquake Spectra*, 3(2), pp. 329-346.

Iglesias, J., 1989. The Mexico earthquake of September 19, 1985 - Seismic zoning of Mexico City after the 1985 earthquake. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 257-271.

Iglesias, J. y otros, 1987. *Estudio de las intensidades del sismo del 19 de septiembre en la Ciudad de México*. México: UAM Azcapotzalco.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010. *Censo de Población y Vivienda 2010*, México D.F.: INEGI.

Kleindorfer, P. R. & Kunreuther, H. C., 1999. Challenges facing the insurance industry in managing catastrophic risks. *The Financing of Catastrophe Risk*, pp. 149-194.

Martínez-González, J. F., 2006. *Escenarios de riesgo sísmico en la Ciudad de México utilizando sistemas de información geográfica*. Puerto Vallarta, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Meli, R. & Ávila, J., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Analysis of building response. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 1-17.

Meli, R. & Miranda, E., 1986. *Evaluación de los efectos de los sismos de Septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México*, México, D.F.: Instituto de Ingeniería, UNAM.

Miranda, E. & Bertero, V., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Performance of low-rise buildings in Mexico City. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 121-143.

Ordaz, M., Pérez-Rocha, L. E., Reinoso, E. & Montoya, C., 1997. *Sistema de cómputo para el cálculo de espectros esperados en la Ciudad de México*. Veracruz, s.n.

Orozco-Narváez, V., 2007. *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*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Orozco, V. & Reinoso, E., 2007. Revisión a 50 años de los daños ocasionados en la Ciudad de México por el sismo del 28 de julio de a957 con ayuda de investigaciones recientes y sistemas de información geográfica.. *Ingeniería sísmica*, Issue 76, pp. 61-87.

Orozco, V. & Reinoso, E., 2007. Revisión a 50 años de los daños ocasionados en la Ciudad de México por el sismo del 28 de julio de a957 con ayuda de investigaciones recientes y sistemas de información geográfica.. *Ingeniería sísmica*, Issue 76, pp. 61-87.

Osteraas, J. & Krawinkler, H., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Behavior of steel buildings. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 51-88.

Peggion, M., Bernardini, A. & Masera, M., 2008. *Geographic Information Systems and Risk Assessment*, Luxembourg: JRC Scientific and Technical Reports.

Pérez-Rocha, L., Ordaz, M. & Reinoso, E., 2009. Interpolación espacial de las amplificaciones dinámicas del terreno en el Valle de México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, Issue 80, pp. 85-112.

Quiroga, C. & 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*. Acapulco, Gro.: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Quiroga, C. & Reinoso, E., 2005. *Daño estructural en la Ciudad de México por el sismo del 19/sep/85: correlación con la intensidad sísmica y utilización de SIG*. Ciudad de México: XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

Quiroga, C. & Reinoso, E., 2005. *Póster: A review of the damage during the 1985 Michoacan Earthquake in Mexico City and recent research view thru GIS*. Ixtapa, EERI Annual Meeting.

Reinoso, E., 2007. *Riesgo sísmico de la Ciudad de México*, México: ai México.

Reinoso, E. & Ordaz, M., 1999. Spectral ratios for Mexico City from free-field recordings. *Earthquake Spectra*, 15(2), pp. 273-295.

Rodríguez, M. & Díaz, C., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Analysis of the seismic performance of a medium rise, waffle flat plate building. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 25-40.

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. *Ingeniería, Instituto de Ingeniería UNAM*, 28(1), pp. 1-9.

Rosenblueth, E. y otros, 1992. *Macrosismos*. México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

Rosenblueth, E., Ordaz, M., Sánchez-Sesma, F. & Singh, S., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - Design spectra for Mexico's Federal District. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 273-291.

Salcido, I., 2015. *El Terremoto de 1985: Treinta años en nuestra memoria*. México: Casa de las Campanas.

Secretaría General de Obras, DDF, 1988. *Estudios sobre sismicidad en el Valle de México*. México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Servicio Sismológico Nacional, 2015. *SSN México*. [En línea] Available at: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/fuertes.jsp>

Singh, S. K. y otros, 1988. A study of seismic waves in the Valley of Mexico with respect to a hill zone site. *Earthquake Spectra*, Volumen 4, pp. 656-673.

Singh, S. K. & Ordaz, M., 1990. *Sismicidad y movimientos fuertes en México: una visión actual*. México D.F.: CENAPRED.

Smolka, A. & Berz, G., 1988. *The Mexican Earthquake of September 1985 - Damage statistics and implications for risk assessment*, Tokyo-Kyoto: IX World Conference on Earthquake Engineering.

Smolka, A. & Berz, G., 1989. The Mexico earthquake of september 19, 1985 - An analysis of the insured loss and implications for risk assessment. *Earthquake Spectra*, 5(1), pp. 223-248.

SSN UNAM, 2016. *Servicio Sismológico Nacional*. [En línea] Available at: <http://www.ssn.unam.mx/>

ANEXO A

I-07	I-05	I-02	CLAVE DEL EDIFICIO
Hotel La Rivera	Teatro Ferrocarrilero	Garaje de aseguradora	Edificio
Hotel	Teatro	Otro	Uso
Aldama 9	Ricardo Flores Magón 206	Moctezuma	Calle
Buenavista	Buenavista	Frente al 64 de Lerdo	Esquina con...
Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Guerrero	Entrecalle
1965	1968	Cuauhtémoc	Colonia
5	8	1980	Delegación
24	Desconocido	1	Fecha de construcción
14	Desconocido	60	Número de pisos
1	1	40	B
			L
			Adobe
			Muros de carga de Mampostería
			Marco de concreto
			Marcos y muros de concreto
			Marco de concreto contraventeado
			Columnas y losas planas de concreto
			Columna y losas planas de concreto con muros
			Columnas y losas planas de concreto con contraventeo
			Muros y losas planas de concreto
			Marcos de acero
			Marcos de acero contraventeado
			Marcos de acero con muros de concreto
			Estructura prefabricada de concreto
		1	Industrial con cubierta LIGERA con claros PEQUEÑOS, no rigidizada.
			Industrial con cubierta LIGERA con claros PEQUEÑOS, rigidizada.
			Industrial con cubierta LIGERA con claros MEDIANOS, no rigidizada.
			Industrial con cubierta LIGERA con claros MEDIANOS, rigidizada.
			Industrial con cubierta LIGERA con claros GRANDES, no rigidizada.
			Industrial con cubierta LIGERA con claros GRANDES, rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros PEQUEÑOS, no rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros PEQUEÑOS, rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros MEDIANOS, no rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros MEDIANOS, rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros GRANDES, no rigidizada.
			Industrial con cubierta PESADA con claros GRANDES, rigidizada.
0.690744	0.9957328	0.2442149	Cálculo T (SEAO6-90)
0.76	0.85	0.42	Periodo de la estructura
1.58	1.73	1.99	Periodo del suelo
318.9	351.75	144.9	amax de la estructura
100.3	101.1	108.55	amax del suelo
0.4810127	0.4913295	0.2110553	Te / Ts
Grave	Grave	Grave	Nivel de daño
			Columna Corta
			Sobrepeso
			Golpeteo
			Ubicado en la esquina
			Ubicado en cuña
	1		Irregularidad en elevación
	1		Irregularidad en planta
			Hundimientos
			Daño previo
			Grado de conservación
			Problemas de Cimentación
			Estructura modificada o "autoconstruida"
			Mala calidad de materiales
		1	Mala construcción/diseño
			Planta baja débil
			Punzonamiento
Sin comentarios.	Los daños se concentran en los niveles PB al 5º. Las columnas son bastante esbeltas y su conexión a las vigas de acero es deficiente.	OTRAS OBSERVACIONES INFORME IIUNAM	Descripción de la situación actual
Estructura reparada	Estructura reparada	Estructura reparada	Estructura reparada

III-30	III-14	III-05	II-20
III-30	III-14	III-05	II-20
Bodega	Cámara Nacional de Comercio de la CD de México	Edificios de Nacional Financiera	Edificio de departamentos
Industria	Oficina	Oficina	Vivienda
Alamirano 30	Abraham González Donato Guerra	Reforma General Prim	Rep. De Argentina 109
San Rafael	Desconocido	Juárez	Eje 1 norte y República de Costa Rica
Cuahtémoc	Desconocido	Cuahtémoc	Morelos
1960	1976	1970	Cuahtémoc
1	8	20	1950
Desconocido	20	40	2
Desconocido	15	triangular	60
			4
1			1
	1		
0.1395514	0.9362364	1.5954888	0.1649744
0.09	1.23	1.39	0.14
1.33	1.98	2.04	2.31
97.45	372.7	374.8	103.75
89.05	118.5	123	100.9
0.0676692	0.6212121	0.6813725	0.0606061
Grave	Grave	Grave	Grave
	1		
		1	
	1	1	
		1	
Escasez de acero de refuerzo en vigas.	Los pretiles arquitectónicos rigidizó algunas columnas, provocando el efecto de "Columnas Cortas".	Pandeo de columnas y daños en el muro de concreto. Planta triangular, asimetría en elementos rigidizante (Muro de concreto), sobrecarga.	El edificio vecino sufrió un fuerte asentamiento lo que pudo inducir el daño en esta edificación.
Estructura reparada	No se tiene información	Estructura reparada	Estructura nueva

III-41	III-36	III-35	III-34
Edificio Moncayo	La Latinoamericana	Edificio de departamentos	Sweden de México
Estacionamiento	Oficina	Vivienda	Oficina
Tokio 13	Reforma 77	Hamburgo	Guillermo Prieto 76
	Ramirez frente a glorieta a Colón	Toledo	
Juárez	Tabacalera Revolución	Juárez	San Rafael
Cuahtémoc	Cuahtémoc	Cuahtémoc	Cuahtémoc
1981	1950	1960	1979
8	14	Desconocido	4
20	Croquis	Croquis	20
40	Croquis	Croquis	20
1		1	
			1
	1		
0.9362364	1.2210045	Desconocido	0.5566895
1.03	1.59	0	0.74
1.28	1.9	0	1.36
465	460.4	0	202.7
102.45	117.5	0	90
0.8046875	0.8368421	0	0.5441176
Grave	Grave	Grave	Grave
1			
	1		
		1	1
	1		
		1	1
	1		
Fallo de columnas por cortante. La presencia del preti rígido considerablemente a las columnas de fachada por lo que estas se vieron sometidas a fuerzas mayores, dándose el efecto de columna corta.	El edificio ha tenido modificaciones importantes como la adaptación del cubo de elevadores en donde antes era un cubo de luz. Daños reparados causados por el sismo de 1957.	Daños graves en las columnas de la planta baja. Ausencia de muros de mampostería en la planta baja. lo que provocó una concentración de efectos en el entrepiso. Efectos torsionantes importantes.	Daños graves en las columnas de la planta baja.
Estructura reparada	Estructura nueva	Estructura nueva	Estructura reparada

<p>IV-27 Bicicletas Benmoto Fábrica</p>	<p>IV-25 Conjunto Pino Suárez Oficina</p>	<p>IV-24 Conjunto Pino Suárez Oficina</p>	<p>IV-19 Plaza mayorero Izazaga Fábrica</p>
<p>Escuela Médico Militar 14</p>	<p>Fray Servando Pino Suárez</p>	<p>Fray Servando Pino Suárez</p>	<p>Izazaga 117</p>
<p>Centro</p>	<p>Centro</p>	<p>Centro</p>	<p>Centro</p>
<p>Cuahtémoc</p>	<p>Cuahtémoc</p>	<p>Cuahtémoc</p>	<p>Cuahtémoc</p>
<p>1968</p>	<p>1970</p>	<p>1970</p>	<p>1965</p>
<p>7</p>	<p>21</p>	<p>21</p>	<p>11</p>
<p>Croquis</p>	<p>28</p>	<p>28</p>	<p>Croquis</p>
<p>Croquis</p>	<p>14</p>	<p>14</p>	<p>Croquis</p>
<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>
<p>1.2424478</p>	<p>1.6549532</p>	<p>1.6549532</p>	<p>1.7438098</p>
<p>1.2</p>	<p>1.58</p>	<p>1.58</p>	<p>1.66</p>
<p>2.7</p>	<p>2.63</p>	<p>2.65</p>	<p>2.59</p>
<p>240.45</p>	<p>274.3</p>	<p>272.6</p>	<p>314.1</p>
<p>109</p>	<p>113.6</p>	<p>114.5</p>	<p>117.1</p>
<p>0.4444444</p>	<p>0.6007605</p>	<p>0.5962264</p>	<p>0.6409266</p>
<p>Grave</p>	<p>Grave</p>	<p>Grave</p>	<p>Grave</p>
<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>
<p>Grietas por cortante en columnas y por flexión/cortante en losas. Los muros de colindancia fueron completamente destruidos.</p>	<p>Importante desplome hacia el sur productos de aplastamiento de las columnas de uno de sus ejes.</p>	<p>Pandeo local de las placas de las columnas del 4to entrepiso. Pandeo del contravento. Pandeo de algunas traves de alma abierta. Presenta un desplome hacia el sur de mas de 1.5 m y deformaciones por torsión evidentes.</p>	<p>No hay motivo aparente para el colapso. Es posible que hubiera sobrepeso debido a su función de almacén de ropa.</p>
<p>Estructura reparada</p>	<p>Estructura nueva (plaza comercial y acceso al Sistema de Transporte Metro)</p>	<p>Estructura nueva (plaza comercial y acceso al Sistema de Transporte Metro)</p>	<p>No se tiene información</p>

IX-01	IV-52	IV-42	IV-38
Edificio de departamentos	Conjunto de Teléfonos de México	Desconocido	Hotel del Prado
Vivienda	Oficina	Desconocido	Hotel
Xochicalco 392	Ernesto Pugibet Buen Tono	Luis Moya (contiguo a Marina)	Av. Juárez 70 José Azueta
Narvarte Oriente	Centro	Centro	Centro
Benito Juárez	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc
1957	1957	1940	1945
4	13	10	11
10	20	25	Desconocido
25	20	25	Desconocido
1	1	1	1
0.4855423	1.34749	1.3733211	1.2643573
0.77	1.73	1.36	1.35
1.48	2.42	2.18	2.11
199.7	342.55	299.4	325.3
98.2	120	117.05	117.3
0.5202703	0.714876	0.6238532	0.6398104
Grave	Grave	Grave	Grave
1	1	1	1
1	1	1	1
Falla en los amarres unión losa-columna por efectos de torsión. Escasez de estribos en la columna así como también poca adherencia del concreto con el acero.	Daños graves debido a que en algunos anillos de la parte superior tuvieron daños graves por cortante.	El acero de refuerzo prácticamente no tenía corrugaciones. Tenía daños previos por sismos.	Tuvo daños importantes en las conexiones, permitiendo rotaciones muy grandes. Presenta desplomes importantes, debidos a las deformaciones en las columnas.
No se tiene información	Estructura reparada	Estructura nueva	Estructura nueva

V-01	IX-07	IX-06	IX-04
Edificio de departamentos	Edificio de departamentos	Edificio de departamentos	Casa habitación
Vivienda	Vivienda	Vivienda	Desconocido
Zacatecas 74	Xochicalco 287	Doctor Vértiz 523	Av. Universidad
Casi esquina Córdoba			Xola
Roma Norte	Narvarte Poniente	Atenor Salas	Narvarte Oriente
Cuauhtémoc	Benito Juárez	Benito Juárez	Benito Juárez
1976	1976	1950	1976
10	9	4	10
10	12	Desconocido	28
40	30	Desconocido	20
1	1	1	1
0.8274377	0.8919982	0.2774528	Desconocido
0.99	1.34	0.23	1.59
2.19	1.48	2.01	1.85
265.8	442.3	150.9	455.7
149.9	100.7	137.1	112.85
0.4520548	0.9054054	0.1144279	0.8594595
Grave	Grave	Grave	Grave
1	1		1
1			
1			1
Asentamientos y desplomes del edificio.	Columnas de 30X50 cm en la dirección de los muros dañados, muros divisorios abundantes en todos los pisos menos en planta baja	Daños graves principalmente en muros de carga, a los cuales les aparecieron grietas diagonales del piso al techo por efecto del cortante.	Columna degollada en el primer entrepiso por efectos de torsión, así como falla en los amarres losa-columna. También falla de cimentación y desplomes importantes de sus elementos estructurales.
Predio sin estructura	Estructura reparada	Estructura reparada	Estructura nueva

VI-17	VI-16	VI-15	VI-09
Fábrica	DDF	Secretaría de Programación y Presupuesto	Centro Médico
Fábrica	Oficina	Oficina	Hospital
Lorenzo Boturini	Tlalpan 122	Tlalpan 124	Av. Cuauhtémoc
Privada 3 estrellas	Alfredo Chavero	Alfredo Chavero	
Tránsito	Tránsito	Tránsito	Doctores
Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc
1976	1976	1976	1957
7	7	7	10
30	15	30	20
5	20	40	60
1	1	1	
			1
1.2424478	0.8470159	0.8470159	1.1771324
1.2	0.95	1.05	1.26
2.94	2.92	2.95	2.06
234.7	263.8	235.3	311.65
126.25	135.9	131.6	135.75
0.4081633	0.3253425	0.3559322	0.6116505
Grave	Grave	Grave	Grave
1			
	1	1	
Falla de las columnas y sus uniones.	Se presentaron grietas diagonales en columnas.	Tuvo una clasificación como "daños graves", donde las columnas se desplomaron y hubo fracturas en juntas viga-columna. Existieron daños previos por sismos.	Falla en las conexiones viga-columna. Algunas armaduras se desdolaron. El edificio sufrió daños importantes por efectos de mal comportamiento de la cimentación, existieron hundimientos en las esquinas de la edificación.
Estructura nueva	No se tiene información	No se tiene información	Estructura nueva

VI-44	VI-42	VI-40	VI-39
Hotel Central	Casa habitación	Casa habitación	Casa habitación
Hotel	Vivienda	Vivienda	Vivienda
Dr. Ignacio Morones Prieto	Bernardo Cuoto	Bolívar 165	Albino García
Dr. Barragán	J. Hernández Dávalos y J. Toribio Médina		Chabacano y Juan A. Mateos
Doctores	Algarín	Centro	Vista Alegre
Cuahtémoc	Cuahtémoc	Cuahtémoc	Cuahtémoc
1965	1960	1960	1960
4	2	2	2
Desconocido	Desconocido	Desconocido	Desconocido
Desconocido	Desconocido	Desconocido	Desconocido
	1	1	1
1			
0.690744	0.1649744	0.1649744	0.1649744
0.76	0.14	0.14	0.14
2.9	2.85	2.75	2.99
288.9	166.7	133.2	126.1
159.5	162.4	129.6	121.9
0.262069	0.0491228	0.0509091	0.0468227
Grave	Grave	Grave	Grave
1			
	1	1	
Presentó hundimientos y un desplome considerable, lo que nos hace suponer un mal comportamiento de la cimentación.	Daños debido al mal confinamiento de los muros.	Daños debido al mal confinamiento de los muros de mampostería. Así como daños previos por sismos.	Sin comentarios.
Estructura reparada	No se tiene información	No se tiene información	No se tiene información

XI-04	X-01	VIII-04	VIII-03
Edificio de departamentos	Desconocido	Casa habitación	Casa habitación
Vivienda	Desconocido	Vivienda	Vivienda
Paseo de los granados 76	Av. Santiago 56	Sur 75-A 18	Sur 75-A 19
Paseo de los nogales e Higueras	Américas		
Pasos De Taxqueña	Moderna	Boturini	Boturini
Coyoacán	Benito Juárez	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza
1980	1960	1955	1950
7	5	1	1
Croquis	Desconocido	10	Desconocido
Croquis	Desconocido	10	Desconocido
	1	1	1
1			
0.7387639	Desconocido	0.0980944	0.0980944
1.1	0.95	0.09	0.09
1.56	2.17	3.22	3.22
348.1	296.4	86.7	88.6
117.3	124.1	81.9	83.6
0.7051282	0.437788	0.0279503	0.0279503
Grave	Grave	Grave	Grave
	1		
1			
1		1	1
Las columnas del primer piso colapsaron, esto debido a planta baja flexible.	Daños graves debido a su ubicación en esquina y porque la edificación ofrece demasiada flexibilidad.	Daños debido a la falta de confinamiento en los muros, además de que sufrió modificaciones en la estructura. Se presenaron grietas en muros de carga, además de losas colgadas por falta de trabes intermedias.	Daños debido a la falta de confinamiento en los muros, además de que sufrió modificaciones en la estructura, además de que sufrió modificaciones en la estructura.
Estructura reparada	Estructura reparada	No se tiene información	No se tiene información

XVI-01	XVI-02	XVI-01	XV-02
Escuela Primaria Quirino Mendoza y Cortés	Escuela primaria 31-367-40	Edificio de departamentos	Inmobiliaria Chihuahua, S.A.
Escuela	Escuela	Oficina	Oficina
General Gaudencio de la Llave - P. Ramírez del Castillo.	Escuela	Calle de las brujas 307	Cienfuegos
			Montevideo
Bo San Pedro	Ex Hda Sn Juan De Dios	Las Hadas	Lindavista
Xochimilco	Tlalpan	Tlalpan	Gustavo A. Madero
1976	1973	1983	1973
4	4	5	10
30	10	10	37.5
8	60	25	29
1	1	1	1
0.4771624	0.5566895	0.3760603	1.1067972
0.42	0.63	0.26	1.44
1.76	0.94	1.26	1.21
211	465.95	149	363.3
141.7	117.45	123.1	119.2
0.2386364	0.6702128	0.2063492	1.1900826
Grave	Grave	Grave	Grave
1	1	1	1
Daños graves que formaron grietas en traves, columnas y losas. Se presentó fluencia del acero en la conexión de la losa con la rampa de las escaleras.	Daños atribuidos a efectos de torsión y escasez de estribos en los elementos estructurales.	Daños debido a la formación de un sistema de piso flexible. Se modificaron la orientación de algunas columnas y no había suficientes estribos en las conexiones trabe-columna.	Se presentaron grietas en vigas y columnas por efectos de flexión y cortante. Consecuentemente se formó un sistema de piso flexible por efectos torsionantes.
Estructura reparada	No se tiene información	Estructura reparada	Estructura reparada

