



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

División de Ingenierías Civil y Geomática

Análisis Espacial de Estructuras Dañadas en la Delegación Cuauhtémoc por los Sismos de 1985

T E S I S

Para Obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

José Francisco Javier Martínez González

Director de Tesis:
Dr. Eduardo Reinoso Angulo



Ciudad Universitaria, México D.F. 2006



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.

...para que pueda ser he de ser otro,
salir de mí, buscarme entre los otros,
los otros que no son si yo no existo,
los otros que me dan plena existencia,
no soy, no hay yo, siempre somos nosotros...

Piedra de sol, Octavio Paz.

Dedicada a:

Mis padres José Guadalupe Martínez Vega y María Guillermina González Islas, con toda mi admiración y amor, porque ningún esfuerzo que haga se puede comparar con el que ellos hacen por su familia, porque jamás tendré forma de agradecerles todo lo que me han dado.

Mis hermanas María Dolores, María Luisa, María Eugenia y María Guillermina, porque ellas son mi apoyo incondicional, ejemplo de vida y motivación, porque son lo más importante que tengo y a ellas les debo todo.

Mi sobrina Paloma, que es un motivo para sonreír todos los días.

Mi novia Brenda Valeria Gabilondo Acevedo, por dejar huella en mi corazón, porque con ella he aprendido lo hermoso que es amar y ser amado, por ser la mejor compañía en todos los sentidos.

Mis amigos Miguel Ángel Lucero Romero y Sergio Alejandro Sonora Luna, con admiración, por estar conmigo, porque hemos crecido juntos.

La Universidad Nacional Autónoma de México, por ser la casa que me ha permitido vivir muchos de mis sueños.

Agradecimientos:

A mis maestros, sobre todo a los de la Facultad de Ingeniería, porque con cada clase me convencía de lo maravilloso que es la carrera de ingeniería. A mis maestros del Principal: Gerardo Rodríguez, Adriana Cafaggi, Fabian Cervantes, Alejandro Cadaval †, Héctor Sanginés, Víctor Robles, Carlos Mendoza, Héctor Guzmán, Francisco Moreno, Gabriel Moreno, Pedro Benítez, José Gaya, Roberto Stark, Cesar Valdéz, Marcos Trejo, Francisco Chacón, Oscar Vega, Oscar Martínez, Reginaldo Hernández, Fernando Favela, Manuel Viejo, Miguel Rodríguez, José Salinas, Carlos Chavarri.

A mis compañeros de clase, a los compañeros del Instituto de Ingeniería.

Le estoy muy agradecido a Carlos Eduardo Quiroga Cuellar porque sin su apoyo, recomendaciones, ejemplo y trabajo no hubiera sido posible la realización de esta tesis.

Muchas gracias al Dr. Eduardo Reinoso Angulo por su confianza, apoyo, consejos, ejemplo, y por ser la guía en la realización de éste trabajo.

Agradezco infinitamente el apoyo incondicional, la ayuda, la confianza, los consejos y cariño de mi familia.

A mis amigos Miguel y Sergio, por escucharme, aconsejarme y acompañarme, y a su familia que han confiado en mí, que me han apoyado.

Le doy las gracias a Dulce Velasco que siempre está presente con su amistad, con sus poemas, un caracol, un infierno, postres, libros.

Gracias Amor por tus consejos, tu interés en mí, tu amor, por ser mi amiga.

Inic macuilli tonatiuh 4 ollin in itonal mitoa ollintonatiuh ipampa molini in otlatoa auh in yuh conitotihui in huehuetque, ipan inin mochihuaz tlalloliniz mayanaloz inic tipolihuizque.

In ipan in 13 acatl quilmachyeipan in tlatcat in axcan onmantiuh tonatiuh, ye icuac tlauez ye icuac tlathuic in axcan onmantiuh ollin tonatiuh. 4 ollin in itonal, ic 5 inin tonatiuh on mani ipan tlalloliniz mayanaloz.

El Quinto Sol: 4 Movimiento su signo. Se llama Sol de Movimiento, porque se mueve, sigue su camino. Y como andan diciendo los viejos, en él habrá movimientos de tierra, habrá hambre y así pereceremos.

En el año 13 Caña, se dice que vino a existir, nació el Sol que ahora existe. Entonces fue cuando iluminó, cuando amaneció, el Sol de Movimiento que ahora existe. 4 Movimiento es su signo. Es éste el quinto Sol que se cimentó, en él habrá movimiento de tierra, en él habrá hambres.

Códice Chimalpopoca, Anales de Cuauhtitlan Trad. de Miguel LEÓN-PORTILLA



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1 ESTRUCTURAS DERRUMBADAS O DAÑADAS.....	4
1.1 DATOS DE ESTRUCTURAS CONTENIDAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	4
1.1.1 Daños.....	4
1.1.2 Catastro.....	5
1.1.3 Modificaciones y mejoras al SIG.....	5
1.1.4 Riesgo Sísmico.....	7
1.2 ZONA DE ESTUDIO.....	7
1.3 ESTADÍSTICAS DE ESTRUCTURAS EXISTENTES EN LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC EN 1985.....	10
1.4 ANÁLISIS DEL REPORTE DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985.....	15
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE DATOS CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	28
2.1 SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS.....	28
2.2 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.....	29
2.2.1 Caso 1. Estructuras de ocho pisos construidas con columnas y losa plana de concreto.....	29
2.2.2 Caso 2. Estructuras de seis pisos construidas con columnas y losa plana de concreto.....	32
2.2.3 Caso 3. Estructuras de especial interés.....	35

CAPÍTULO 3 CORRELACIÓN DE DAÑOS CON PARÁMETROS DEL SUELO.....	39
3.1 RESONANCIA EN LAS ESTRUCTURAS DAÑADAS.....	39
3.1.1 Definiciones.....	39
3.1.2 Análisis de las estructuras dañadas.....	39
3.2 INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN ESTRUCTURAS DAÑADAS.....	43
3.2.1 Tipos de cimentación en estructuras dañadas.....	44
3.2.2 Análisis de cimentaciones de las estructuras dañadas.....	46
 CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE LA PARTE SOCIAL.....	53
4.1 DISTRIBUCIÓN DE ESTRUCTURAS EN RIESGO.....	53
4.2 ESCENARIOS DE RIESGO.....	58
 CONCLUSIONES.....	62
 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	63
 APÉNDICE.....	65

INTRODUCCIÓN

Los sismos han causado en varios países una enorme cantidad de pérdidas humanas y económicas. Por lo tanto, resulta de mucho interés estudiar este fenómeno minuciosamente utilizando diferentes disciplinas científicas, de manera que logremos mitigar los efectos y daños a las estructuras y a las poblaciones vulnerables a estos eventos, así como urbanizar con un mejor criterio.

La corteza terrestre está formada por capas tectónicas, éstas se mueven relativamente entre ellas en diferentes direcciones, se rozan, se enciman o se separan. La zona de contacto entre éstas se conoce como falla. El movimiento que se da no es continuo debido a la fricción, la cual llega a un límite, se rompe el contacto y se libera energía sísmica, ésta provoca ondas que viajan a través de la corteza terrestre alterando el suelo y a las estructuras construidas sobre el mismo. Éste es el motivo que origina la mayoría de los sismos en el mundo.

El territorio mexicano se encuentra dividido en cinco placas tectónicas. En la costa del Pacífico mexicano la placa Norteamericana se separa de la del Pacífico, roza con la del Caribe y choca contra la Rivera y la Cocos. La zona de subducción es donde se encuentra la mayor área de contacto entre placas, por lo tanto, donde ocurren los sismos más grandes. En México el área de subducción comprende la costa del Pacífico desde Puerto Vallarta, Jalisco hasta Tapachula, Chiapas.

El 19 de Septiembre de 1985 a las 7:19 horas se produjo un sismo con epicentro en el océano Pacífico, frente a la desembocadura del río Balsas en las costas de Michoacán, tuvo una magnitud de 8.1 grados en la escala de Richter. Se continuó liberando energía a través de réplicas. El sismo afectó a los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz, siendo el Distrito Federal donde ocurrieron más daños, estos se dieron en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero, ya que esta es una zona de amplificación de la intensidad sísmica, debido a las características del suelo. Las pérdidas materiales se calcularon en 4 mil millones de dólares. Datos oficiales indican 4,500 muertos y 10 mil heridos, pero extraoficialmente se estima que hubo más de 10 mil muertos y más de 30 mil heridos.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas útiles para trabajar con gran cantidad de información con la ventaja de tenerla espacialmente referenciada. Estos sistemas tienen muchas aplicaciones, una de ellas es el manejo de información de desastres naturales, con el fin, entre otros, de mitigar sus efectos y daños.

Para este trabajo se utilizan los datos de los daños causados por los sismos de 1985, y nuevas investigaciones y tecnología aplicadas a la ingeniería sísmica, como el Sistema de Información Geográfica. Con éste se realiza un análisis estadístico de las estructuras existentes en 1985, se encuentran factores de daño de las mismas y la relación que existe con los parámetros del suelo utilizando la información georreferenciada. Este análisis se hace con el objetivo de conocer qué fue lo que provocó la falla de las estructuras en aquella ocasión de manera general y de algunos casos en particular, así como aprovechar las ventajas que ofrece un Sistema de Información Geográfica, por ejemplo, creando mapas y escenarios de riesgo sísmicos útiles en próximos sismos.

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURAS DERRUMBADAS O DAÑADAS

1.1 DATOS DE ESTRUCTURAS CONTENIDAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

1.1.1 Daños

Después de que ocurrieron los sismos que afectaron la República Mexicana el 19 y 20 de septiembre de 1985, el Instituto de Ingeniería de la UNAM elaboró un catálogo de estructuras dañadas en la Ciudad de México (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986), en éste se incluyen:

a) Datos generales:

- Clave de la estructura. Se otorgó a partir de la división que se hizo de la Ciudad de México en 17 zonas representadas por un número romano, además contiene un número arábigo que indica el orden en el que fue visitada la construcción.
- Dirección. En algunos casos presenta información detallada de ubicación de las estructuras, por ejemplo entre qué calles o frente a qué edificio se encontraba; éste es un dato práctico para ubicarlas espacialmente, al contrario de cuando sólo se anotó el número porque ese dato no existe en la cartografía donde se ubican las estructuras, por lo que se tienen que desarrollar métodos de ubicación a partir de encontrar áreas y perímetros de predios de la calle indicada iguales a los referidos en el reporte.
- Nombre de la estructura. Para algunos casos está indicada y en ocasiones nos indica el uso que tenía el edificio.
- Función. Nos da idea de las cargas a las que fue sometida la estructura, las condiciones de diseño que debió cumplir y es un índice de la cantidad de gente que se puede encontrar atrapada o los daños esperados.
- Año de construcción. Indica el reglamento que estaba vigente al momento en que la estructura fue edificada por lo que podemos suponer algunos datos de diseño, además de ubicarnos en la historia de la estructura para conocer daños previos por otros sismos.

b) Datos sobre la estructuración:

- Número de pisos.
- Geometría en planta. Sirve para conocer las irregularidades en la construcción, que afectan el comportamiento de la estructura al presentarse el sismo, provocando torsión y alterando la distribución de esfuerzos en la estructura, esta información se complementa con el croquis.

- Sistema estructural. Incluye el material de construcción, el tipo de estructuración, de muros, de columnas, de traveses y de sistemas de piso, si presentaba contraventeos y en algunos casos datos particulares sobre la distribución de muros y columnas; sin embargo no siempre se recabó información suficiente.
- Tipo de cimentación. Sólo para algunos casos se indica en el reporte. Este dato es útil para conocer el comportamiento que tuvo el conjunto suelo-estructura.
- Particularidades. En algunas ocasiones se anotaron datos particulares de las estructuras, por ejemplo si contaba con algún apéndice, si se notaba columna corta, entre otras.

c) Comportamiento estructural durante el sismo:

- Daño estructural. Indica el nivel de daño que presentó la estructura debido al sismo, si ocurrió alguna falla en elementos estructurales, en qué grado se dio el daño o si se trató del colapso de la misma.
- Daño no estructural. Es el daño que presentaron las estructuras en elementos arquitectónicos o en los contenidos de los edificios, cancelas, libreros, entre otros.

d) Croquis

- En algunos casos se presenta el croquis de la estructura dañada, esta información es muy útil para ubicar las estructuras y para analizar la manera en que se distribuyeron los esfuerzos al momento de presentarse el sismo.

El reporte de daños cuenta con información de 303 estructuras, de las cuales 253 pertenecen a la delegación Cuauhtémoc. Éstas fueron ubicadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) de la delegación, a partir de la información del reporte y de otras fuentes de información. La base de datos que conforma el SIG ha sido realizada por el M. en I. Carlos Eduardo Quiroga Cuellar como parte de sus estudios de Doctorado dirigidos por el Dr. Eduardo Reinoso Angulo (Quiroga y Reinoso, 2005).

1.1.2 Catastro

El SIG de la delegación Cuauhtémoc está conformado con información obtenida de varias fuentes, entre ellas el Instituto de Geografía de la UNAM, que facilitó capas de información cartográfica para trabajar en el software ArcMap®, llamadas: manzanas, predios y construcción. La capa predios sólo contenía: área, perímetro y una clave para cada predio de la delegación. La clave de uso contiene información específica para cada predio que fue descifrada usando equivalencias proporcionadas por la Dirección del Sistema Cartográfico Catastral de la Subtesorería de Catastro y Padrón Territorial del gobierno del Distrito Federal; esta clave se conforma del uso de la edificación, la clase de la estructura que indica la calidad de construcción, el grado de conservación y la fecha de construcción o, en su caso, la fecha de la remodelación más reciente (Quiroga y Reinoso, 2004). La capa construcción contiene: área, perímetro y niveles de cada subárea construida en los predios en la delegación.

1.1.3 Modificaciones y mejoras al SIG

En la figura 1.1 se muestra la forma que tienen las capas en la cartografía del SIG, cada una incluye una tabla de atributos, que también se muestra con fines ilustrativos en dicha figura, donde aparece la información que conforma cada capa del SIG. Los datos que tenía cada capa han sido procesados en

algoritmos para calcular, por ejemplo, el número de pisos de cada predio, conociendo los niveles de cada subárea construida en el predio se calcula el total de niveles del predio (Quiroga, 2003).

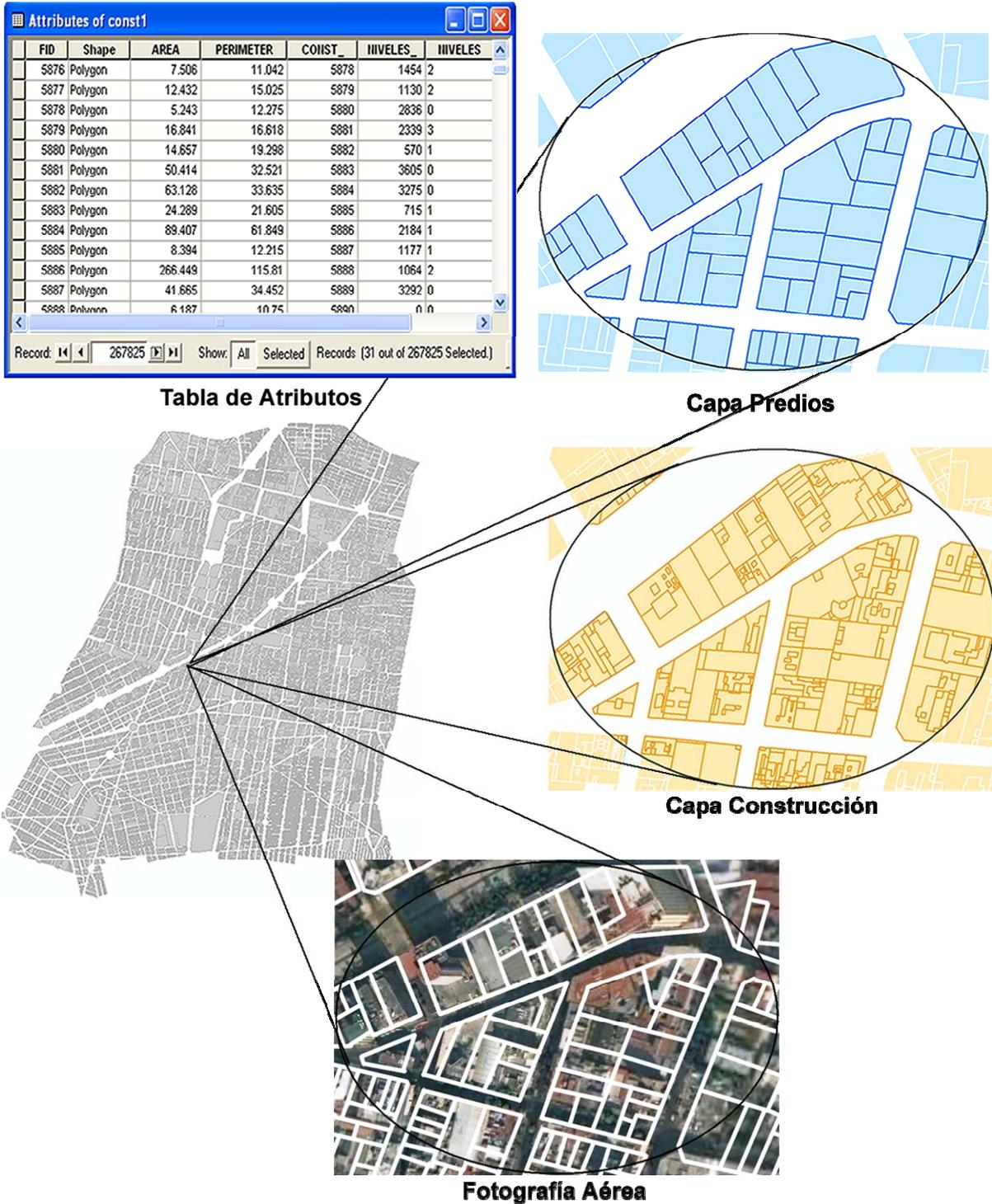


Figura 1.1 Apariencia del Sistema de Información Geográfica

También se hizo un algoritmo para calcular el nivel de irregularidad de cada predio en elevación y en planta. Se realizó conociendo el área construida, el número de niveles de cada subárea dentro del

predio y con la intersección de la capa predios con la capa construcción, hecha utilizando herramientas de ArcMap®, en la cual se vinculó la información de las dos capas con el dato Clave de Catastro. Con esta información se ponderaron los criterios que implican irregularidad como son: el número de áreas construidas en cada predio, el porcentaje de cada una de éstas, la diferencia entre el número de niveles, la relación área-perímetro, entre otros, que al sumarlos sirvieron para calificar la irregularidad de cada predio.

La cartografía representada en el SIG ha sido modificada la proyección geográfica, que es el sistema que traslada los paralelos y meridianos de la tierra a una superficie plana, ya que no coincidían las capas del SIG con las coordenadas geográficas de sitios de interés. Con ayuda de la ingeniera Sandra Quiroga Cuellar se colocó en la proyección correcta WGS_1984_UTM_Zone_14N, y se modificaron los predios de tal manera que coincidieran con una fotografía aérea de la Ciudad de México. En la capa de estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de 1985, se incorporó el nombre de la estructura, cantidad de atrapados para algunas estructuras y se localizaron algunas que no están registradas en el reporte de daños del Instituto de Ingeniería de la UNAM, por ejemplo los casos de la Comisión Mixta de Escalafón en Manuel Doblado, la Secretaría de Protección y Vialidad en Tlaxcoaque, entre otras.

1.1.4 Riesgo sísmico

El SIG ha sido utilizado para calcular el riesgo sísmico de la delegación Cuauhtémoc con el programa RSMex® (Ordaz, et al, 2000); éste calcula el riesgo sísmico como un porcentaje de pérdidas estimadas para cada estructura originadas ya sea por un sismo específico o para distintos períodos de retorno por la probabilidad de ocurrencia de todos ellos. El programa toma en cuenta las investigaciones más recientes en cuanto a los factores involucrados en la estimación del riesgo sísmico como son: la atenuación de ondas, las fuentes sísmicas y los efectos de sitio. El cálculo del riesgo sísmico requirió la incorporación de datos necesarios para 53,000 estructuras de la delegación obtenida mediante visitas de campo, esta información consta principalmente de:

- Datos de Referencia. Con los cuales se tiene un orden de las estructuras de las que se evalúa el riesgo sísmico.
- Datos de localización. Son aquellos que ubican la estructura según las coordenadas geográficas, además de incluir información sobre el tipo de suelo para calcular el peligro sísmico de la construcción.
- Datos de la estructura. Estos nos sirven para conocer la vulnerabilidad de la misma a partir de sus características estructurales. Éstas son: número de pisos, tipo y uso de la estructura, tipo de columnas, trabes, muros, contraventeos, ubicación en esquina o no, irregularidades en elevación, en planta, posibilidad de golpeteo, daño previo y hundimiento diferencial.

Este SIG es actualizado y modificado constantemente por el grupo de estudiantes de Posgrado de Ingeniería Civil de la UNAM, bajo la tutoría del Dr. Eduardo Reinoso Angulo, que realizan diversas investigaciones.

1.2 ZONA DE ESTUDIO

Para el análisis de estructuras dañadas por el sismo de 1985 se toma la delegación Cuauhtémoc, como una muestra representativa de lo que ocurrió en la Ciudad de México (figura 1.2). La delegación abarca el área que presentó mayores daños ocasionados por los sismos de septiembre de 1985. Resulta de

interés analizar lo que ocurrió con las estructuras en esta área además de calcular el riesgo sísmico que existe en la zona tratándose de una delegación con una gran importancia y complejidad en cuanto a servicios, población, estructuras e historia.

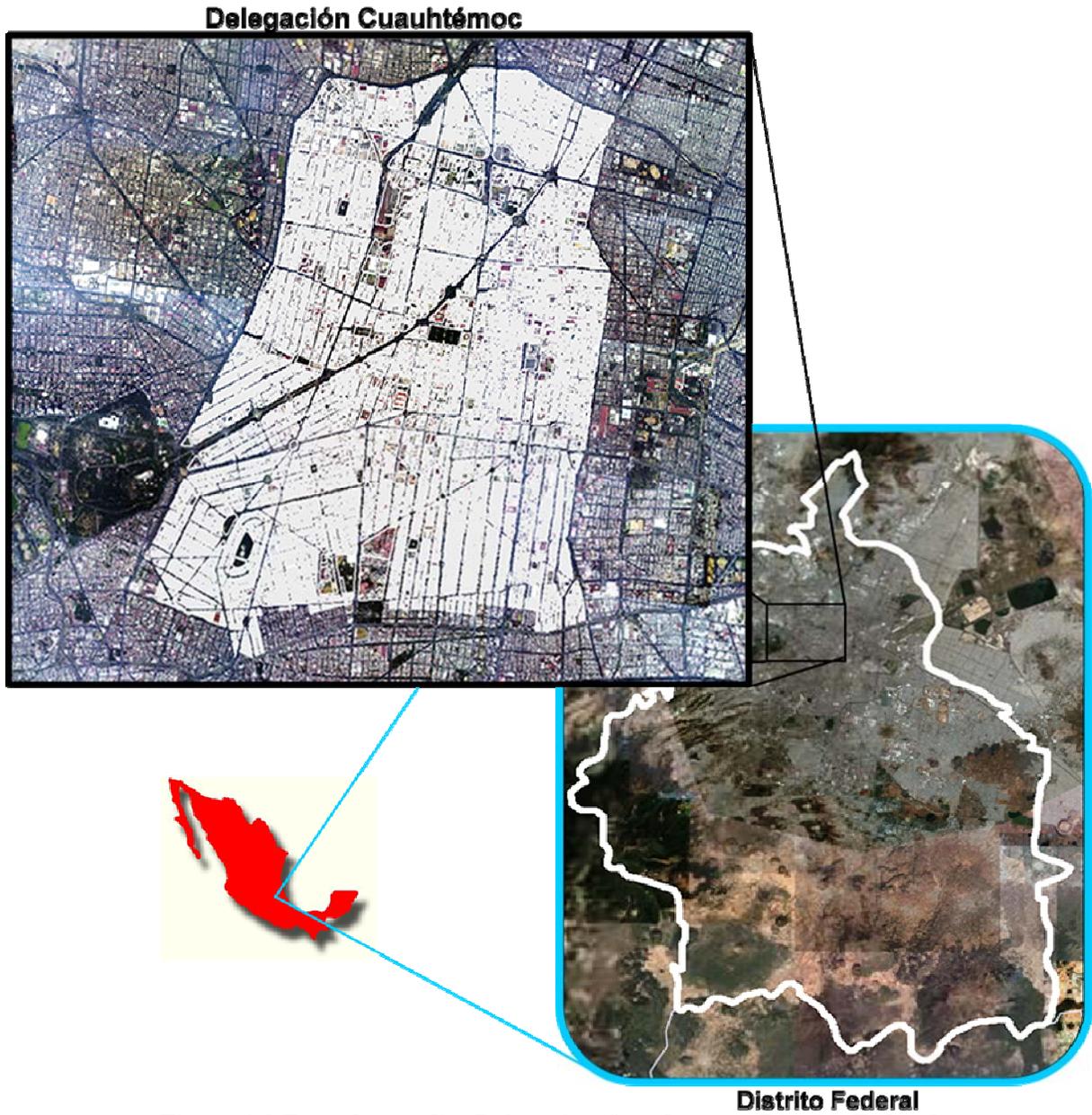
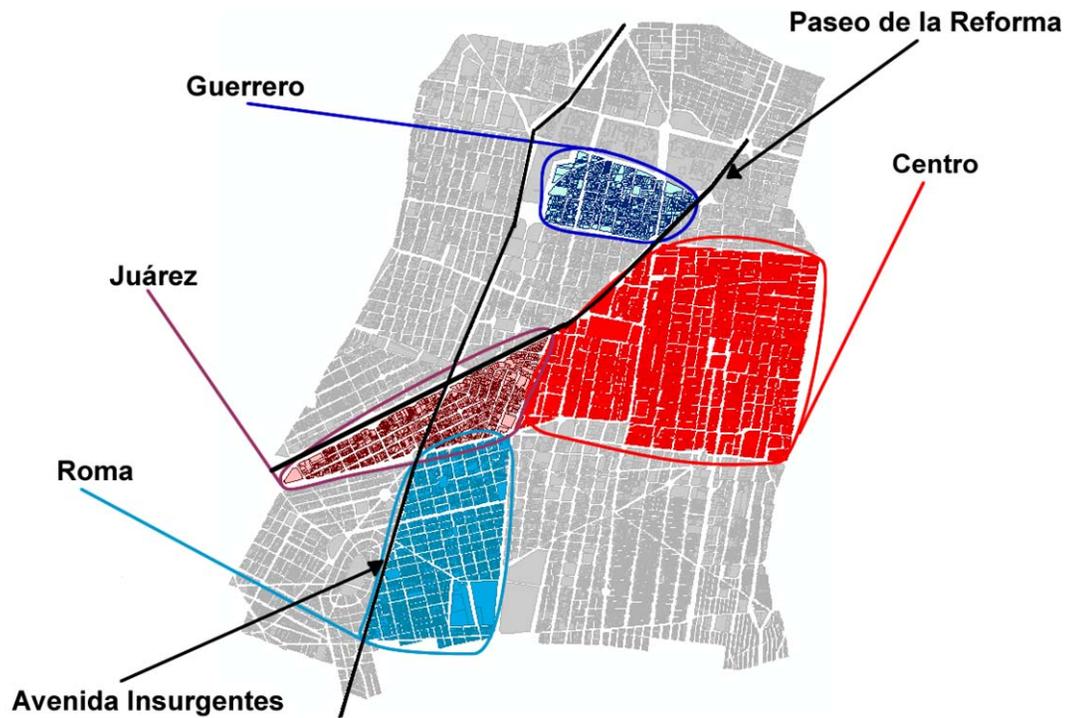
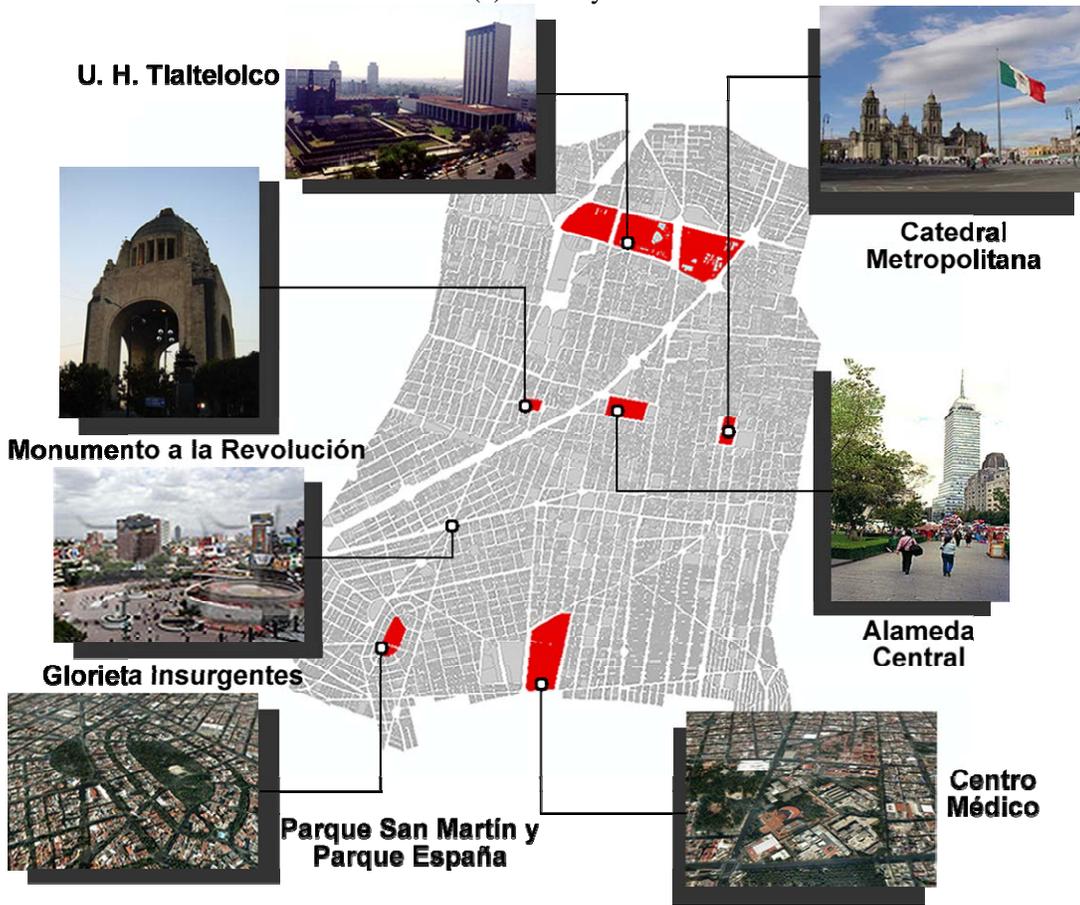


Figura 1.2 Zona de estudio: Delegación Cuauhtémoc, Distrito Federal

Según datos de la administración de la delegación Cuauhtémoc durante el 2006, ésta aporta el 4.6% del PIB nacional, cuenta con una población flotante de 5 millones de personas diarias, tiene más de 500,000 habitantes y por ella transitan del orden de 800,000 vehículos al día. Ocupa el 2.2% del territorio del Distrito Federal con 3,244 hectáreas y cuenta con 1,500 inmuebles catalogados como patrimonio nacional.



(a) Calles y Colonias



(b) Sitios de Interés

Figura 1.3 Ubicación de algunas referencias en la delegación Cuauhtémoc utilizando el SIG

El suelo es de origen lacustre formado por grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad que subyacen a una costra endurecida superficial. Corresponde a la zona III (zona de lago) según la zonificación geotécnica del Distrito Federal. En este suelo se presentan hundimientos regionales debido a la extracción de agua y a la consolidación de suelo por la carga de las estructuras, éstos provocan hundimientos diferenciales que generan esfuerzos en las estructuras para los cuales no han sido diseñadas.

En la delegación Cuauhtémoc existen colonias, calles y lugares de los que se hará referencia con frecuencia por lo que conviene indicarlas en la cartografía para una mejor ubicación. En la figura 1.3 se muestran las colonias Centro, Guerrero, Juárez y Roma, así como cuáles son la avenida Insurgentes y el Paseo de la Reforma; se muestra la ubicación de la Unidad Habitacional Tlaltelolco, Monumento a la Revolución, la Catedral Metropolitana y la Glorieta de Insurgentes, entre otros.

1.3 ESTADÍSTICAS DE ESTRUCTURAS EXISTENTES EN LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC EN 1985

A continuación se presentan estadísticas obtenidas a partir del SIG de la delegación Cuauhtémoc con las estructuras construidas hasta 1985, para las cuales existe la información necesaria para estimar el riesgo sísmico, la mayor parte de ésta fue obtenida a partir de la clave de uso que tiene cada estructura en el SIG, la cual fue descifrada como se mencionó en la sección 1.1.2.

El 56% de las estructuras existentes en 1985 fueron construidas, o tuvieron su última fecha de remodelación, entre 1957 y 1985. Durante esa época se modificaron varias avenidas de la delegación Cuauhtémoc, se terminó la construcción de la Estación de Ferrocarriles Buenavista, ubicada al norte de la delegación, esto impulsó el desarrollo de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco de 201 edificios con servicios, también se ordenó el comercio ambulante en los mercados Lagunilla, Tepito y Merced. El 44% eran estructuras construidas antes de 1957 con reglamentos de construcción que no tomaban en cuenta el diseño sísmico o que lo hacían de manera deficiente, y con historia previa de eventos sísmicos que, en algunos casos, habían provocado daños.

En la figura 1.4 se muestra la gráfica de las estructuras existentes en la delegación Cuauhtémoc en 1985 según el número de pisos y el uso que tenían, un 73% de las estructuras tenía como uso vivienda, y éstas tenían entre uno y seis pisos con una concentración de viviendas de tres pisos; en menor cantidad se encontraban los comercios con un 6.6%, de dos y tres pisos, las oficinas gubernamentales y privadas ocupaban casi el 6% y estructuras de hasta cuatro pisos en su mayoría, las oficinas junto con los hoteles ocupaban las estructuras más altas. El 33% de las estructuras era de cuatro pisos, el 26% tres pisos, estructuras de dos y cinco pisos ocupaban el 10% cada una.

Podemos decir que la mayor parte de las estructuras existentes en 1985 en la delegación Cuauhtémoc eran viviendas construidas después de 1957 con altura de hasta seis pisos, que las viviendas, oficinas y hoteles ocupaban las estructuras más altas.

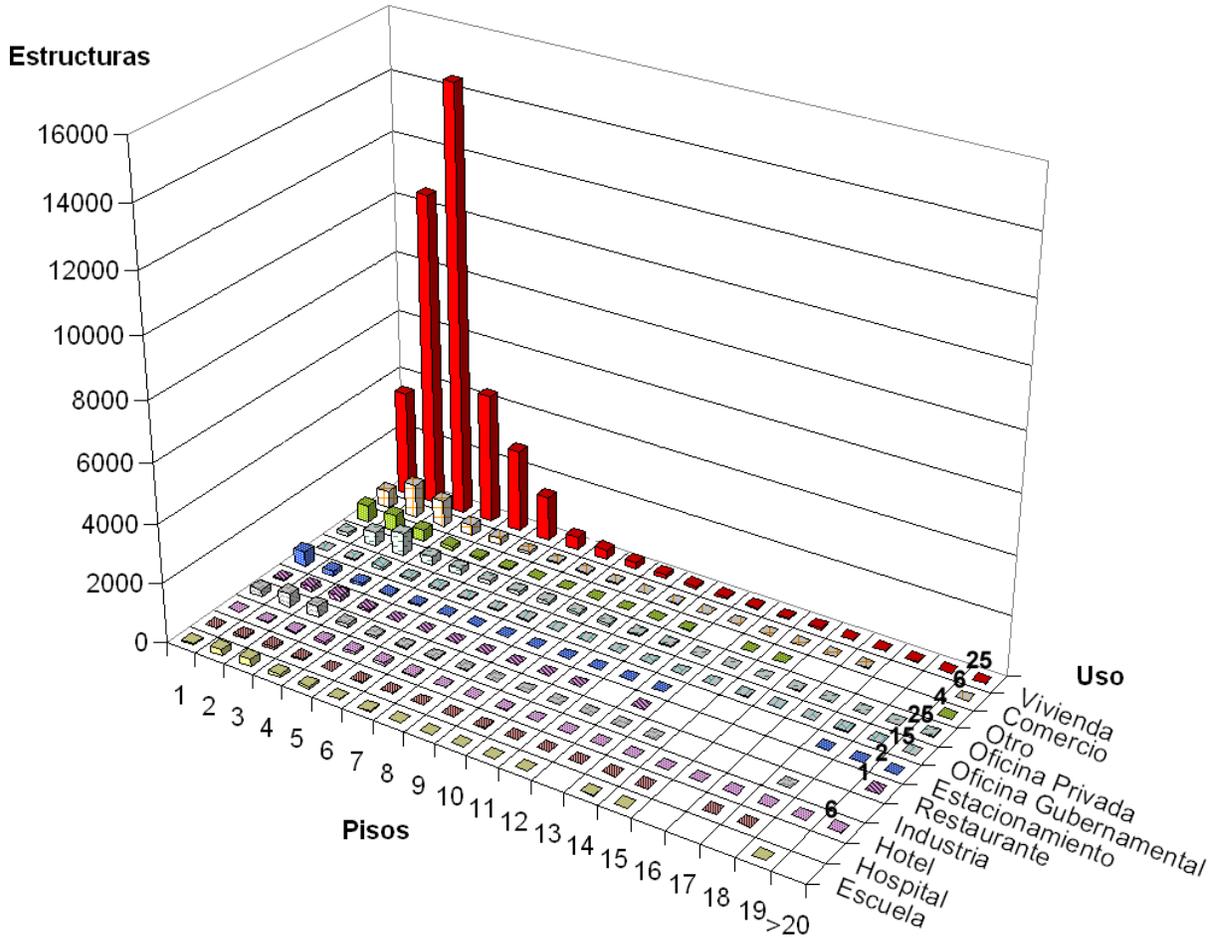


Figura 1.4 Estructuras existentes en 1985. Número de pisos y uso

De la figura 1.5 a la 1.7 se muestra la cartografía de la delegación Cuauhtémoc contenida en el SIG que nos da la distribución espacial de las estructuras existentes en 1985. La construcción de estructuras después de 1957 se dio de manera distribuida (figura 1.5a), cabe mencionar que la delegación Cuauhtémoc ha sido el centro comercial, religioso y de poder desde antes de la época colonial por lo que existen todavía estructuras construidas desde el siglo XVI, algunas cimentadas sobre pirámides como es el caso de la Catedral Metropolitana. En la figura 1.6b se observan las construcciones realizadas después de 1957, se nota la construcción del conjunto Tlaltelolco y algunas construcciones en Paseo de la Reforma, así como construcciones en las colonias Guerrero, Centro, Juárez y Roma, debido al auge en la construcción en la zona comentado anteriormente.

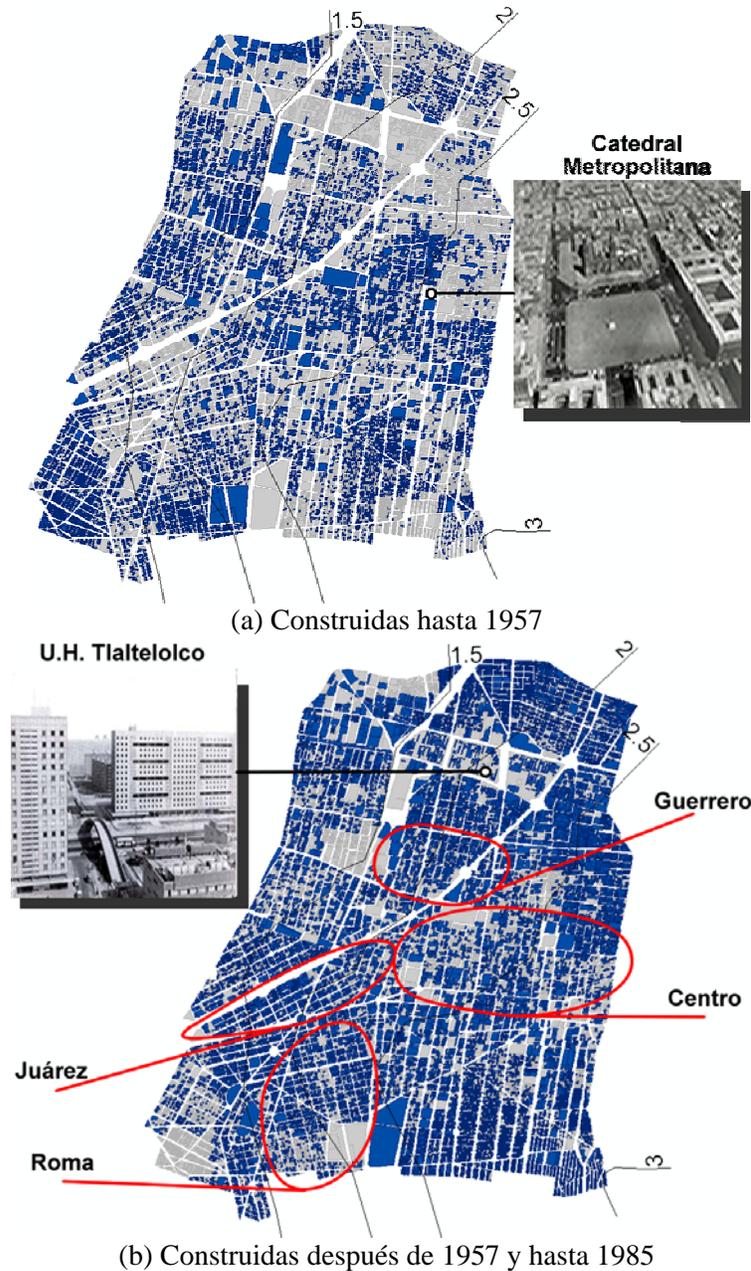


Figura 1.5 Distribución de estructuras en la delegación Cuauhtémoc en 1985 por año de Construcción: (a) Construidas hasta 1957, (b) Construidas después de 1957 y hasta 1985

En la figura 1.6 vemos que la mayor parte de las estructuras existentes en 1985 en la delegación tenían menos de cinco pisos y estaban distribuidas de manera uniforme, las estructuras de entre cinco y diez pisos se encontraban en su mayoría en las colonias Centro, Cuauhtémoc, Tabacalera, San Rafael, Juárez y al sur-poniente de la delegación en las colonias Roma y Condesa, podemos observar Centro Médico y Hospital General (figura 1.6b). Las estructuras con más de diez pisos estaban ubicadas en las calles principales de la delegación como son Paseo de la Reforma e Insurgentes, presentando una concentración en la colonia Roma, también con un buen número de estructuras en los ejes viales, San Antonio Abad, Chapultepec, Circuito Interior y el Eje 2 Norte donde se encuentra todavía la Unidad Tlaltelolco (figura 1.6c).

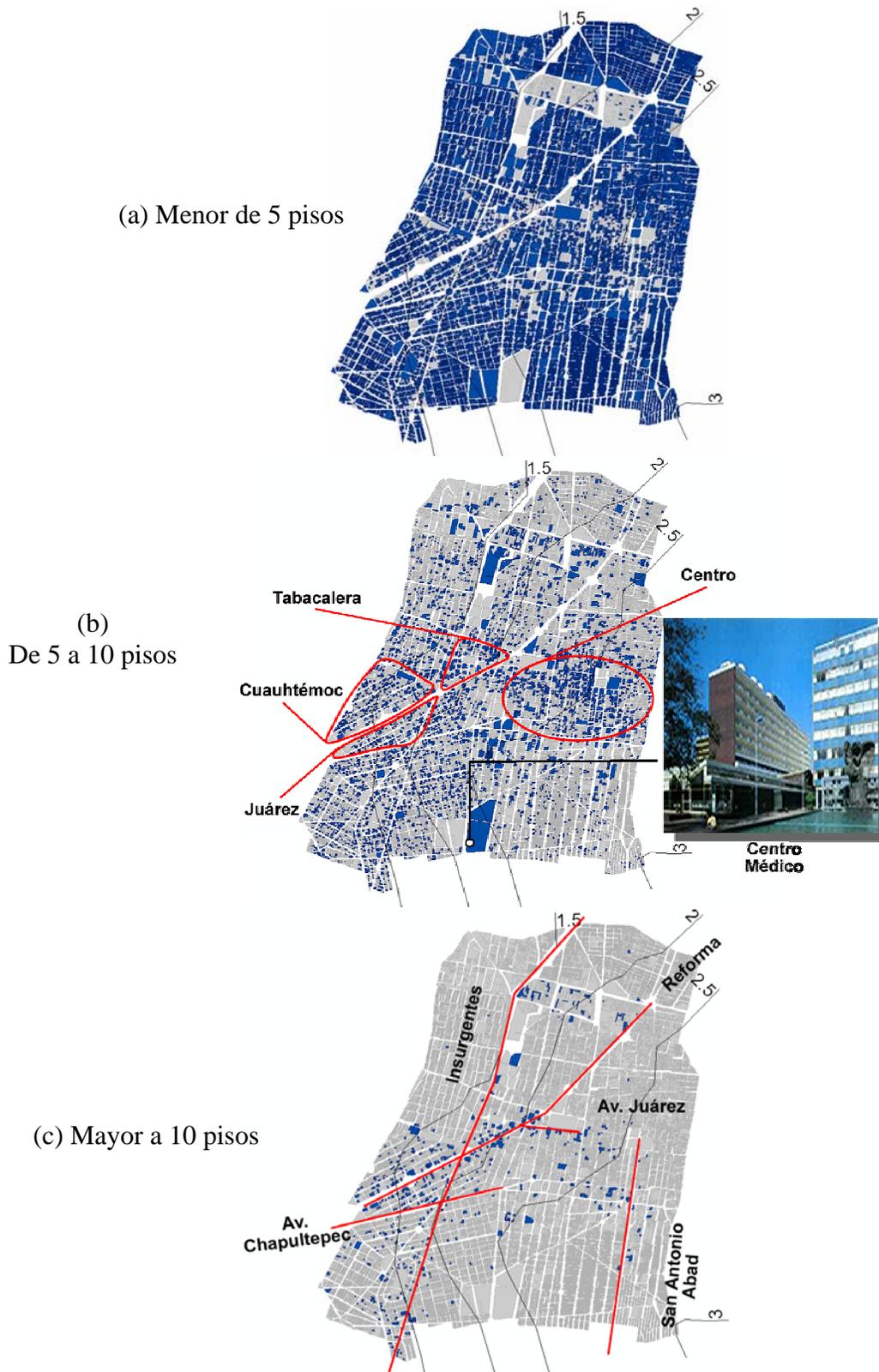


Figura 1.6 Distribución de estructuras en la delegación Cuauhtémoc en 1985 por número de pisos: (a) Menor de 5 pisos, (b) De 5 a 10 pisos, (c) Mayor a 10 pisos

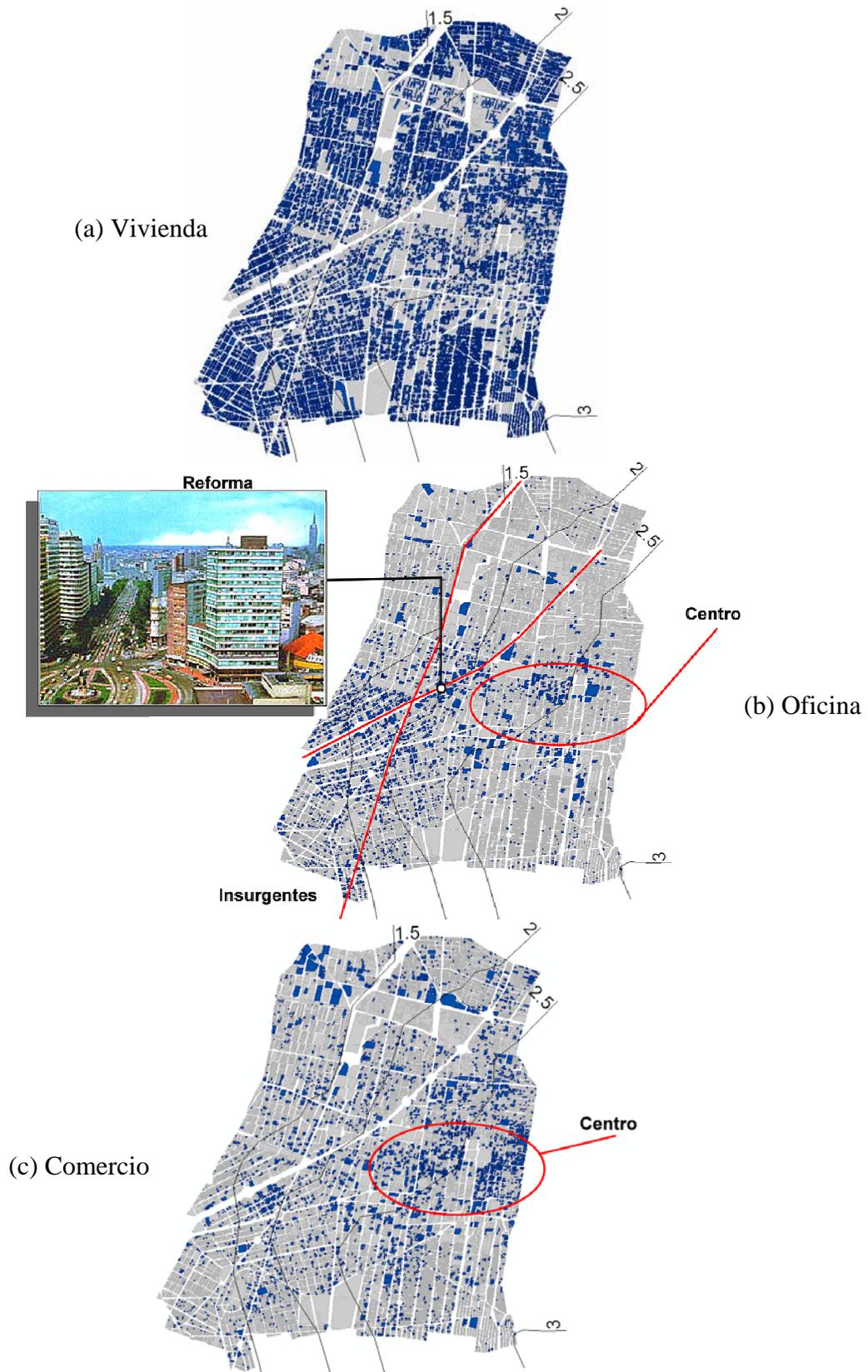


Figura 1.7 Distribución de estructuras en la delegación Cuauhtémoc en 1985 según su uso: (a) Vivienda, (b) Oficina y (c) Comercio

La figura 1.7 muestra la distribución de estructuras a partir de su uso. El uso vivienda se encontraba distribuido de forma similar en toda la delegación, el uso oficina estaba ubicado hacia las avenidas principales, que es donde también se encontraban los edificios más altos, y también en el Centro. El comercio se presentaba en toda la delegación habiendo una concentración de estructuras en la colonia Centro.

Estas configuraciones permanecen aproximadamente igual a la fecha, estructuras altas en las avenidas principales donde también se ubican las oficinas, mientras que el comercio se encuentra más o menos distribuido por toda la delegación con una concentración en la colonia Centro.

1.4 ANÁLISIS DEL REPORTE DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985

Las estructuras afectadas por los sismos de septiembre de 1985 fueron estudiadas en el reporte de daños del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986), según el nivel de daño observado en las visitas que se hicieron para registrarlas.

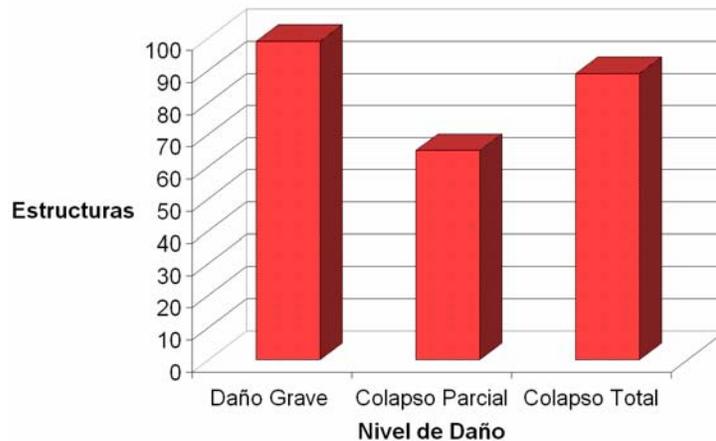


Figura 1.8 Estructuras con daño en los sismos de septiembre de 1985 de acuerdo al nivel del mismo

Doscientas cincuenta y tres estructuras fueron estudiadas en la base de datos para la delegación Cuauhtémoc. Las estructuras reportadas con daño grave, son aquellas que presentaban daños a algunos elementos estructurales, como grietas y desprendimientos, las que presentaron colapso parcial son las que fallaron en algún apéndice o en algunos pisos, las registradas como colapso total fueron las que fallaron completamente. En la figura 1.8 observamos que se presentó una distribución uniforme en cuanto al nivel de daño que ocurrió: 99 estructuras con daño grave, 65 colapso parcial y 89 colapso total.

El 54% de las estructuras dañadas en los sismos de 1985 fueron construidas antes de 1957, antes de las modificaciones al reglamento de construcciones hechas con motivo del sismo que ocurrió el 28 de julio de 1957, el cual reveló las deficiencias con las que se construía y marcó la pauta para desarrollar normas más estrictas en cuanto a diseño por sismo. La historia previa de cada estructura ante eventos sísmicos marca la posibilidad de cambio en la rigidez del edificio, aumentando el período natural de la estructura, con lo cual se puede dar el fenómeno de resonancia que será explicado más adelante. El restante 46% de estructuras dañadas fueron construidas después de 1957, este es un porcentaje alto

tomando en cuenta que el reglamento con el que se construyó contaba con investigaciones sobre ingeniería sísmica y fue modificado aproximadamente cada diez años; además, el período de 1957 a 1985 es relativamente pequeño pero hubo muchos proyectos de urbanización en la zona.

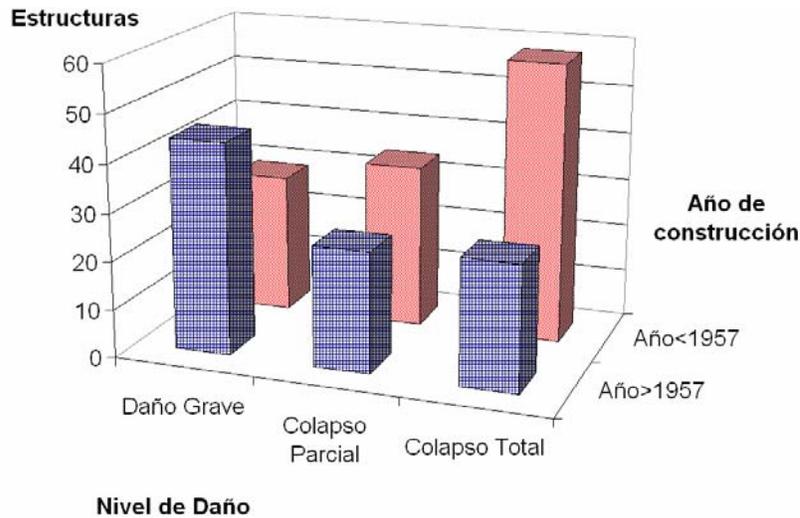


Figura 1.9 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985. Año de construcción vs. Nivel de daño

En la figura 1.9 vemos como las estructuras que sufrieron daño grave fueron construidas en su mayoría después de 1957 mientras que las que sufrieron colapso total fueron construidas en gran parte antes de 1957, por lo que se afirma que la historia previa de eventos sísmicos en las estructuras es un factor importante de riesgo, ya que éste las ubica como construcciones que pueden sufrir colapso, también se nota que las modificaciones a las normas de construcción a razón del sismo del 57 provocaron mejoras en el comportamiento de las estructuras, haciendo que presentaran daño grave y en menor cantidad colapso.

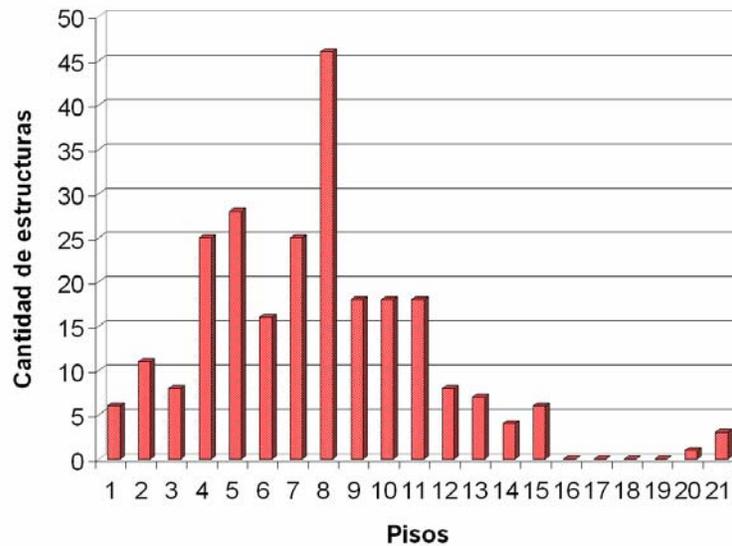


Figura 1.10 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985 según el número de pisos

La mayoría de las estructuras dañadas tenían entre cuatro y once pisos, como se observa en la figura 1.10, en la cual se nota una mayor cantidad de estructuras de ocho pisos con daños; fueron 46

estructuras con este número de niveles lo que representa al 19% del total de estructuras dañadas en la delegación, siguiendo aquellas de cinco pisos con el 11% y las de cuatro y siete pisos con 10% cada una. Tomando en cuenta que la mayoría de estructuras en la delegación era de menos de cinco pisos, se muestra que existió un mayor daño relativo en las estructuras de siete y ocho pisos.

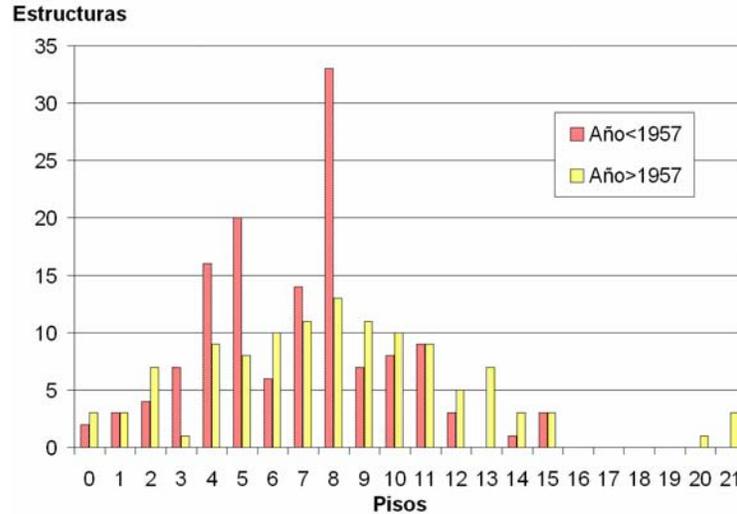


Figura 1.11 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985. Número de pisos vs. Año de Construcción

En la figura 1.11 vemos que la mayoría de las estructuras de tres, cuatro, cinco y ocho pisos que sufrieron daños fueron construidas antes de 1957 con un reglamento de construcción inapropiado, mientras que las estructuras dañadas de más de diez pisos fueron construidas después de 1957.

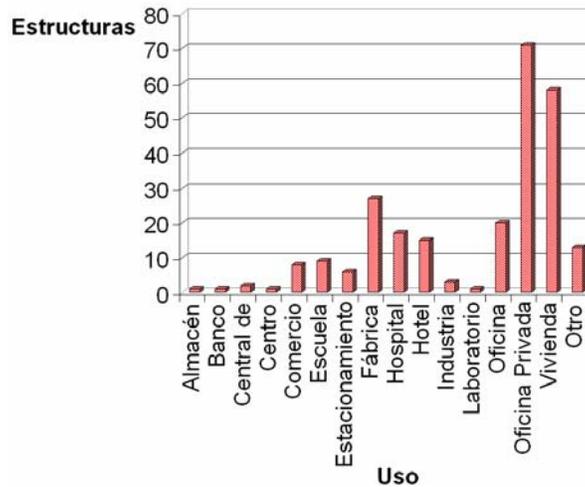


Figura 1.12 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985 según su uso

Muchas estructuras que se afectaron tenían como uso oficina privada (figura 1.12), el segundo lugar lo ocupa el uso vivienda que es el que abundaba en la delegación Cuauhtémoc. Las estructuras con uso fábrica también resultaron afectadas, es el caso conocido de las fábricas de costura, en las que el daño se presume se dio por la sobrecarga que soportaban los edificios al no ser el uso para el que fueron diseñados. Sobresale también el número de estructuras con uso hospital y escuela que resultaron dañadas.

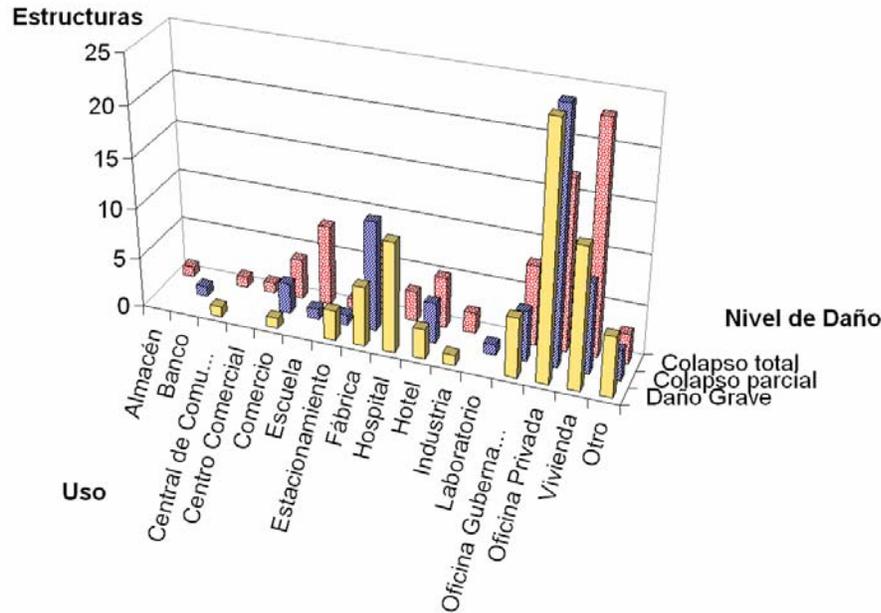


Figura 1.13 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985.
Uso vs. Nivel de daño

En la figura 1.13 se muestra la distribución del nivel de daño que tuvieron las estructuras comparándolo con el uso de éstas; se nota que ocurrió el colapso total de muchas viviendas, mientras que para el caso de uso oficina privada los daños que se dieron fueron colapso parcial y daño grave. Las escuelas de la muestra colapsaron por completo, en el caso de los hospitales presentaron daño grave y una parte tuvo colapso total, sin embargo los uso escuela y hospital forman parte de las estructuras que no debieron presentar daños.

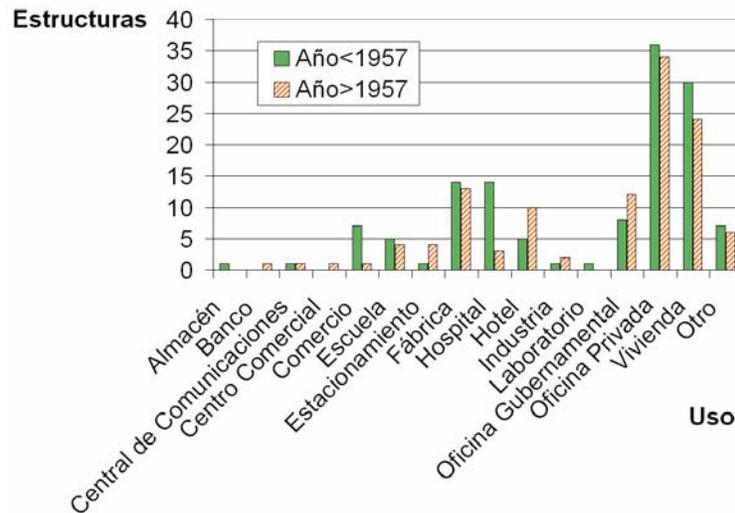
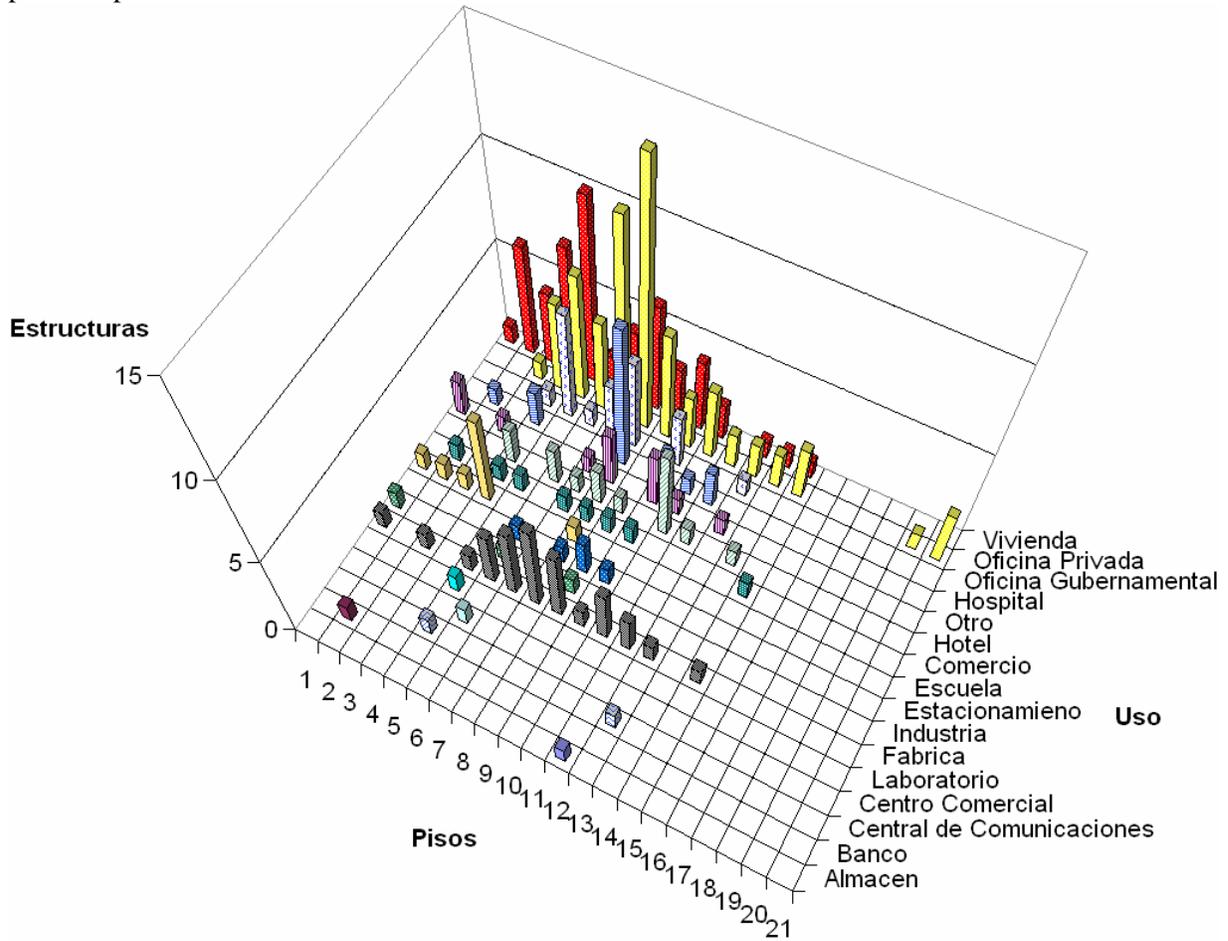


Figura 1.14 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985.
Uso vs. Año de construcción

En la figura 1.14 se presentan las estructuras dañadas por uso y año de construcción, vemos que los comercios y hospitales que sufrieron daño fueron construidos antes de 1957, hubo tres hospitales que fueron construidos después de 1957, dos de ellos se dañaron por falla en la cimentación, presentaron

daño grave y uno de estos fue el Hospital Juárez el cual colapsó por completo. Las escuelas, fábricas, oficinas privadas y viviendas se construyeron casi en la misma proporción en los dos períodos. Los estacionamientos, hoteles y oficinas gubernamentales que sufrieron daño fueron construidos en gran parte después de 1957.



**Figura 1.15 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985.
Número de pisos vs. Uso**

Las viviendas que resultaron afectadas tenían en su mayoría cinco pisos, mientras que las oficinas, hoteles y hospitales se encontraban en los ocho pisos, las estructuras altas que resultaron dañadas tenían como uso oficina privada. Muchas de las escuelas con cuatro pisos resultaron afectadas. Todo esto se aprecia en la figura 1.15.

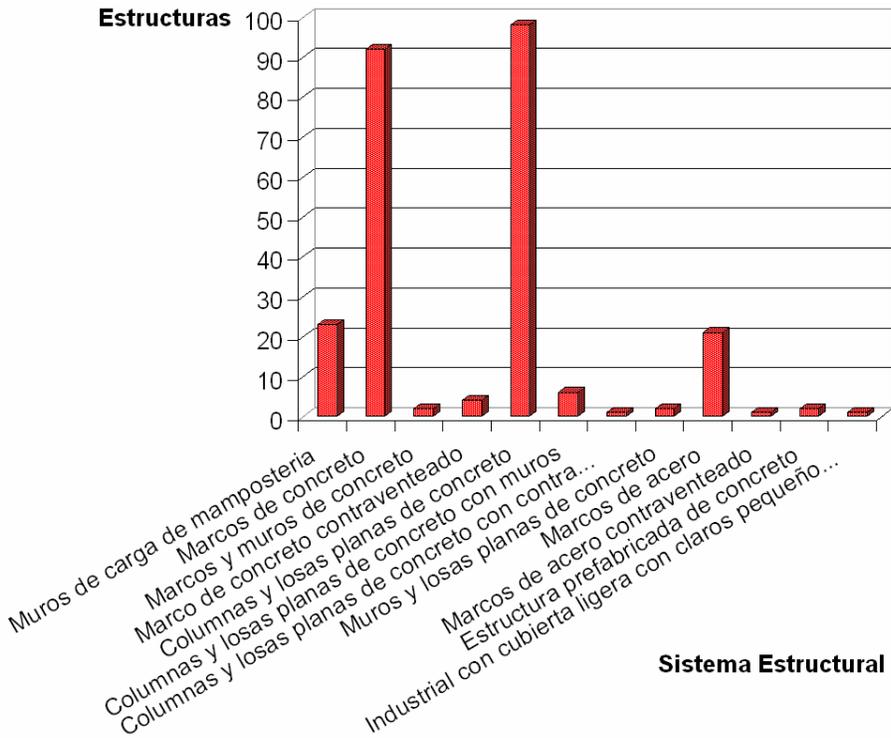


Figura 1.16 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985 según el sistema estructural

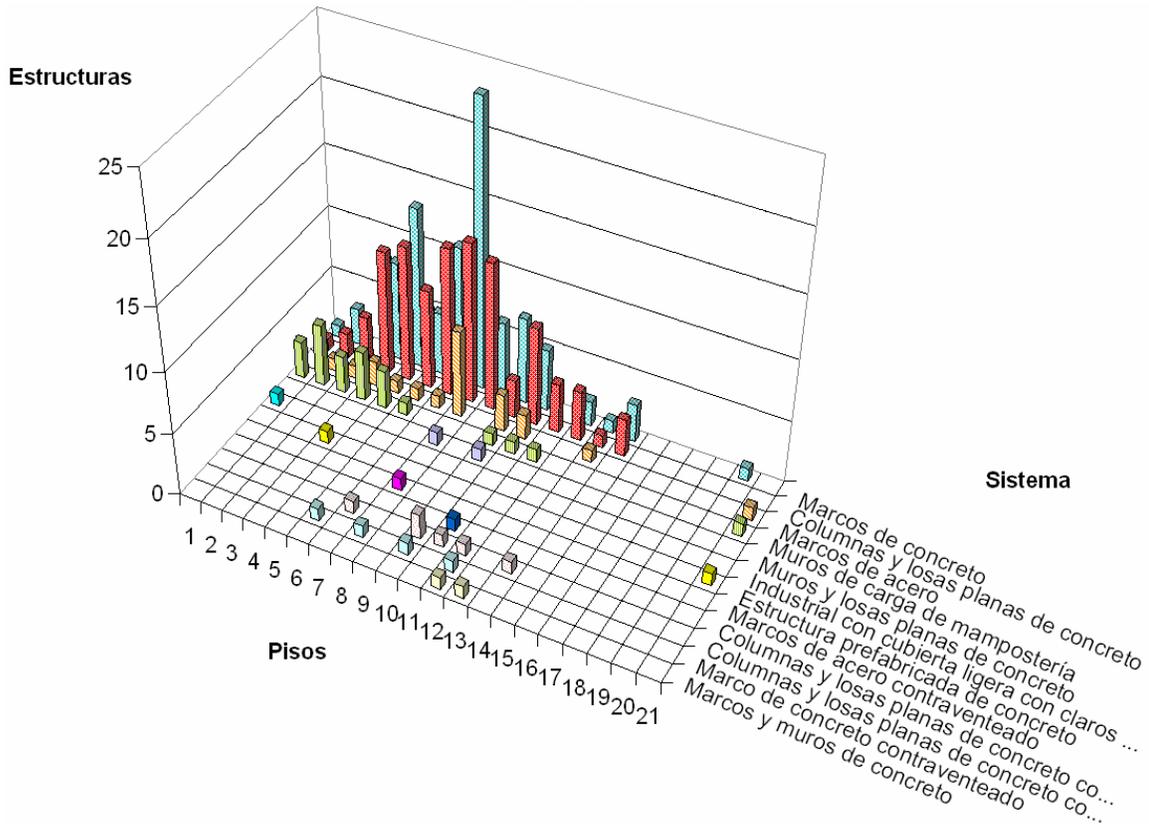
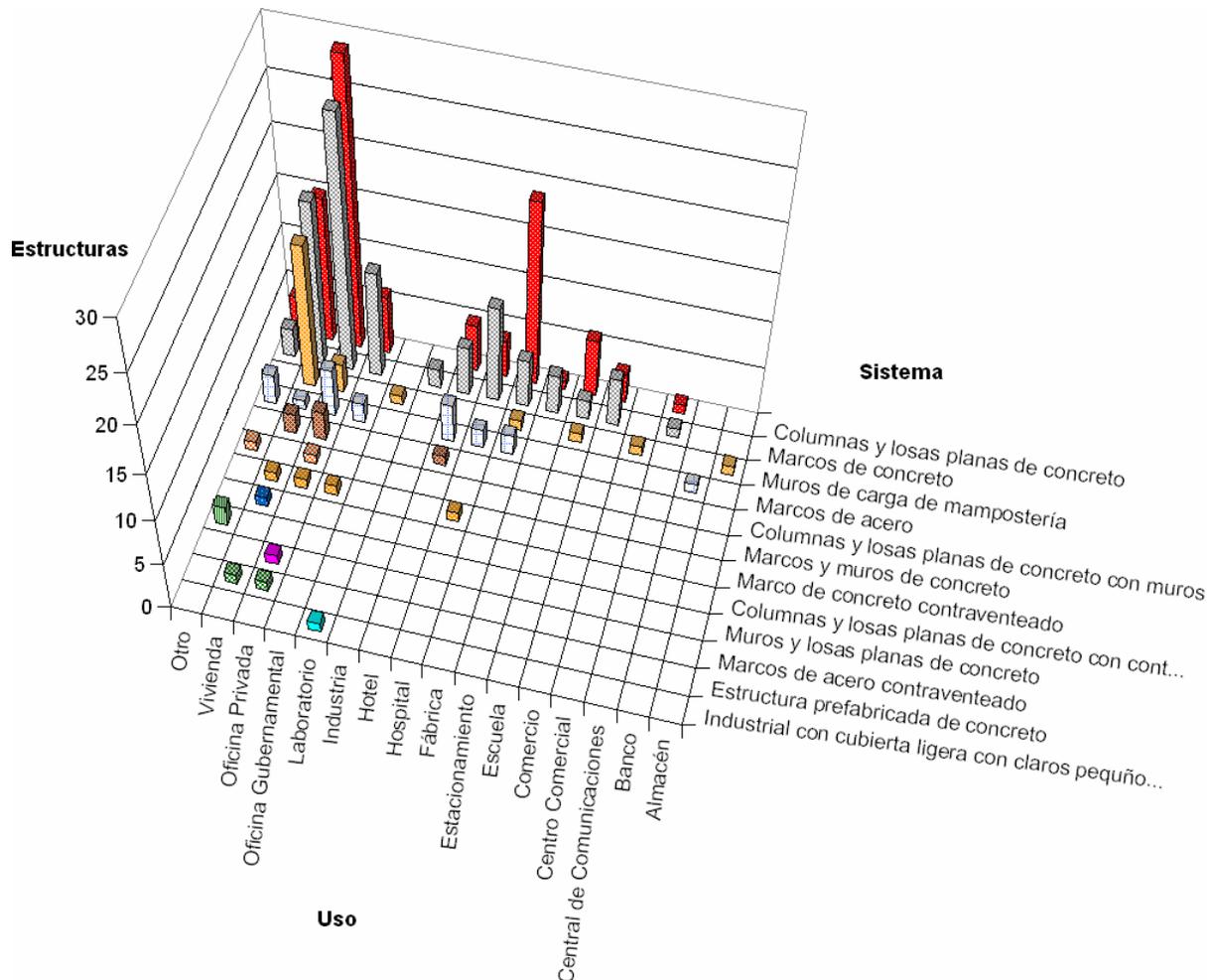


Figura 1.17 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985. Sistema estructural vs. Número de pisos

En la figura 1.16 se observa que los sistemas estructurales que más sufrieron daños fueron las columnas y los marcos de concreto con losa plana. En menor cantidad se encuentran las construcciones a base de muros de carga de mampostería y los marcos de acero, en el caso de muros de carga de mampostería se esperaba un número mayor de estructuras dañadas, ya que este sistema presenta menor resistencia y capacidad de carga, mientras que en marcos de acero se presenta un gran número de estructuras dañadas, de las cuales se esperaría un mejor comportamiento por la ductilidad que ofrece el material. Las estructuras a base de muros de mampostería, de marcos de concreto y las estructuras de acero que se derrumbaron fueron construidas con una pequeña diferencia antes de 1957, lo que indica una posible deficiencia en la forma de construir esos sistemas en aquellos años que depende de las que existían. Las estructuras a base de columnas y losa plana de concreto no muestran mejora de construcción con los reglamentos modificados ya que resultaron igualmente dañados en los dos períodos de año de construcción considerados.

Los marcos de concreto, losa plana y marcos de acero que sufrieron daño tenían entre cuatro y ocho pisos (figura 1.17), las estructuras con muros de carga de mampostería tenían menos de cinco pisos. Las estructuras de marcos de acero y las de concreto tenían un mayor número de estructuras de ocho pisos con daño, esto indica que estos sistemas en particular sufren algún tipo de esfuerzos si tiene este número de pisos. Las estructuras de mampostería tenían en su mayoría alturas de hasta cinco pisos.



**Figura 1.18 Estructuras dañadas en los sismos del septiembre de 1985.
Sistema Estructural vs. Uso**

Existieron estructuras dañadas con casi todos los usos que fueron construidas con columnas y marcos de concreto con losa plana, como se muestra en la figura 1.18. Se observa como las oficinas privadas que se dañaron fueron construidas con todos los sistemas estructurales, hubo algunas construidas con marcos de acero contraventeados. Las viviendas dañadas también fueron construidas con casi todos los sistemas estructurales y en éstas hubo algunas con columnas y losa plana de concreto con contraventeos. Se observa la concentración de los usos vivienda y oficinas, construidos con columnas y losa plana de concreto y los marcos de concreto.

El 53% de las estructuras dañadas estaban ubicadas en la esquina, lo que nos hace ver que la ubicación esquina es un factor de riesgo importante para las estructuras. Este factor es debido a los efectos de torsión provocados por la diferencia de rigidez entre las fachadas y los muros de colindancia, que casi siempre se da en la estructuración en esquina, por lo que es importante desligar los muros de colindancia de las columnas para que no contribuyan en la rigidez o garantizar simetría en la distribución de rigideces.

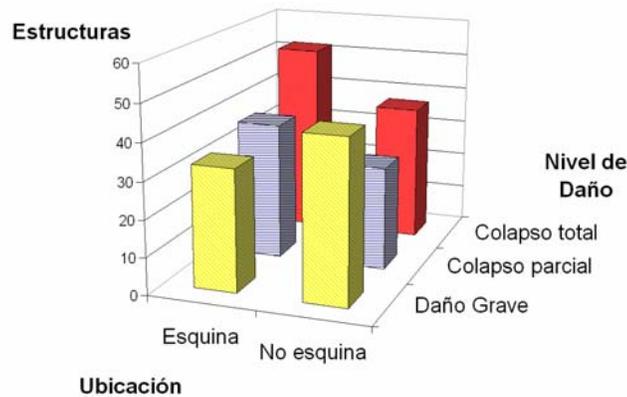


Figura 1.19 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985. Ubicación vs. Nivel de daño

En la figura 1.19 se observa el nivel de daños de las estructuras considerando su ubicación en esquina; se nota que las estructuras ubicadas en esquina presentaron muchos casos con colapso total, mientras que las que no estaban en esquina sufrieron daños graves. La ubicación en esquina no sólo es un factor de riesgo, también es un índice del nivel de daño que pueden presentar las estructuras.

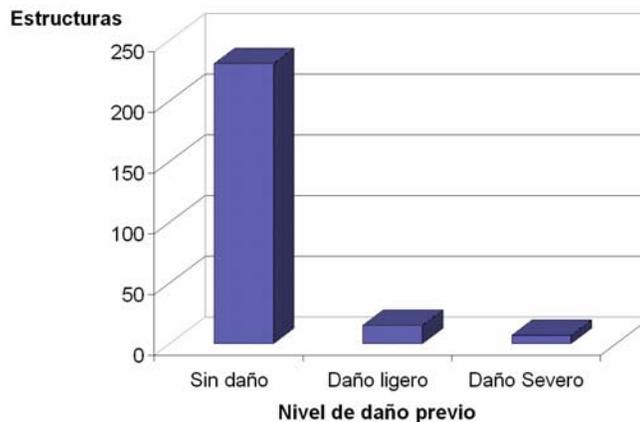


Figura 1.20 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985 según el nivel de daño previo

Las estructuras afectadas no tenían daño previo según lo que se muestra en la figura 1.20, esto se debe a que en el reporte de daños existen pocas estructuras en las cuales se haya registrado la presencia de daños previos, sin embargo podemos pensar que muchas de las estructuras que se afectaron no presentaban daños previos ya que muchas fueron construidas después de 1957, es decir, no es un factor importante ya que en 1985 se dañaron estructuras presentaran o no daño previo, aún y cuando estos daños modifiquen el período de las estructuras y disminuyen su resistencia.

Se puede concluir que gran parte de las estructuras dañadas por los sismos de 1985 fueron construidas antes de 1957 con una altura de entre cuatro a ocho pisos con uso vivienda, oficina y fábrica, construidas con marcos de concreto, columnas y losas plana de concreto, ubicadas en esquina, esto servirá para el análisis de estructuras del siguiente capítulo. No existe una mejora considerable en los códigos de construcción posteriores a 1985. Los daños previos no son factor de riesgo notable en las estructuras, pero si puede ser un índice del nivel de daño. La ubicación en esquina es un factor de daño importante. La construcción que se hizo entre 1957 y 1985 fue utilizando nuevas técnicas constructivas y haciendo diseños más arriesgados, edificios más altos por ejemplo, con poco conocimiento del comportamiento que presentarían ante un sismo.

La figura 1.21 muestra la distribución espacial de las estructuras dañadas en los sismos de 1985; ésta es la capa del Sistema de Información Geográfica que contiene datos del reporte de daños del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986). Observamos que las estructuras dañadas se ubicaron en su mayoría en las colonias Centro, Doctores, Condesa, Morelos, Obrera, Roma y Juárez principalmente, en la franja que representa al suelo con período dominante de 2.0 a 2.5 segundos.



Figura 1.21 Distribución de las estructuras dañadas por los sismos de septiembre de 1985

No existe una relación entre el año de construcción de las estructuras afectadas y su ubicación (figura 1.22), y no podemos decir que hubo un foco de estructuras dañadas construidas antes de 1957 ya que la distribución es igual en toda la delegación Cuauhtémoc, vemos como algunas de las estructuras dañadas construidas después de 1957 se encuentran ubicadas en las principales avenidas. Como se mencionó anteriormente existió una proporción similar de estructuras dañadas construidas antes y después de 1957, el 54% y el 46% respectivamente, considerando que en el período de 1957 a 1985 se construyó o modificó el 56% de las estructuras existentes en ese año, podemos decir que no existió una mejora considerable en la forma de construir después de 1957, aún cuando ya existía un nuevo reglamento de construcción originado por el sismo de 1957. Esto se debe a la forma en que evolucionó la manera de construir en ese período, situación que se ve hasta nuestros días, la tecnología y modos de construir evolucionan, mientras que los reglamentos se encuentran rezagados.

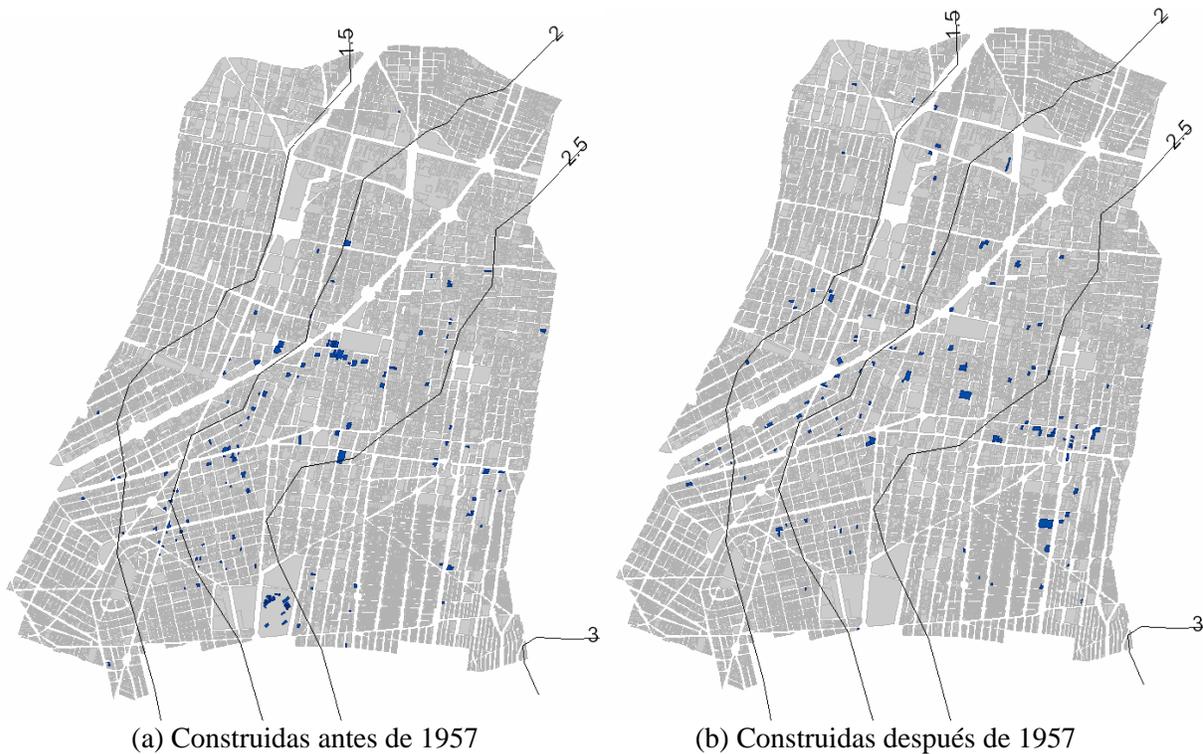


Figura 1.22 Estructuras dañadas por los sismos de septiembre de 1985. Según el año de construcción: (a) Construidas antes de 1957, (b) Construidas después de 1957

En la figura 1.23 se presenta la distribución de estructuras dañadas según el número de pisos. Vemos como hay una concentración clara de estructuras de cinco a diez pisos ubicadas en la franja de períodos predominantes del suelo de 2.0 a 2.5 segundos. En la sección 1.3 vimos la distribución de estructuras existentes hasta 1985, recordando, las estructuras con un número de pisos menor a cinco se encontraban distribuidas uniformemente por toda la delegación. Esto hace más notoria la concentración de estructuras dañadas con menos de cinco pisos ubicadas en la franja de períodos del suelo de 2.0 a 2.5 segundos.

La figura 1.24 muestra la distribución de estructuras dañadas a partir del uso que tenían. En particular se observa como el uso vivienda (figura 1.24a) se localizó en las colonias Roma y Juárez, mientras que el uso oficina (figuras 1.24b) se encontró en la colonia Juárez, observamos los usos fábrica y hotel (figura 1.24c) que sufrieron daños se encontraban sobre San Antonio Abad y José María Izazaga. En la figura 1.24d vemos la ubicación de los hospitales, Centro Médico y Hospital Juárez, también se notan las escuelas que estaban en Avenida Chapultepec.

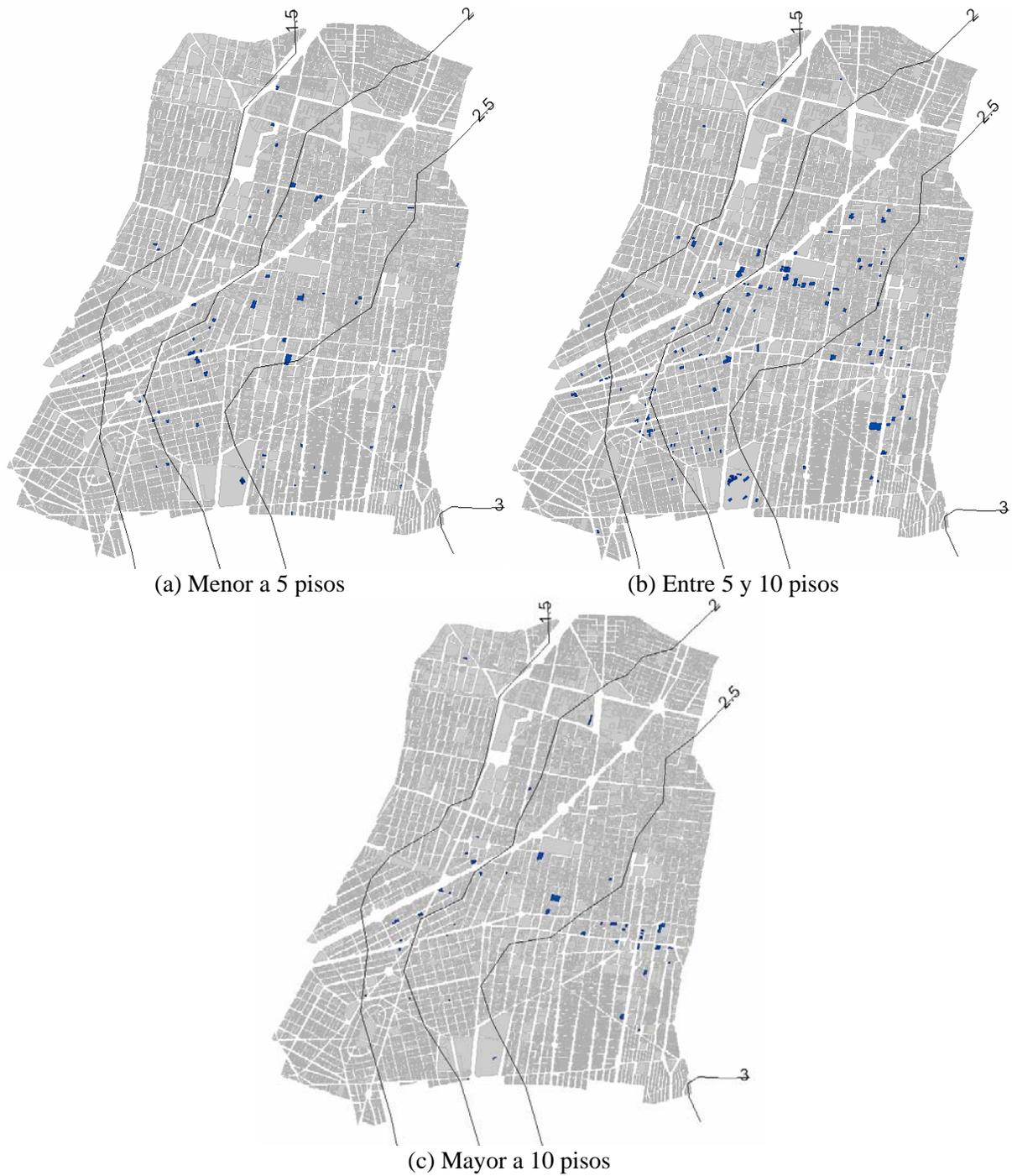


Figura 1.23 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985. Según el número de pisos: (a) Menor a 5 pisos, (b) Entre 5 y 10 pisos y (c) Mayor a 10 pisos



Figura 1.24 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985 según su uso: (a) Vivienda, (b) Oficina (c) Fábrica y hotel, (d) Hospital y escuela

Es importante conocer la relación entre las estructuras dañadas y las existentes en 1985 para ver cual fue el caso en el cual hubo más estructuras dañadas, en este trabajo se calculó dicha relación, con ésta se obtienen las gráficas de la figura 1.25. Los datos acerca de las estructuras existentes se obtuvieron a partir de la clave de catastro de cada predio la cual indica el año de construcción o de última remodelación, número de pisos, uso, y también a partir de ésta se obtuvo el sistema estructural.

Podemos observar que del universo de estructuras existentes en la delegación Cuauhtémoc en 1985, las de más de ocho pisos (figura 1.25a), las antiguas construidas antes de 1957 (figura 1.25b), los hospitales, hoteles y oficinas (figura 1.25c), las estructuras en esquina (figura 1.25d) y las construidas con marcos de acero (figura 1.25e), fueron las que se dañaron con el sismo, ya que éstas tuvieron una

relación, mayor de estructuras dañadas entre las existentes. La mayoría de las estructuras que estaban construidas con marcos de concreto se dañaron y también existió un gran número de estructuras dañadas que fueron construidas con muros de mampostería. Las viviendas y en general las estructuras de tres pisos relativamente no se dañaron con los sismos.

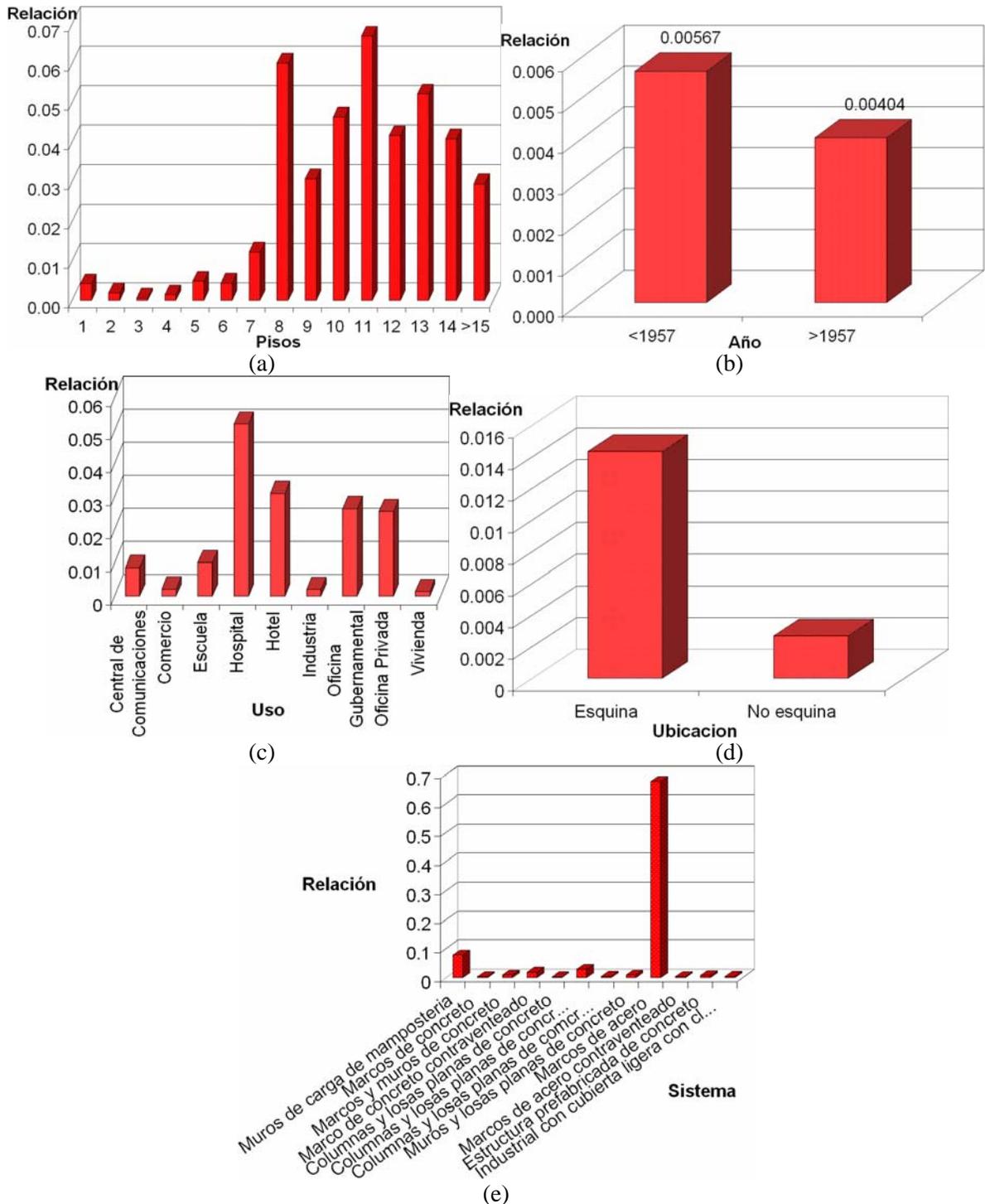


Figura 1.25 Estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985, al calcular el cociente estructuras dañadas/estructuras existentes por: (a) Pisos, (b) Año construcción, (c) Uso, (d) Ubicación, (e) Sistema Estructural

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE DATOS CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1 SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS

Utilizamos un Sistema de Información Geográfica (SIG) como una herramienta para estudiar las estructuras que se dañaron en el sismo del 19 de septiembre de 1985 en la delegación Cuauhtémoc. A partir del SIG podemos analizar los datos de la estructura, la ubicación, el comportamiento que presentó, el modo de falla que tuvo, entre otras.

En este trabajo analizamos estructuras con el mismo número de pisos y sistema estructural para encontrar cuál fue el modo de falla de cada tipo de estructura en particular que estudiamos.

Para seleccionar los casos de estudio se buscaron aquellos para los cuales existiera por lo menos una estructura dañada en las diferentes zonas que definen los períodos dominantes de suelo en la delegación Cuauhtémoc, con el fin de encontrar si existe o no, alguna relación entre el tipo de suelo, el sistema estructural y el número de pisos, al analizar los modos de falla y los factores de daño.

En la figura 2.1 se muestra la distribución espacial de las estructuras seleccionadas. Los casos para los cuales existe la condición mencionada anteriormente son aquellas de seis y ocho pisos construidas con columnas y losa plana de concreto. En este trabajo analizamos también un tercer caso de estructuras de interés por estudiar, con las cuales se pretende señalar algunas de las ventajas que tiene realizar este tipo de estudios con SIG y resumir los factores de falla más comunes que se dieron en 1985; de éstas contamos con información adicional como el número de atrapados.

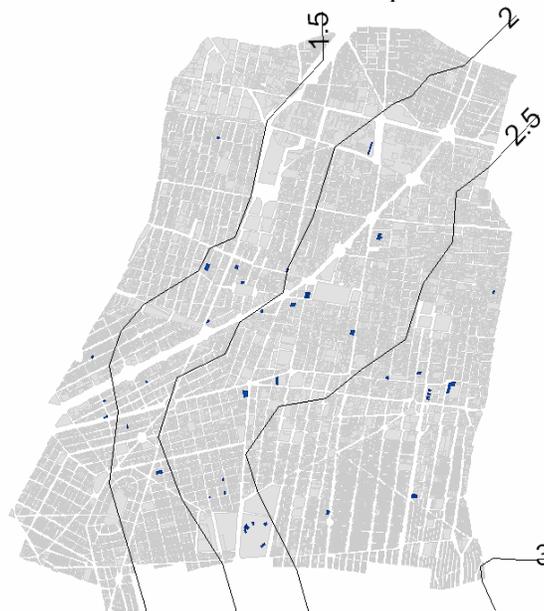


Figura 2.1 Distribución de las estructuras dañadas seleccionadas

2.2 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS

2.2.1 Caso 1. Estructuras de ocho pisos construidas con columnas y losa plana de concreto

El primer caso lo componen estructuras dañadas de ocho pisos construidas con columna de concreto y losa plana las cuales se encontraban en la colonia Cuauhtémoc, Tabacalera, Condesa, Roma, Doctores, Tránsito y Centro, la distribución de éstas se muestra en la figura 2.2a, la mayor parte las estructuras con estas características se localizaron en el área comprendida entre los períodos del suelo predominantes de 1.5 a 2.0 segundos.

Algunas estructuras conocidas construidas con este sistema estructural fueron San Camilito un edificio de departamentos en Garibaldi y el Hotel Principado localizado cerca del Monumento a la Revolución. En este caso había estructuras con usos de comercio, hotel, fábrica, oficina y vivienda, que presentaron los niveles de daño, ligero, grave, colapso parcial y colapso total, construidas en su mayoría después de 1957. En el apéndice se encuentra la tabla 1, que contiene la información de las estructuras que pertenecen a este caso, esta tabla se realizó utilizando el SIG y el reporte de estructuras dañadas con el sismo de 1985 del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986), el cual se procesó en una base de datos (Quiroga y Reinoso, 2004).

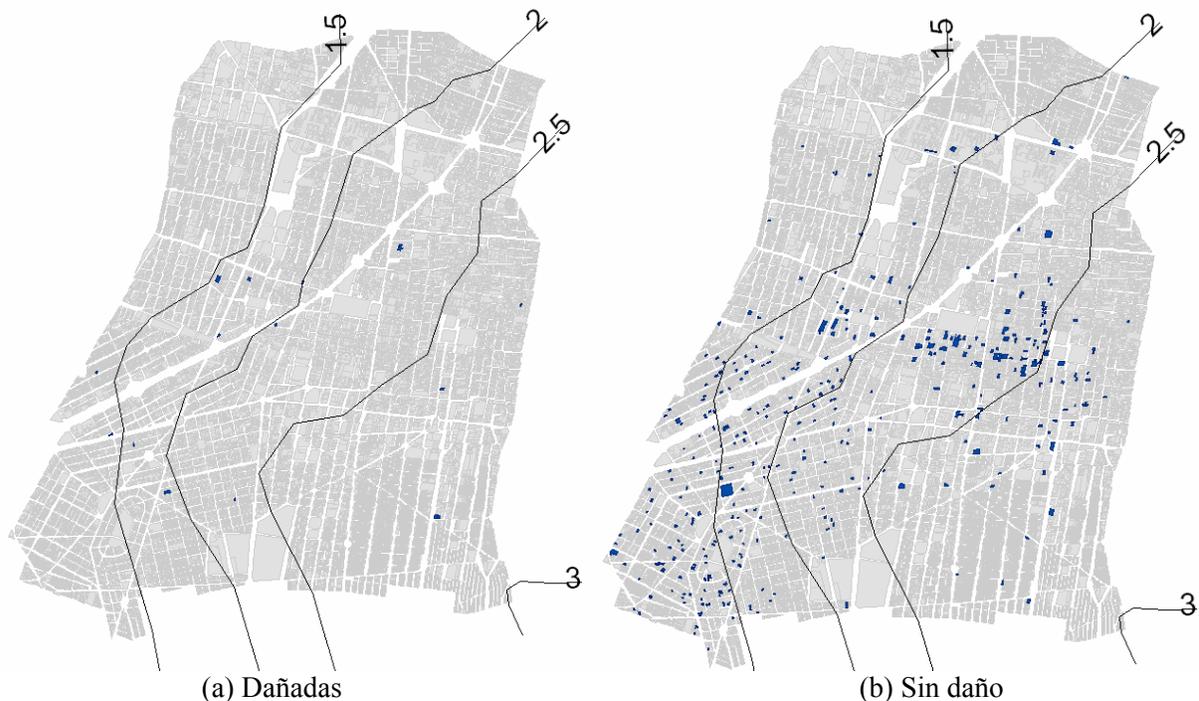


Figura 2.2 Distribución de las estructuras con 8 pisos construidas con columnas y losa plana de concreto caso 1: (a) Dañadas, (b) Sin daño

Un resumen de las características de las estructuras dañadas de este caso se muestra en la tabla 2.1, se observa que en éstas el daño fue ocasionado por la estructuración irregular que provocó torsión ya sea por la ubicación en esquina o por la diferencia de geometrías en los elementos estructurales en los pisos colapsados. En segundo lugar el daño fue provocado por el golpeteo, provocado por grandes desplazamientos y porque las estructuras no contaban con junta constructiva de dimensiones

adecuadas, también el daño fue provocado por sobrecarga. El golpeteo fue el factor que más dañó a las estructuras construidas después de 1957, ya que éstas no fueron diseñadas para evitar el golpeteo.

Tabla 2.1 Resumen de datos caso 1

Clave	Año Construcción	Uso	Nivel de Daño	Esquina	Falla
I-08	1950	Oficinas	Grave	Si	Golpeteo
II-14	Después 1957	Vivienda	Colapso Parcial	No	Sobrecarga
II-16	1960	Comercio	Colapso Total	Si	-
III-14	1976	Oficinas	Grave	No	Columna Corta
III-22	Antes 1957	Hotel	Colapso Total	Si	Irregular
III-28	1970	Oficina	Grave	No	Golpeteo
III-29	1940	Oficina	Colapso Parcial	Si	Irregular
III-55	1977	Vivienda	Grave	Si	Torsión
IV-07	1965	Fábrica	Colapso Parcial	No	Golpeteo, sobrecarga
V-21	Después 1957	Vivienda	Colapso Total	No	Conexiones
V-48	1960	Oficina	Colapso Parcial	Si	Golpeteo
V-59	1981	Oficina	Grave	No	Pandeo por flexibilidad, irregular

Encontramos que si las estructuras fueron construidas antes de 1957 y se encontraban en esquina fue probable que el nivel de daño fuera colapso, y que si fueron construidas después de 1957 y no presentaban ubicación en esquina el daño lo provocó la sobrecarga.

Al analizar estructuras con el mismo uso y con año de construcción similar podemos decir que la diferencia entre el nivel de daño es la irregularidad en planta, así como errores en la construcción de las conexiones losa-columna. Hubo una mayoría de estructuras que se dañaron aunque fueron construidas después de 1957, por lo que podemos decir que no existió una mejoría en la forma de construir el sistema columna y losa plana de concreto con el tiempo, ya que en estos casos se construyó de manera que se dio golpeteo y se presentó torsión.

En la figura 2.2b se muestra la distribución de estructuras de ocho pisos construidas con columna y losa plana existentes en 1985 que no sufrieron daño. Se muestran aquellas vulnerables, que presentaban irregularidades así como las que se encontraban en esquina, por lo que podrían haber presentado torsión al momento del sismo, que es uno de los factores que dañaron a las estructuras de este caso. Éstas se encontraban en las colonias Centro, Condesa, Juárez y Cuauhtémoc; haciendo la comparación entre las que se dañaron y las que no, vemos que aún cuando en la colonia Centro existieron estructuras vulnerables construidas antes de 1957, éstas no se dañaron.

En la figura 2.3 se muestran las gráficas de las características que presentaban las estructuras que no se dañaron pertenecientes al caso 1, obtenidas con la información que se descifró de la clave de uso (Quiroga y Reinoso, 2004) para estructuras construidas hasta 1985. En esta figura observamos que las que no se dañaron fue porque presentaban un grado de conservación bueno (figura 2.3a). La mayoría tenía como uso vivienda (figura 2.3b) y una cantidad menor uso oficina, en el uso vivienda no se presenta comúnmente sobrecarga por lo que no existía este factor de daño en estas estructuras. Es difícil analizar el posible golpeteo a partir del SIG, pero podemos decir que no hubo golpeteo en éstas porque éste hubiera provocado daño aún cuando fuera ligero y estarían registradas en el reporte de daños. Las estructuras no sufrieron daño porque presentaban un grado de conservación bueno, aún cuando fueron construidas antes de 1957 y el uso que tenían no provocó sobrecarga.

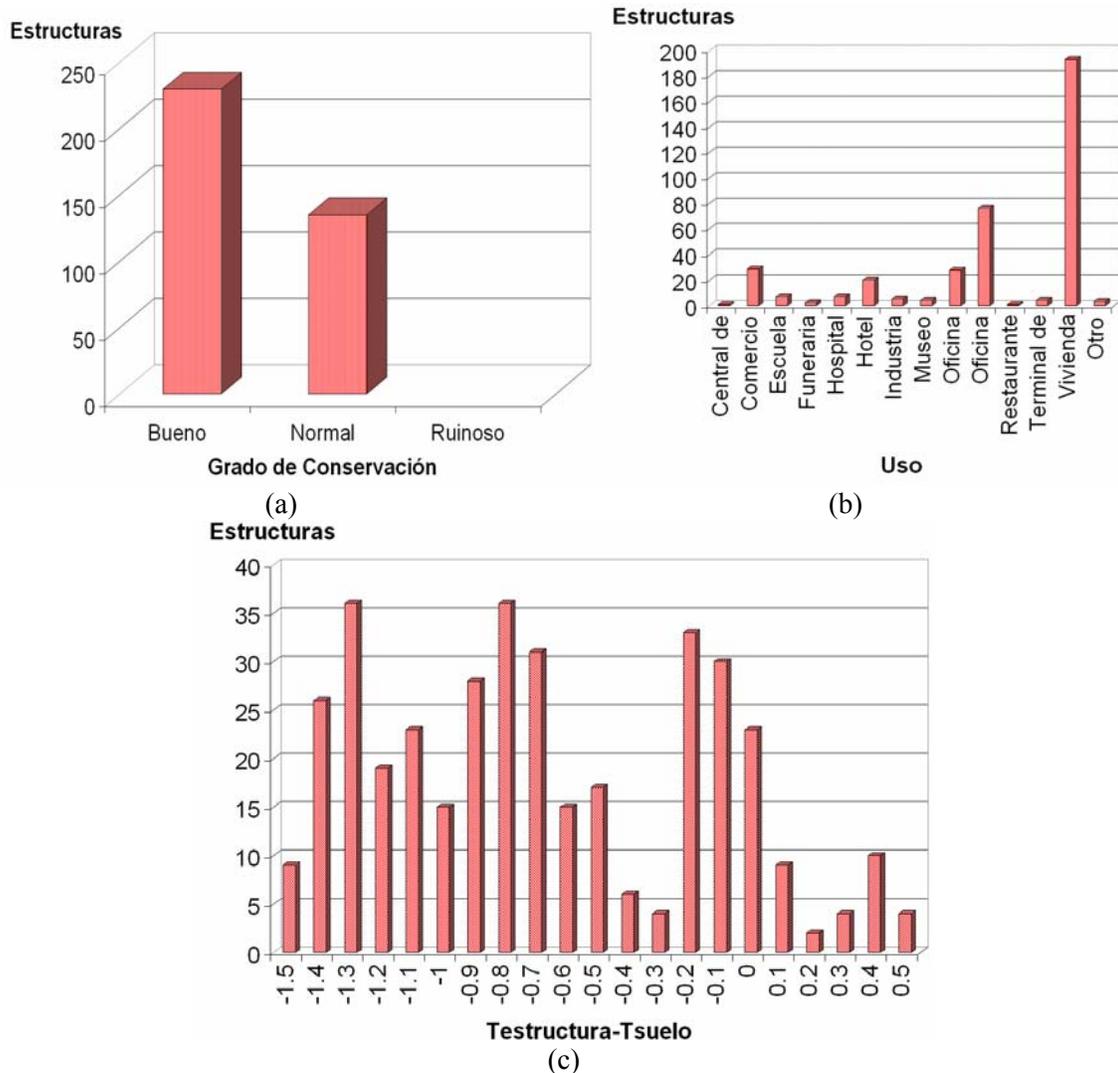


Figura 2.3 Estructuras que no sufrieron daño que pertenecen al caso 1: (a) Grado de conservación, (b) Uso, (c) Diferencia de períodos estructura-suelo

La diferencia de períodos del suelo y de las estructuras nos sirve para conocer si se presentó el fenómeno de resonancia (figura 2.3c), en el capítulo siguiente también se analiza este factor, sin embargo, es importante mencionar que en este tipo de estructuras se presentaron alrededor de 123 en las que se pudo dar resonancia ($T_{estructura}-T_{suelo}\approx 0$), y sin embargo no sufrieron daños, esto nos deja la duda de si fue la resonancia un factor de riesgo en las estructuras dañadas en este sismo.

En la figura 2.4 se presenta la gráfica que relaciona el período de cada estructura con el período de suelo correspondiente, tanto para estructuras del caso que se analiza que sufrieron daño como para las que no. En la figura se observa como no existe una diferencia notable entre las líneas de tendencia, la pendiente y ordenada al origen son similares. Debido a esto podemos decir que en este tipo de estructuras el fenómeno de resonancia no fue un factor que definiera si las estructuras se dañaban o no. Observando las estructuras que se dañaron podemos decir que sólo las tres que aparecen en la parte inferior de la gráfica pudieron presentar resonancia, ya que su período está por debajo del período del suelo, en un rango en el cual con el tiempo pudieron entrar en resonancia. El factor de correlación de la tendencia en estructuras que se dañaron nos indica que los períodos no están relacionados, es decir, no se dio resonancia en éstas.

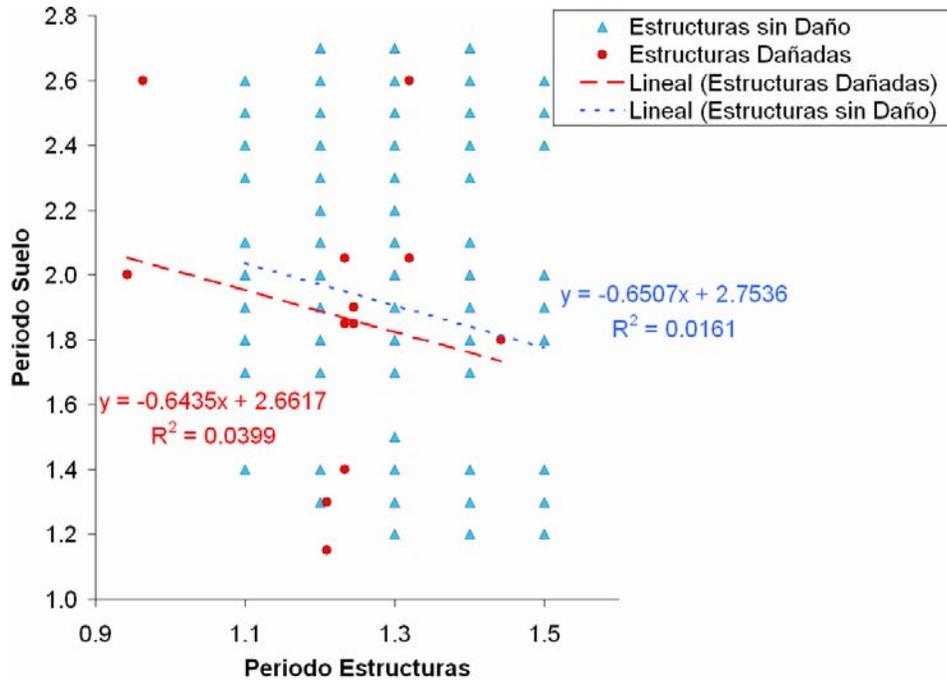


Figura 2.4 Relación entre períodos de las estructuras y los períodos del suelo para las estructuras del caso 1

2.2.2 Caso 2. Estructuras de seis pisos construidas con columnas y losa plana de concreto

El segundo caso lo conforman estructuras de seis pisos construidas con columnas y losa plana de concreto. Las dañadas estaban ubicadas en las colonias Santa María la Rivera, Juárez, y Roma, la distribución se muestra en la figura 2.5a, los usos que tenían eran: oficina, vivienda y teatro, presentando todos los niveles de daño, con el dato particular de que todas fueron construidas después de 1957. En este caso se encontraba una parte de la estructura conocida como los Televiteatros, registrada con número de pisos dudoso ya que sufrió colapso total y era muy irregular, pero calculado en seis pisos, las características de todas las estructuras dañadas que pertenecen a este caso se encuentran en la tabla 2 del apéndice.

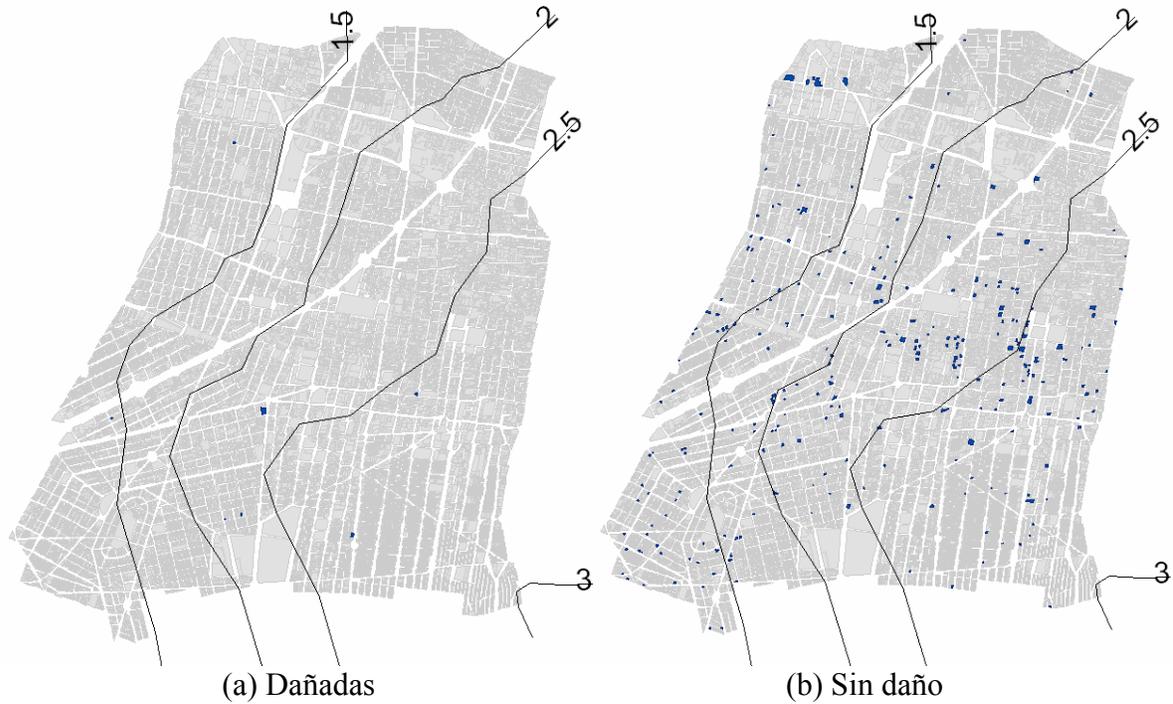


Figura 2.5 Distribución de las estructuras dañadas con 6 pisos construidas con columnas y losa plana de concreto caso 2: (a) Dañadas, (b) Sin daño

Tabla 2.2 Resumen de datos caso 2

Clave	Año Construcción	Uso	Nivel de Daño	Esquina	Falla
I-11	1960	Vivienda	Colapso total	Si	Daño previo
III-42	Después 1957	Oficina	Grave	Si	Torsión
IV-15	1973	Fábrica	Colapso parcial	Si	Torsión, sobrecarga
V-05	Después 1957	Fábrica	Grave	Si	-
V-18	1976	Oficina	Colapso parcial	No	Cambio rigidez, irregular
V-30A	Después 1976	Teatro	Colapso total	Si	Irregular
VI-45	Después 1957	Oficina	Grave	Si	-

Las estructuras de seis pisos con columnas y losas planas de concreto se dañaron por la configuración estructural de esquina y por la irregularidad en elevación provocada a la diferencia de rigidez en las columnas en cada piso, como se observa en la tabla 2.2. La diferencia entre el nivel de daño se debió a la sobrecarga y al daño previo presentado por las estructuras. Estas estructuras se dañaron porque eran irregulares, lo que provocó torsión. Todas las estructuras dañadas se construyeron o tuvieron su última modificación después de 1957, por lo que podemos decir que en este período se construyó de manera que las estructuras resultaron vulnerables por la irregularidad que presentaron.

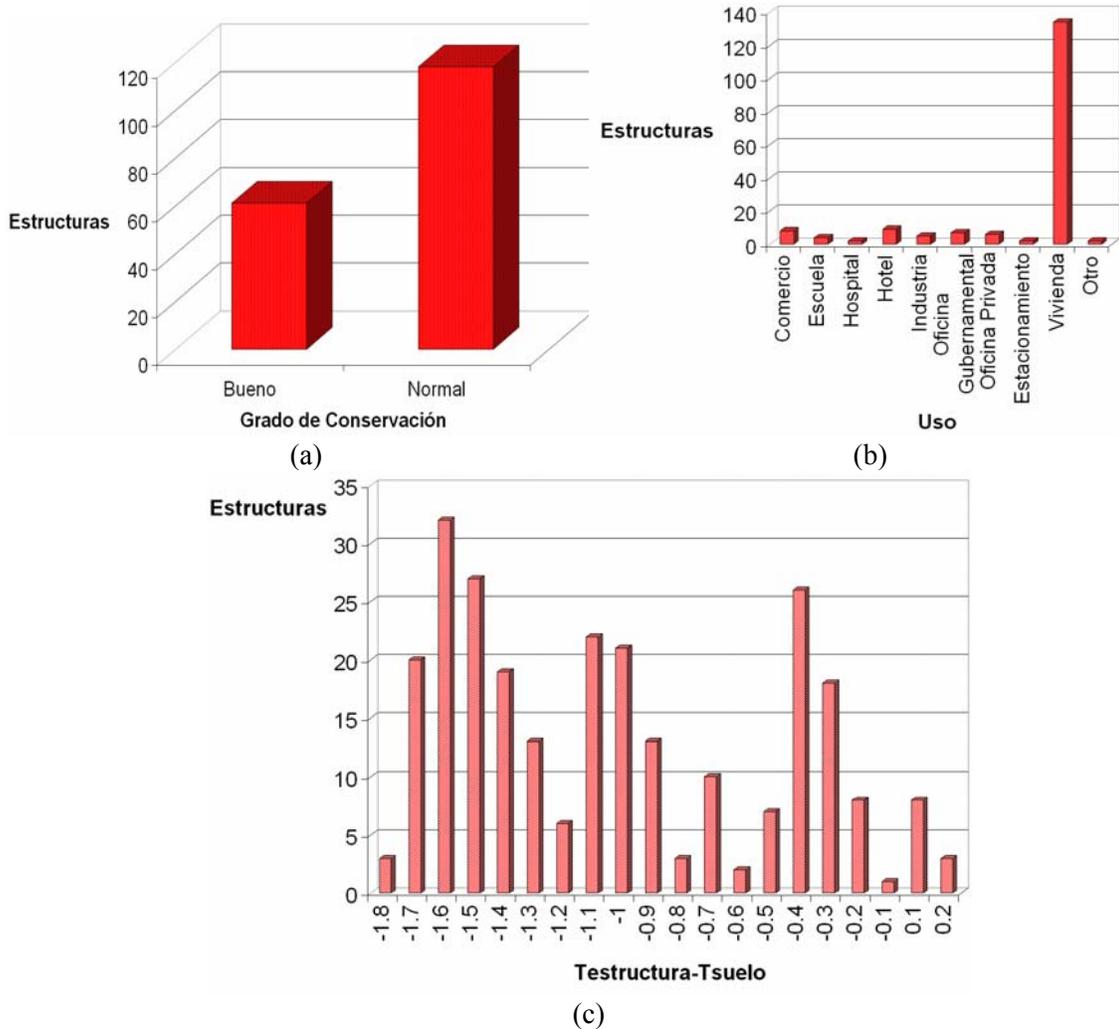


Figura 2.6 Estructuras que no sufrieron daño que pertenecen al caso 2: (a) Grado de conservación, (b) Uso, (c) Diferencia de períodos estructura-suelo

En la figura 2.5b se muestra la distribución que tenían las estructuras del caso 2, pero que no sufrieron daños en 1985, la figura muestra a las estructuras vulnerables, con configuración asimétrica de rigidez provocada por la ubicación en esquina o por irregularidades, que fueron los factores de daño que se observaron para este caso. En la figura 2.6 se muestran las gráficas con las características de las estructuras que no se dañaron, esto fue porque el estado de conservación que presentaban al momento del sismo era normal, no presentaban daños previos (figura 2.6a), el uso que tenían era vivienda (figura 2.6b) por lo que no existía riesgo de sobrecarga que fue un factor de daño importante ya que las estructuras que se dañaron eran oficinas y fábricas, es decir, las que no sufrieron daño fue porque no pertenecieron a los usos vulnerables para este caso y no tenían daño previo. Alrededor de 70 estructuras presentaron el fenómeno de resonancia (figura 2.6c), según el rango para el cual se puede presentar resonancia explicado en el capítulo siguiente, sin embargo éstas no se dañaron.

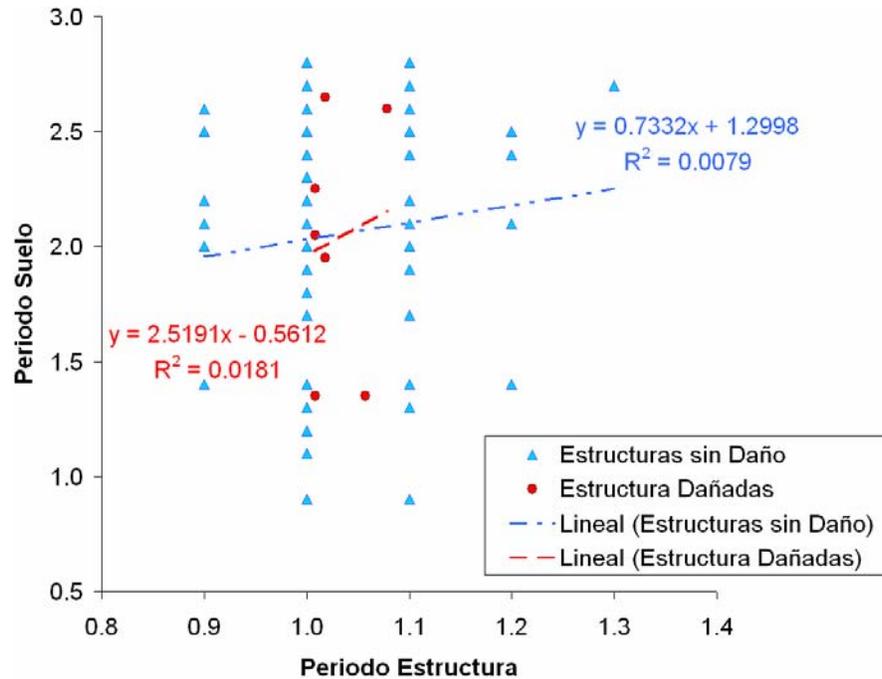


Figura 2.7 Relación entre períodos de las estructuras y los períodos del suelo para las estructuras del caso 2

En la figura 2.7 se muestra la gráfica de la relación entre los períodos estructurales y los correspondientes del suelo, para las estructuras que sufrieron daño y las que no del caso 2. En esta gráfica vemos que entre las dos líneas de tendencia existe diferencia, que nos indica que para este caso la resonancia si fue un factor que definiera si las estructuras se dañarían o no. A partir de las pendientes de las líneas de tendencia podemos decir que para las estructuras que no se dañaron se presentó resonancia, ya que en este caso se aproxima a uno, sin embargo el factor de correlación de esta línea tiende a cero, lo que nos indica que entre estructuras no existió una buena relación de comportamiento, es decir, no podemos utilizar esta tendencia como referencia confiable.

Para los dos casos estudiados hasta ahora hemos visto que el factor de daño que más afectó a estas estructuras fue la torsión provocada por irregularidades y la ubicación en esquina. En las estructuras de ocho pisos se presentó también golpeteo. Las que no se dañaron fue porque, en general, no presentaron daños previos ni sobrecarga. No podemos asegurar que la resonancia fue un factor de daño en ninguno de los dos casos estudiados.

2.2.3 Caso 3. Estructuras de especial interés

Existen estructuras para las cuales se cuenta con información adicional como el número de atrapados y fotografías. Una de las ventajas de utilizar SIG para el análisis de estructuras es añadir toda la información disponible, por ejemplo se puede incluir la fotografía para desplegarla al estudiar las estructuras, según del lugar donde fue tomada la fotografía para así tener una mejor perspectiva de la situación que había (Quiroga, 2004). La figura 2.8 muestra un ejemplo ilustrativo del despliegue de información del SIG.

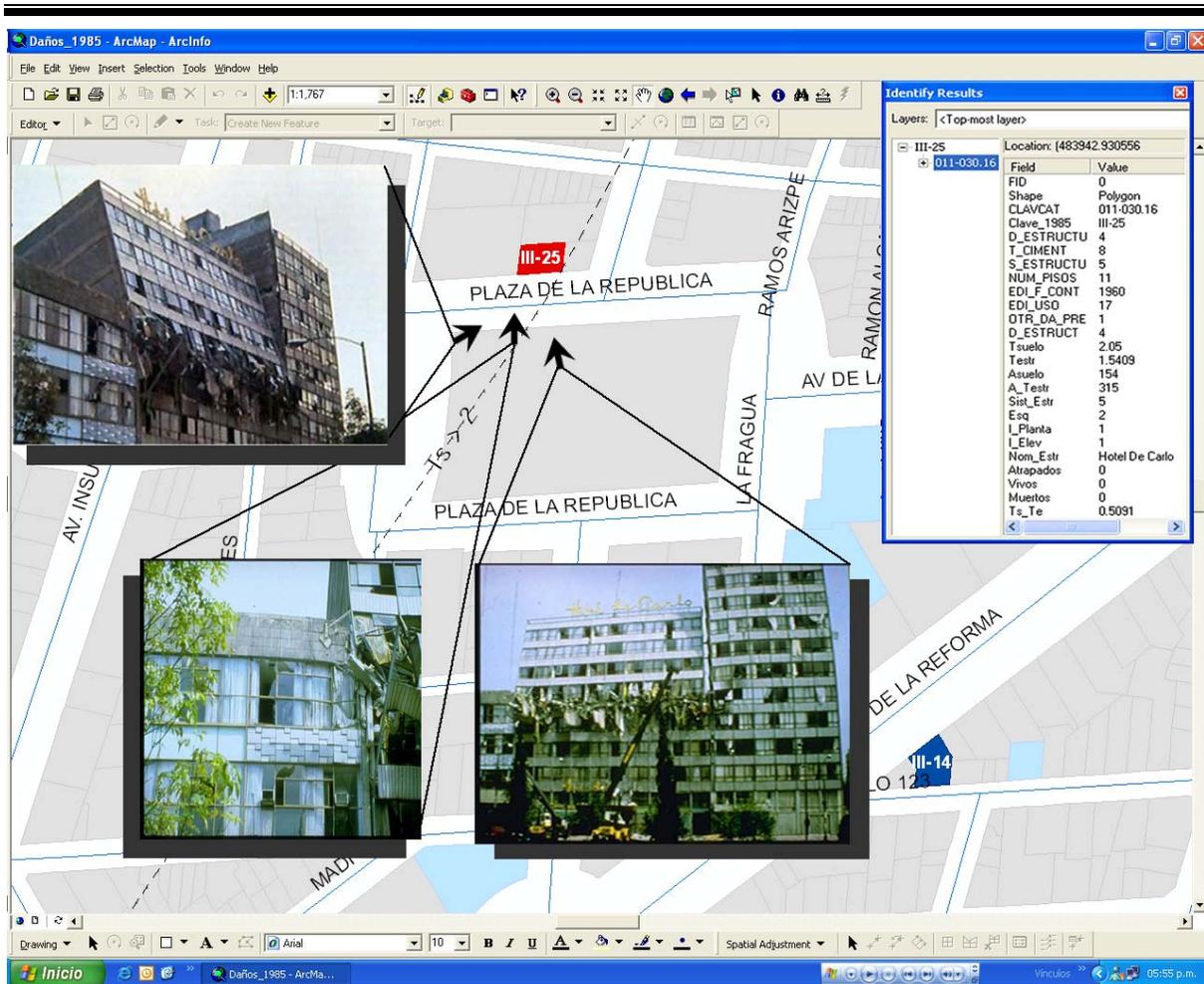


Figura 2.8 Ejemplo de despliegue de información a partir del SIG, Hotel de Carlo

En la tabla 3 del apéndice se muestran las características que presentaron las estructuras que pertenecen a este caso particular de interés. En este caso se escogieron: el edificio Nuevo León de la Unidad Habitacional Tlaltelolco, los hoteles De Carlo, Presidente y Regis, los hospitales Juárez y Centro Médico, el Conalep Juárez, el conjunto Pino Suárez, Televisa Chapultepec y el Restaurant Súper Leche, estructuras para las cuales se cuenta con fotografía y datos sobre el número de atrapados. Su distribución se muestra en la figura 2.9.

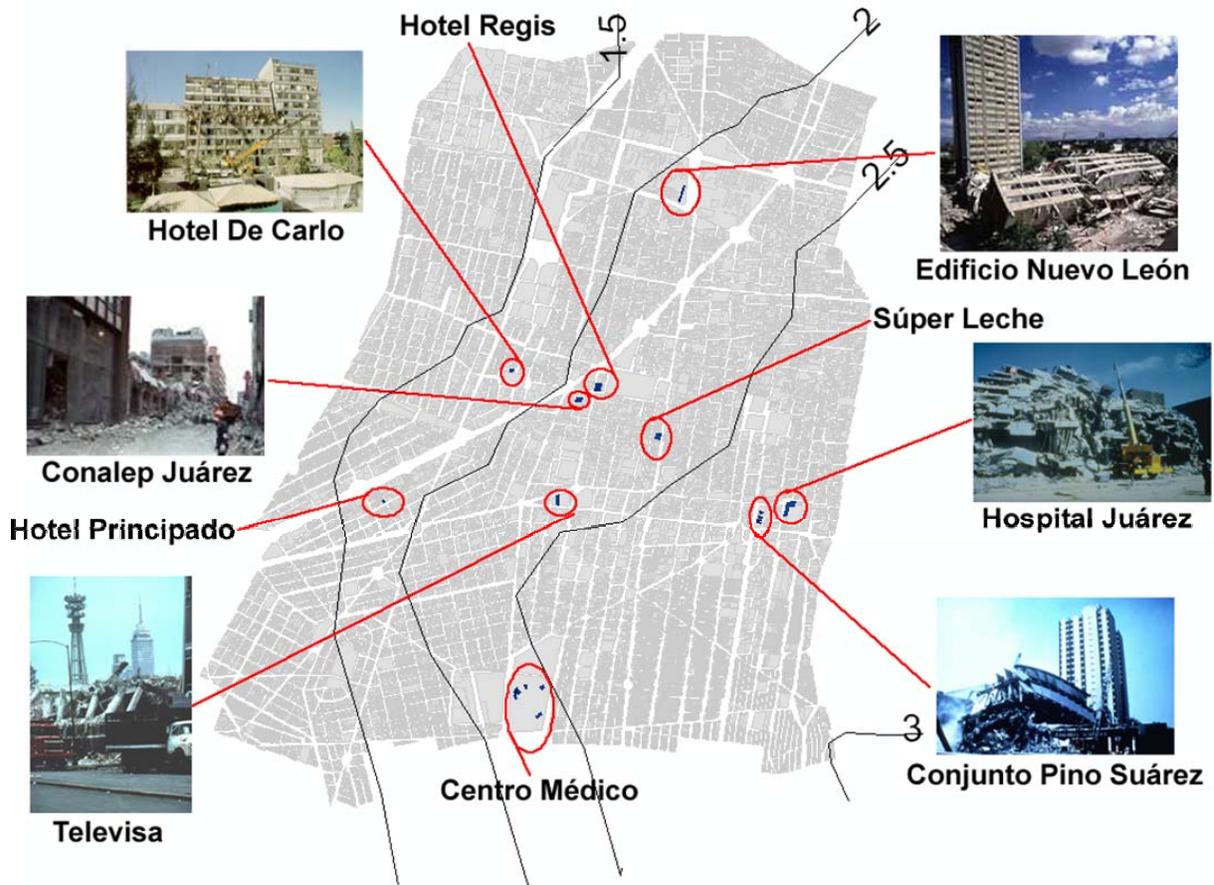


Figura 2.9 Distribución de las estructuras de especial interés caso 3

La tabla 2.3 contiene el resumen de las características que tenían las estructuras que se escogieron para este caso. Del estudio de las estructuras que pertenecen al caso 3 y como conclusión para el análisis podemos decir que los factores de daño más comunes son: el golpeteo, ya que no existía la separación suficiente en las juntas constructivas, además de que las losas en edificios vecinos no coincidían, esto hace que éstas golpeen en zonas menos rígidas como los muros de colindancia afectándolos; la torsión, provocada por la estructuración asimétrica y por la ubicación en esquina. Estos fueron factores importantes de daño que generaron tanto daño grave como colapsos parciales y totales. El año de construcción no fue un factor de daño importante, pero si lo fueron la sobrecarga y los daños previos, es decir, una estructura que presenta posibilidad de golpeteo o torsión y que además cuente con sobrecarga o daños previos, es muy probable que presente daños. El sistema de piso, losa plana es vulnerable al daño por el riesgo que significan sus conexiones a las columnas y a los marcos.

Tabla 2.3 Resumen de datos caso 3

Clave	Pisos	Sistema Estructural	Año Construcción	Uso	Nivel de Daño	Esquina	Falla
I-09	14	Marcos de concreto con contraventeo	Después 1957	Vivienda	Colapso Total	No	Irregular, cimentación
III-25	11	Columnas de concreto y losa plana aligerada	1960	Hotel	Colapso Parcial	No	Golpeteo
III-38	12	Columnas de concreto losa plana aligerada	1960	Hotel	Grave	Si	Torsión, falló el muro de concreto
IV-08	12	Marcos de concreto	1965	Hospital	Colapso Total	Si	Falla columnas y conexiones
IV-22	14	Marcos de acero losa de concreto con contraventeos	1970	Oficinas	Colapso Total	No	Cayó encima otro edificio
IV-23	21	Marcos de acero losa de concreto con contraventeos	1970	Oficinas	Colapso Total	No	Pandeo, torsión
IV-24	21	Marcos de acero losa de concreto con contraventeos	1970	Oficinas	Grave	No	Pandeo, desplome
IV-25	21	Marcos de acero losa de concreto con contraventeos	1970	Oficinas	Grave	No	Pandeo torsión
IV-30	5	Columnas de concreto y losa plana aligerada	1950	Televisora	Colapso Total	No	Cayó la antena, sobrecarga
IV-34	4	Marcos de concreto	1940	Escuela	Colapso Total	No	Irregular
IV-47	5	Marcos de acero y losa de concreto	1940	Comercio	Colapso Total	Si	
IV-54	8	Columnas de acero algunas de concreto, losa de concreto	Antes 1957	Hotel	Colapso Total	No	Golpeteo
VI-01	8	Marcos de concreto y losa plana	Antes 1957	Hospital	Grave	No	Golpeteo
VI-03	8	Marcos de concreto y losa plana	Antes 1957	Hospital	Colapso Parcial	No	Golpeteo
VI-05	8	Marcos de concreto y losa plana	Antes 1957	Hospital	Desplome	No	Sobrecarga cimentación
VI-07	8	Marcos de concreto y losa plana	Antes 1957	Hospital	Grave	No	Irregular

CAPÍTULO 3

CORRELACIÓN DE DAÑOS CON PARÁMETROS DEL SUELO

3.1 RESONANCIA EN LAS ESTRUCTURAS DAÑADAS

3.1.1 Definiciones

El período natural o fundamental del suelo o de una estructura está definido por el tiempo en segundos en el que se completaría una oscilación al vibrar. Se calcula a partir de hipótesis y fórmulas que relacionan las características que dan masa y rigidez, que para el caso de estructuras son: número de pisos, masas de entrepiso, material de construcción, geometría, daño previo, entre otras. Al diseñar se intenta evitar que el período de las estructuras llegue a coincidir con el período del suelo, ya que de ser así, la oscilación de la estructura sería cada vez mayor, se daría el fenómeno de resonancia y se generarían esfuerzos para los cuales no está diseñada por lo que se dañaría.

El período natural del suelo se calcula a partir de registros de sismos. Se han obtenido valores de período para el suelo de la Ciudad de México mediante registros sísmicos de diferentes puntos instrumentados, y a través de múltiples pruebas de vibración ambiental hechas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Los valores de período obtenidos se interpolan para obtener mapas de microzonificación geotécnica.

3.1.2 Análisis de las estructuras dañadas

Se calculó y agregó al Sistema de Información Geográfica (SIG) el período fundamental de las estructuras dañadas en el sismo de 1985 y el predominante del suelo para cada predio de la delegación Cuauhtémoc (Quiroga y Reinoso, 2005), estos datos se utilizaron para analizar si el fenómeno de resonancia fue un factor de daño común en éstas. El período de las estructuras se calculó mediante el programa RSMex®, el software calcula períodos a partir de información estructural: sistema estructural, número de pisos, uso, ubicación, año de construcción, los efectos por daño previo, entre otras, que en este caso fue obtenida del reporte de daños del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986). Los períodos predominantes del suelo se obtuvieron mediante el programa Z desarrollado por los investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Mario Ordaz, Eduardo Reinoso y Eduardo Miranda (Ordaz et al, 2000), con el propósito de conocer la intensidad sísmica del valle de México a través de valores espectrales, el programa calcula espectros utilizando los criterios de las recientes investigaciones en ingeniería sísmica, como los efectos de sitio. Conociendo la ubicación de las estructuras dañadas en el SIG, se les asignó el período de suelo correspondiente a cada una.

En la figura 3.1 se muestra la ubicación de las estructuras dañadas y líneas que nos definen las áreas de períodos predominantes del suelo, se observa una concentración de daños en la región comprendida por los períodos de suelo mayores a 2.0 s, aunque también se observa que más de la mitad de la superficie que ocupa la delegación tiene períodos mayores a los 2.0 s. Los períodos estructurales resultaron en su mayoría menores de 1.5 s (figura 3.2), por lo que se esperaría observar un gran número de estructuras

dañadas dentro de la región de períodos predominantes de suelo menores a 1.5 s, pero resultó lo contrario, por lo que no en muchas estructuras el fenómeno de resonancia fue un factor de daño, y si se dio éste fue porque las estructuras se fueron dañando en el transcurso del sismo, lo cual aumentó su período.



Figura 3.1 Distribución de estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 y los períodos predominantes del suelo

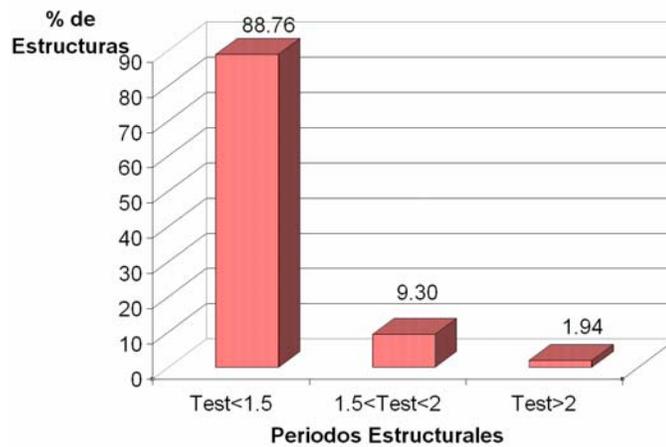


Figura 3.2 Porcentaje de estructuras con períodos fundamentales en el rango de períodos del suelo

Calculando el período fundamental de las estructuras dañadas con RSMex® resulta que 153 estructuras pudieron presentar el fenómeno de resonancia, al entrar en el rango de períodos predominantes del suelo $1.0 \text{ s} \leq T_{\text{suelo}} \leq 3.0 \text{ s}$, su distribución se muestra en la figura 3.3. Sin embargo, al estudiar las estructuras a partir de su ubicación, se obtuvo que en ningún caso el período estructural coincidió con el del suelo, por lo que no se existe una clara correlación de que se presentó el fenómeno de resonancia en alguna estructura.



Figura 3.3 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc con período estructural calculado con RSMex® coincidente con los períodos del suelo

La duración del sismo y la historia previa de sismos provocan que el período fundamental de las estructuras aumente, porque al irse dañando, va disminuyendo su rigidez, el comportamiento no lineal de las estructuras provoca que éstas se deterioren (Reinoso et al, 1999), estructuras con un período menor al del suelo pueden llegar a tener el período del suelo con el paso del tiempo. Esta variación del período depende de la ductilidad (Newmark y Rosenblueth, 1971), en este trabajo se propone que las estructuras con período estructural por debajo del período del suelo en un margen de 0.5 s presentaron el fenómeno de resonancia, al contrario estructuras con período mayor al del suelo no pueden disminuir su período por lo que nunca presentaron resonancia, sin embargo debido a la incertidumbre al calcular el período de las estructuras se toman aquellas con período 0.3 s mayor al del suelo.

En la figura 3.4 se presenta la ubicación de estructuras con período dentro del rango propuesto, se observa que hubo sólo 38 estructuras en las que se dio el fenómeno de resonancia, lo que representa un 15% del total de estructuras dañadas, como era de esperarse estas estructuras se encuentran ubicadas en la región de períodos de suelo menores a 2.5 s, en la región de períodos mayores a 2.5 s los factores de daño fueron otros.

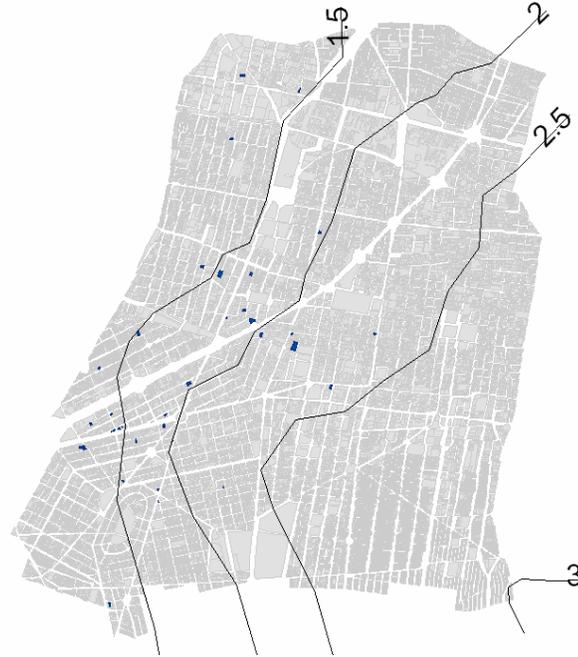


Figura 3.4 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 en las que se dio el fenómeno de resonancia

En más de la mitad de estructuras el nivel de daño que se presentó fue daño grave y un número menor tuvo algún tipo de colapso (figura 3.5), por lo que podemos decir que la resonancia en estructuras provoca daños graves y en menor medida colapso total, sin embargo hay que comprobar que el daño se deba exclusivamente al fenómeno ya que en el daño pudo ser provocado o intensificado por otros factores como son: el año de construcción, sistema estructural vulnerable o la ubicación en la manzana, aunque estos factores ya han sido tomados en cuenta para el cálculo del período estructural, este un modelo perfectible.

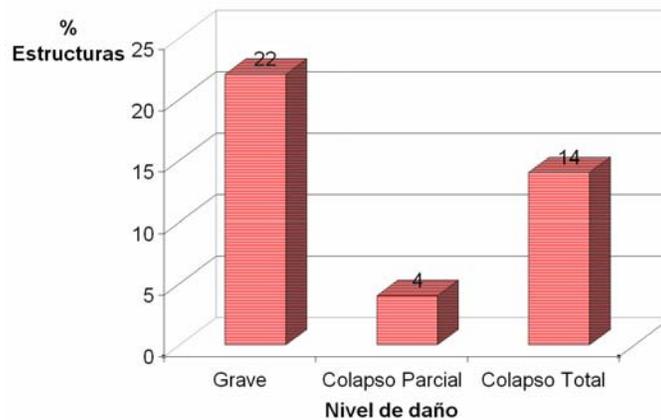


Figura 3.5 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 en las que se dio el fenómeno de resonancia por nivel de daño

Se identificaron once estructuras que presentaron resonancia pero su daño fue debido a otras razones, éstas se muestran en la figura 3.6. En estas estructuras el daño se debió a la suma de características que aumentaron su período, también la falla se debió a la irregularidad en planta, que es en casi en todos los casos triangular, lo que provocó torsiones intensificadas con el fenómeno de resonancia. Hubo casos en

los que está identificada falla de la cimentación que provocó el desplome de la estructura, en otros casos se debió a daños previos provocados por sismos anteriores, en un caso la irregularidad fue en las columnas que cambiaban de sección bruscamente. Es decir, estas estructuras no contaban con diseño sísmico adecuado, se presentaron factores de daño que se intensificaron con la resonancia.

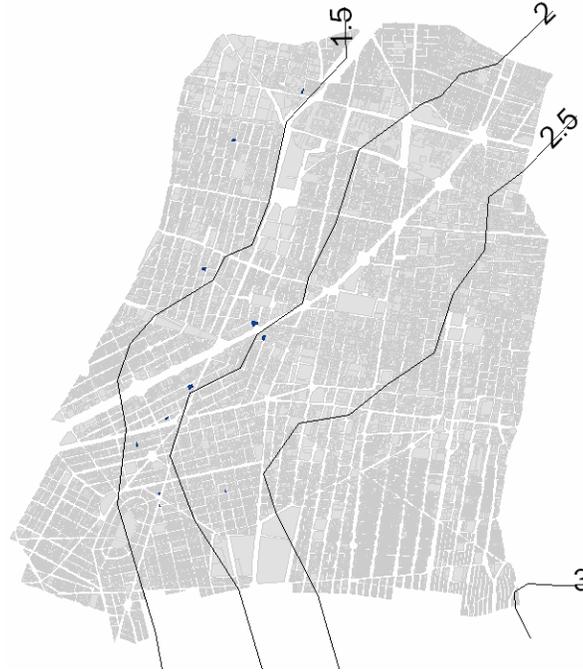


Figura 3.6 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 en las que se dio el fenómeno de resonancia pero que se dañaron por otros factores

El fenómeno de resonancia en estructuras no fue un factor de daño en el sismo de 1985 como se ha asumido en diversas ocasiones. Sólo en 40 estructuras pudo haber resonancia tomando en cuenta la duración del sismo, que provocó daños que hicieron que aumentara el período estructural, de éstas once sufrieron daños por estar mal construidos desde el aspecto sísmico, por lo que a éstas no se les puede atribuir el daño exclusivamente a la resonancia.

La resonancia no fue un factor de daño general para las estructuras en los sismos de 1985, hubo otros factores que se presentaron con más frecuencia, como la torsión provocada por irregularidades y ubicación en esquina.

3.2 INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN ESTRUCTURAS DAÑADAS

El comportamiento de las estructuras depende en gran parte de cómo se transmiten los esfuerzos del suelo a éstas y viceversa, por lo tanto de las características del conjunto cimentación-estructura, por lo que es necesario realizar el análisis del comportamiento suelo-cimentación-estructura, este análisis se conoce como la interacción suelo-estructura.

Las arcillas que se encuentran en la zona en estudio se reblandecen a medida que se deforman, es decir, su rigidez disminuye, esto jugó un papel fundamental en el comportamiento del conjunto suelo-estructura, podemos decir que la resonancia, como vimos anteriormente, no se dio en las estructuras, pero si se pudo dar en el terreno.

3.2.1 Tipos de cimentación en estructuras dañadas

En el SIG de estructuras dañadas por el sismo de 1985 registradas en el reporte de daños (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986), se cuenta con información sobre el tipo de cimentación para algunas estructuras, para las faltantes se les asignó un tipo de cimentación a partir de sus características: número de pisos, sistema estructural y año de construcción, según la cimentación que tenían la mayoría de las estructuras existentes en 1985.

En la figura 3.7 se muestra la ubicación de estructuras dañadas construidas con cimentación superficial, el 55% de éstas tenía cimentación a base de zapatas ya sean aisladas o corridas a pesar de que este tipo de cimentación no se recomienda en suelos de alta compresibilidad, como son las arcillas que se encuentran en la zona de estudio (Zeevaert, 1977). La poca altura de las estructuras, el diseño sísmico obsoleto y la escasa investigación en mecánica de suelos fueron los motivos para decidir construir con zapatas. En la figura 3.7a se muestra la distribución de estas estructuras, se observa una concentración en el área comprendida entre los períodos de suelo de 2.0 a 2.5 s. La falla en este tipo de cimentación se debe a defectos constructivos, existencia de material suelto a nivel de desplante y a la interacción con otras cimentaciones.

El 27% de la estructuras dañadas estaba construida con losa de cimentación (figura 3.7b), en este tipo de cimentación la falla se debe a que se dan asentamientos diferenciales que producen el desplome de las estructuras. El 18% de las estructuras dañadas presentaban cimentación compensada, su distribución se muestra en la figura 3.7c, este tipo de cimentación es común en esta zona de la Ciudad de México. En éstas la falla que se observó fue generada por asentamientos importantes en construcciones con dimensiones de planta grandes con compensación parcial, con historia previa de asentamientos y en estructuras esbeltas, también se observaron casos en donde la infiltración de agua redujo la eficiencia de la compensación.

En la figura 3.8 se presenta la distribución de estructuras con cimentación profunda que se dañaron, pilotes de fricción y pilotes de punta. El 66% de éstas estaban cimentadas con pilotes de fricción (figura 3.8a). Este sistema es muy sensible a los cambios en las cargas de las estructuras y sometidos a cargas cíclicas se presenta una degradación en la adherencia suelo pilote, por esto fallan. El 34% de las estructuras dañadas construidas con cimentación profunda tenían pilotes de punta (figura 3.8b), en este tipo de cimentación la falla se atribuye a la penetración de los pilotes en la capa dura, pero en este caso la falla se debió a otras razones que no tienen que ver con la cimentación, por ejemplo a los efectos de torsión, este tipo de cimentación provoca daños en estructuras alledañas.

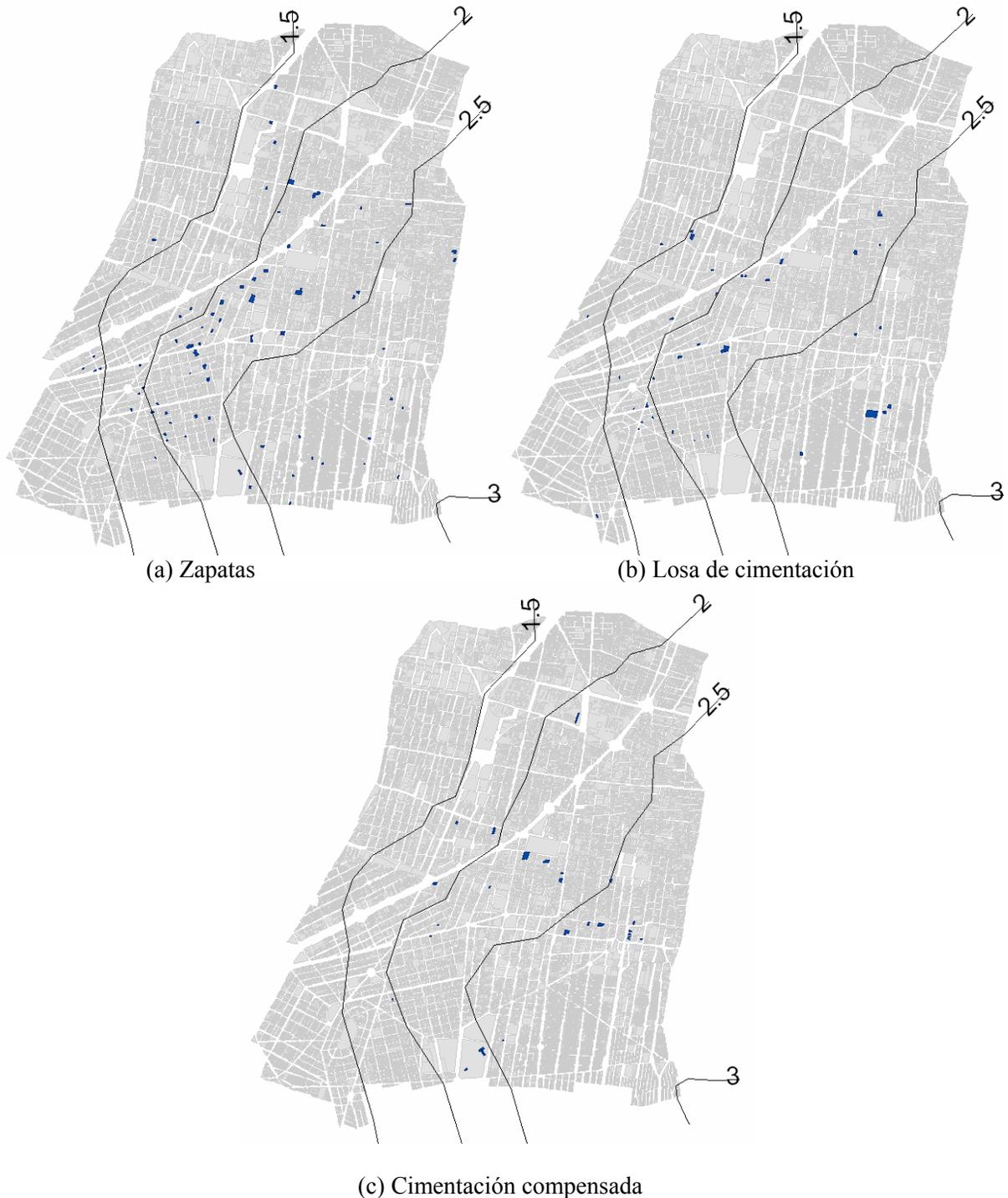


Figura 3.7 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación superficial: (a) Zapatas, (b) Losa de cimentación, (c) Cimentación compensada

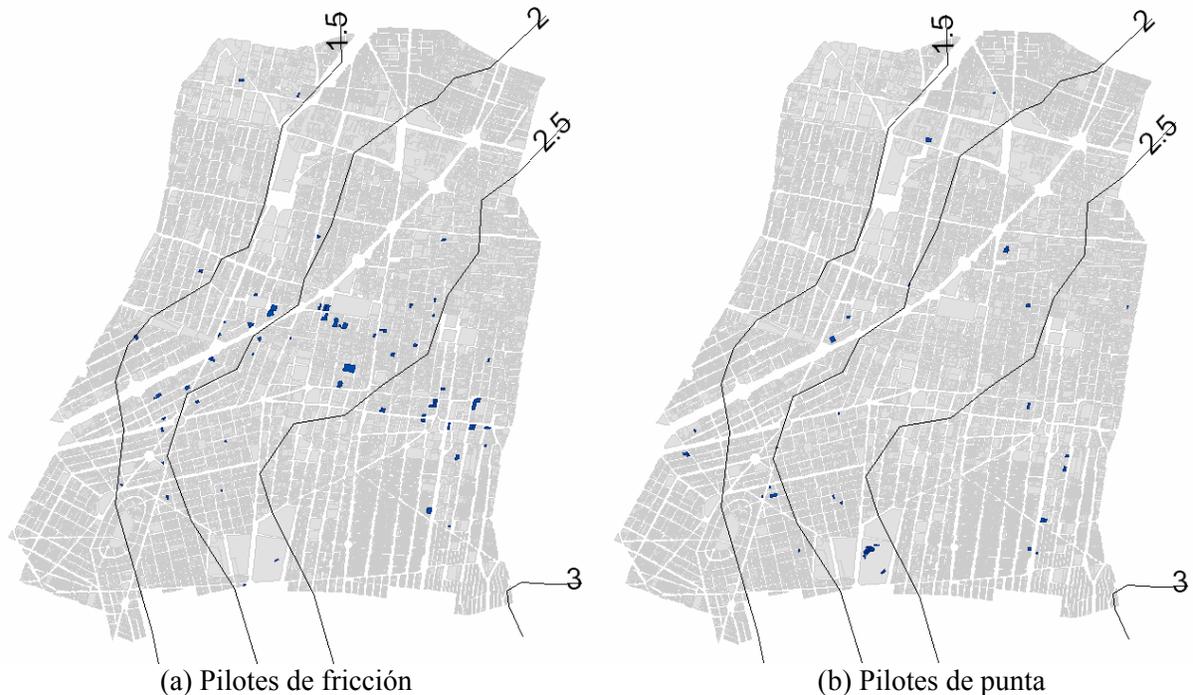


Figura 3.8 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación profunda: (a) Pilotes de fricción, (b) Pilotes de punta

3.2.2 Análisis de cimentaciones de las estructuras dañadas

Conociendo los tipos de cimentaciones que se dañaron el 19 de septiembre de 1985 y el modo de falla que presentaron las estructuras, se analiza la relación del conjunto cimentación-estructura, utilizando las características y datos del suelo. Las características que tenían las estructuras definieron su comportamiento durante el sismo, por lo que se pretende buscar diferencias entre los tipos de cimentación para ver cómo influyen éstas en el comportamiento. Para este análisis sólo se toman las estructuras en las que se registró el tipo de cimentación en el reporte de daños del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Meli y Miranda, 1986; Rosenblueth y Meli, 1986), para no hacer suposiciones.

En la figura 3.9 se muestran las gráficas para estructuras dañadas con cimentación superficial según sus características: sistema estructural, número de pisos y daño previo. Podemos ver en la figura 3.9a que las estructuras construidas con muros de carga de mampostería fueron cimentadas en zapatas, esto nos hace pensar que se trata de estructuras antiguas construidas antes de 1960 con poca altura. Las estructuras dañadas con losa de cimentación fueron construidas a base de muros o columnas y losas planas de concreto. Mientras que la cimentación compensada fue utilizada también en estructuras con marcos de acero y columnas con muros y losa plana de concreto.

Las estructuras construidas con cimentación superficial son en general de poca altura; en la figura 3.9b observamos que las zapatas fueron utilizadas en estructuras de hasta once pisos lo que puede ser un riesgo al estar ubicadas en suelo blando ya que se presentan hundimientos diferenciales. La capacidad de carga del suelo no es grande y en caso de un sismo la poca profundidad de las zapatas pueden provocar grandes desplazamientos; en la misma figura observamos que la cimentación compensada fue utilizada para estructuras altas, de hecho, las más altas que se dañaron fueron las del conjunto Pino Suárez de 21 pisos, cimentadas en un cajón compensado ubicado encima de la estación de metro con el mismo nombre, en este caso el movimiento de la cimentación pudo ocasionar la torsión excesiva que

provocó el giro de las torres construidas de marcos de acero mencionadas en el capítulo 2. La losa de cimentación fue utilizada en gran parte en estructuras de siete y ocho pisos que, como sabemos, fueron las que más sufrieron daños.

En la figura 3.9c observamos que no hubo muchas estructuras con cimentación superficial que tuvieran daños previos, para el caso de cimentación compensada hubieron algunas estructuras con daños previos ligeros, estos daños pudieron ser provocados porque esta cimentación puede presentar hundimientos diferenciales ya que, como habíamos dicho, es un sistema sensible a los cambios de presión en el suelo y a la entrada de agua al cajón de cimentación, lo que altera la compensación. Existieron algunas estructuras construidas con zapatas que presentaban daños previos, estos daños también son debidos al hundimiento diferencial, pero en este tipo de cimentación son mayores por la distribución de esfuerzos en cada zapata, que hace que se muevan de manera diferente, además de tratarse de estructuras antiguas con historia previa de sismos.

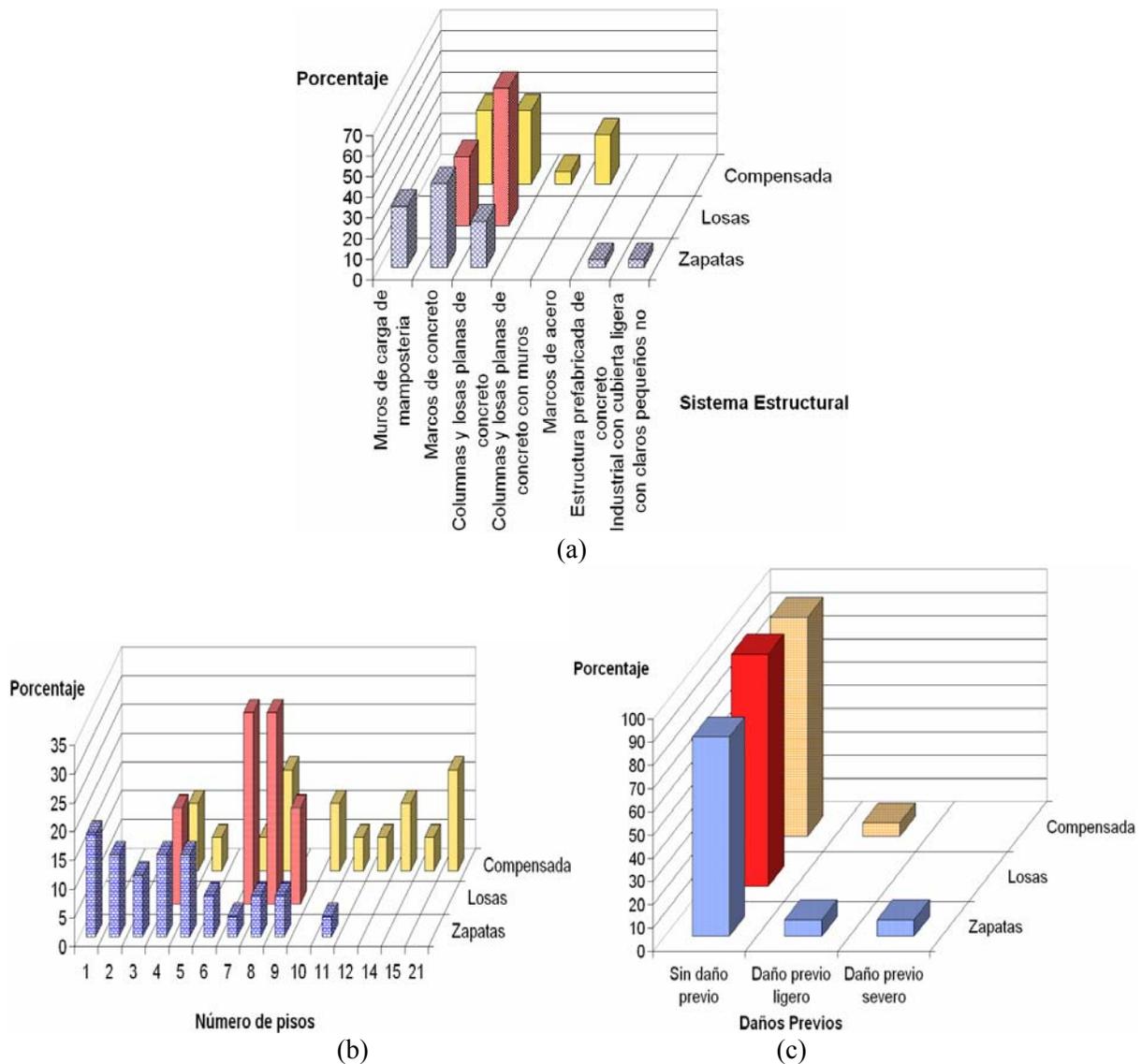


Figura 3.9 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación superficial por: (a) Sistema Estructural, (b) Número de pisos, (c) Daño previo

En la figura 3.10 se presentan las gráficas de las causas que pudieron provocar el daño en las estructuras construidas con cimentación superficial, con el fin de analizar la relación entre el tipo de cimentación y los factores de daño. Se observa en la figura 3.10a, el nivel de daño que se presentó según la cimentación que tenían, las estructuras con losa de cimentación fueron las que más colapsos presentaron, mientras que en las compensadas se dio en mayor cantidad daño grave, con esto tenemos que para las cimentaciones superficiales, en la zona de estudio, la cimentación compensada es menos vulnerable que las losas y las zapatas. De los tipos de cimentación superficial hubo más estructuras construidas con losa de cimentación que presentaron resonancia (figura 3.10b). Aunque ya vimos que la resonancia no fue un factor importante de daño vemos que la losa de cimentación puede ayudar a que se de este factor.

Muchas estructuras construidas con cimentación a base de zapatas y compensada se encontraban en esquina (figura 3.10c). En el caso de las cimentadas en zapatas se puede pensar que existe una relación entre el tipo de cimentación y que se de la torsión, sin embargo en estructuras cimentadas con cajones compensados no se puede dar tal relación, en estos casos la cimentación y la ubicación no pudieron ser factor de daño. En las figuras 3.10d y 3.10e se observa que no existieron muchas estructuras con irregularidad en planta o en elevación, sin embargo vemos como en el caso de estructuras con cimentación a base de losa y compensada se dieron más casos de estructuras dañadas con irregularidades, esto hace suponer que en estos casos el daño se debió a torsión, y que estas cimentaciones son ocupadas para construcciones con irregularidades en planta.

Para estructuras con cimentación superficial que se dañaron en 1985 podemos decir que: aquellas con zapatas se dañaron por una mala decisión de cimentar así en ese tipo de suelo, aún cuando fueron de poca altura eran pesadas por el sistema estructural de mampostería, la razón de construir así se debe a que son estructuras antiguas construidas con poco criterio sísmico. Las estructuras construidas con losa de cimentación sufrieron en su mayoría colapso total porque presentaban irregularidades en planta y en elevación a lo que hay que agregar que el sistema no reduce la transmisión de ondas del suelo a la estructura ya que éstas pudieron presentar resonancia. En el caso de estructuras con cimentación compensada los motivos de daño fueron otros diferentes al tipo de cimentación, tales como la ubicación, irregularidades que provocaron torsión y en el caso de estructuras altas una mala elección de cimentación, sin embargo está sufrió daños graves y en menor cantidad colapsos, por lo que es una buena elección de cimentación al considerar el costo- seguridad.

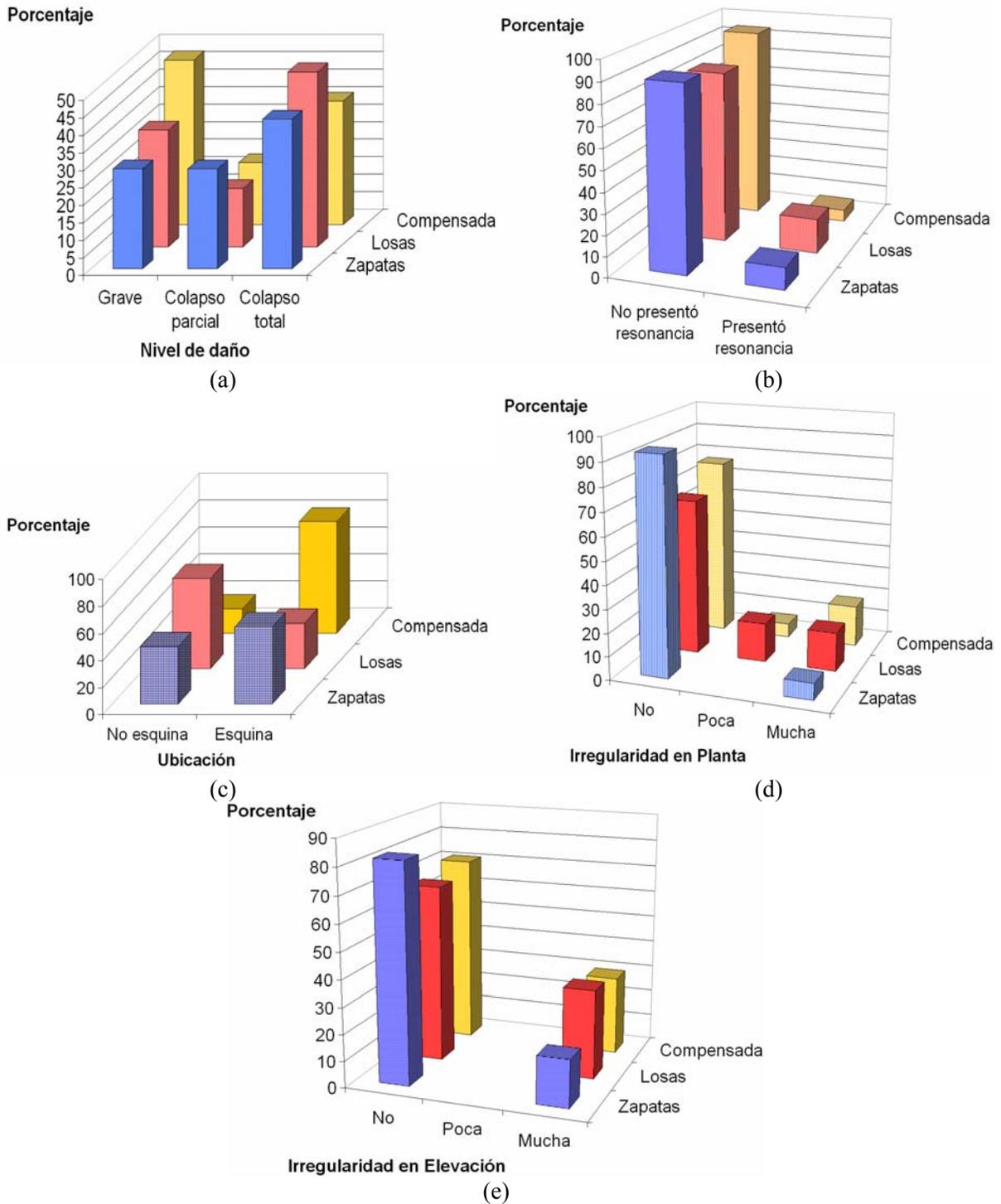


Figura 3.10 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación superficial por: (a) Nivel de daño, (b) Resonancia, (c) Ubicación en la manzana, (d) Irregularidad en planta, (e) Irregularidad en elevación

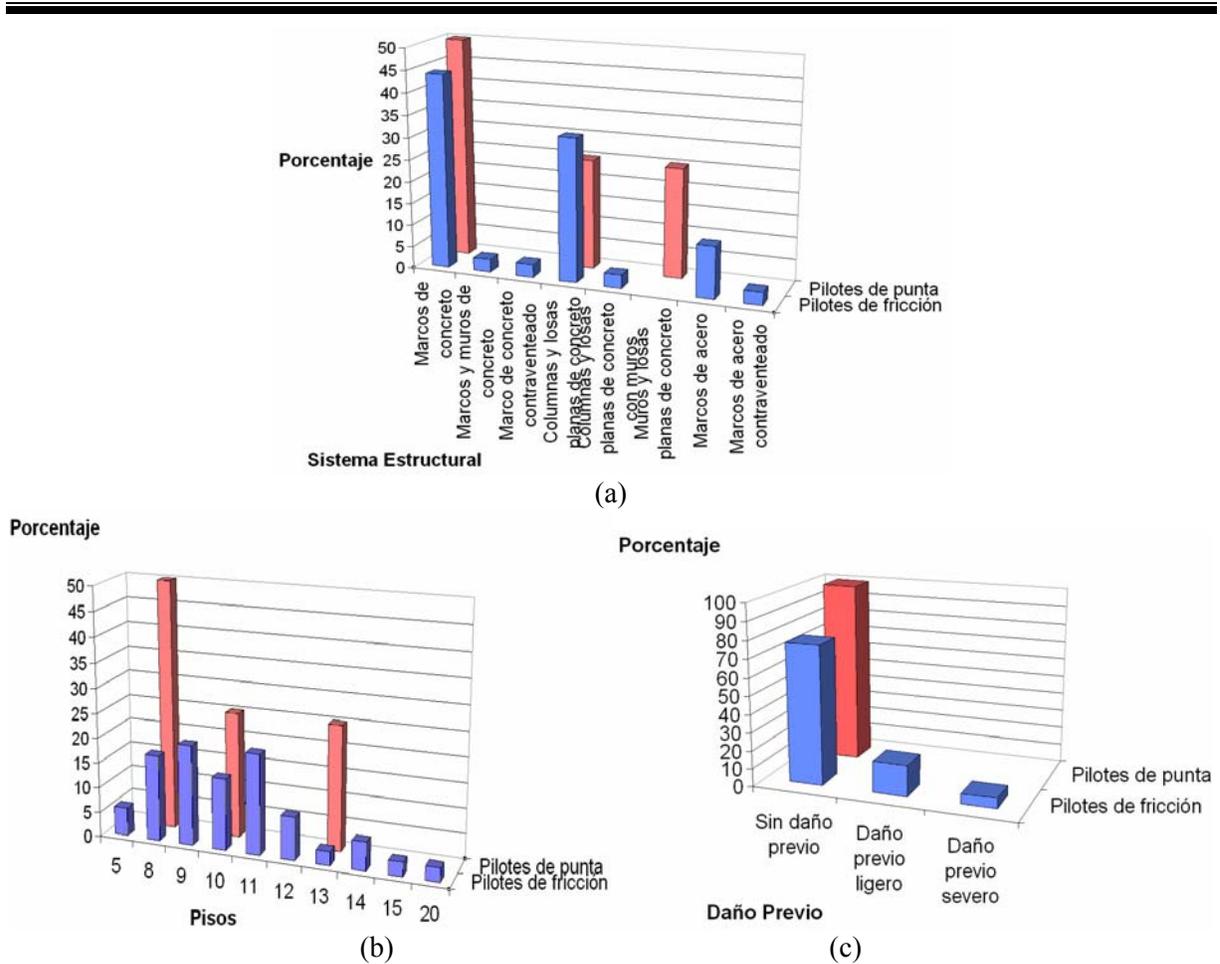


Figura 3.11 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación profunda por: (a) Sistema Estructural, (b) Número de pisos, (c) Daño previo

En las figura 3.11 y 3.12 se muestran gráficas para estructuras con cimentación profunda que sufrieron daño en 1985, en la figura 3.11 se tienen las gráficas para pilotes de control y pilotes de punta según su sistema estructural, número de pisos y daño previo. Vemos en la figura 3.11a que para el caso de pilotes de fricción existe mayor variedad de sistemas estructurales con los que se construían: marcos de acero, columnas y muros de concreto con losa plana, marcos de concreto con muros y contraventeos, siendo los marcos o columnas y losas planas de concreto los más comunes. Para pilotes de punta se tenían estructuras con muros o columnas y losas planas de concreto, siendo más común los marcos de concreto. Las cimentaciones profundas se utilizan para estructuras altas, en la figura 3.11b observamos que las estructuras mas pequeñas construidas con cimentación profunda fueron de cinco pisos a base pilotes de fricción, estos fueron utilizados en estructuras con todos los números de niveles. Vemos que los pilotes de punta se ocuparon para estructuras de ocho, diez y once pisos, con una gran mayoría en las de ocho pisos. Las estructuras con pilotes de punta no presentaron daños previos (figura 3.11c), mientras que los pilotes de fricción si presentaron, esto se debe a los hundimientos diferenciales.

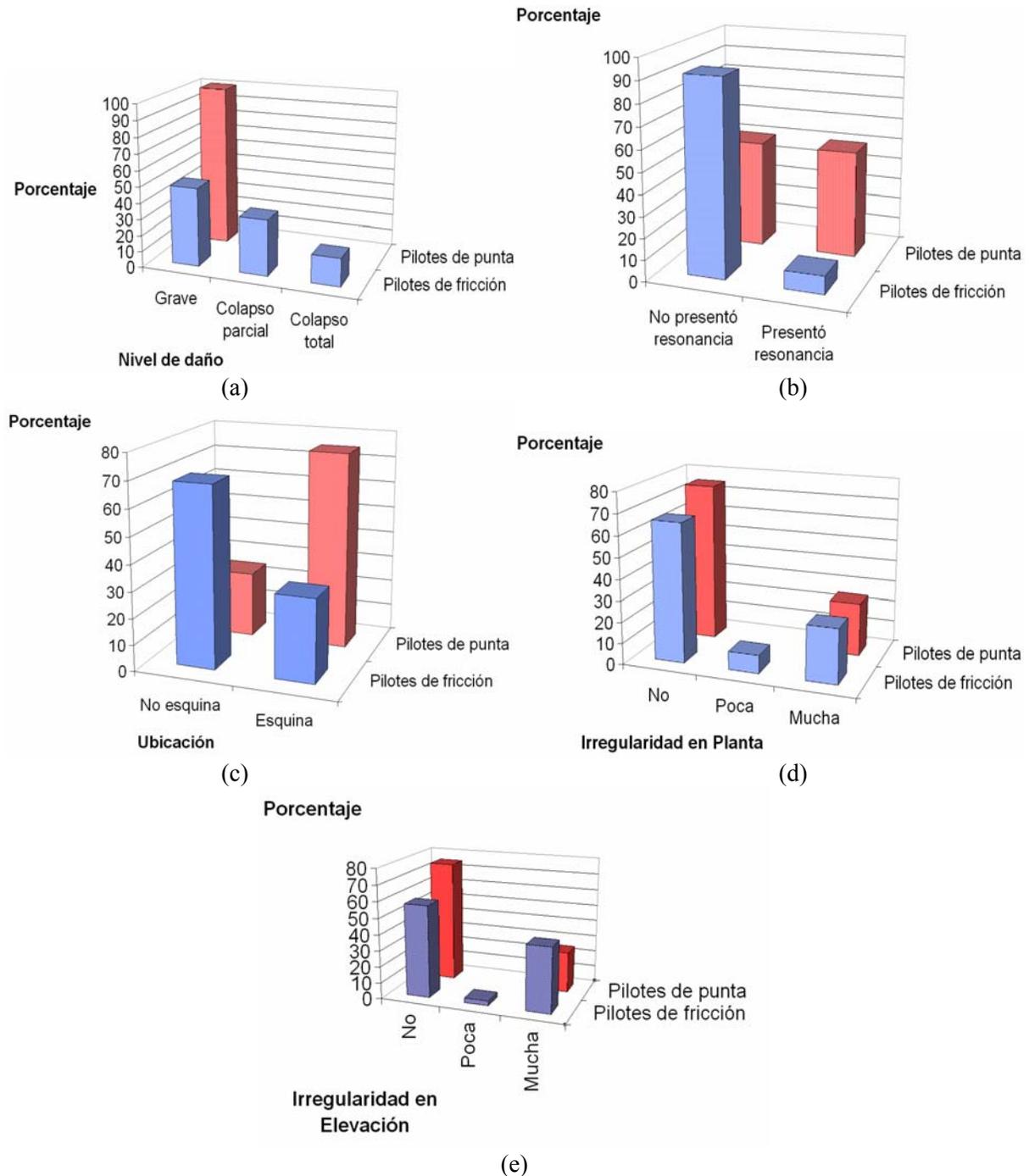


Figura 3.12 Estructuras dañadas en la delegación Cuauhtémoc por los sismos de septiembre de 1985 con cimentación profunda por: (a) Nivel de daño, (b) Resonancia, (c) Ubicación en la manzana, (d) Irregularidad en planta, (e) Irregularidad en elevación

En la figura 3.12 observamos las estructuras dañadas con cimentación profunda según el nivel de daño, si presentaron o no resonancia, ubicación en esquina o no e irregularidades, con el fin de analizar como influye este tipo de cimentación en el daño. Vemos en la figura 3.12a que en estructuras con pilotes de punta el daño que se presentó fue daño grave, por lo que decimos que es la cimentación menos vulnerable, aunque sabemos que es costoso realizar esta cimentación. Vemos que en pilotes de fricción

también se dieron muchos daños graves, sin embargo aquí si se presentaron colapsos, aunque en menor porcentaje que en el caso de las cimentaciones superficiales.

Para el análisis de resonancia se tiene en la figura 3.12b que los pilotes de punta si se dio el fenómeno pero estas estructuras presentaron daño grave. En estructuras con pilotes de fricción no se dio resonancia, pero hubo colapsos, por esto tenemos otro motivo para cual decir que la resonancia no fue un factor importante de daño en el sismo de 1985 y que los pilotes de punta ayudan a que se de el fenómeno de resonancia.

En la figura 3.12c vemos que las estructuras con pilotes de punta se encontraban en su mayoría en esquina y los pilotes de fricción no estaban en esquina, por lo que aquí también podemos decir que la ubicación tampoco es un factor de daño para estructuras cimentadas en pilotes de punta, ya que hubo muchas en esquina pero no hubo colapsos, contrario a lo que pasó con las estructuras con pilotes de fricción, que se dañaron aún cuando no estaban en esquina, es decir, la torsión no se dio en estas estructuras, por lo menos aquella provocada por la ubicación en esquina, pero si hubo colapsos.

En las figuras 3.12d y 3.12e vemos los niveles de irregularidad que presentaban las estructuras con cimentación profunda. No hubo muchos casos en los que existieron irregularidades en planta o en elevación. En el caso de los pilotes de fricción la irregularidad en elevación fue mucha.

En estructuras con cimentación profunda es difícil encontrar la relación entre el tipo de cimentación y los factores de daño debido al tamaño de la muestra con la que se trabajó, sin embargo, podemos decir que los pilotes de fricción presentaron colapsos mientras que los pilotes de punta no, que los pilotes de punta pueden transmitir el sismo a las estructuras y provocar resonancia, y en éstas afecta más la ubicación en esquina, mientras que, para los pilotes de fricción no se presentó resonancia se presentaron irregularidades en planta y en elevación y la ubicación en esquina no fue factor, es decir que las estructuras cimentadas en pilotes de fricción se dañaron por irregularidad o por algún otro factor como el golpeteo o la mala construcción pero no por torsión.

Existe una relación entre la profundidad de la cimentación y el comportamiento que ésta tiene, es necesario analizar el comportamiento de las variables que utilizamos para escoger un tipo de cimentación: tipo de suelo, altura de la estructura, uso y el beneficio de construir una cimentación profunda, tomando en cuenta el diseño correcto, por ejemplo en pilotes de fricción donde se tiene que calcular el esfuerzo por fricción negativa que aumenta al hundirse y el mantenimiento en el caso de cimentar con pilotes de control y cajones de cimentación, entre otros.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA PARTE SOCIAL

4.1 DISTRIBUCIÓN DE ESTRUCTURAS EN RIESGO

Una de las potenciales aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es como ayuda en el diseño de planes de protección civil. Es una herramienta útil para conocer las zonas de riesgo en una población construida o por construir, considerar las precauciones que se deben tener y mitigar el desastre. Nos sirve, por ejemplo, para diseñar rutas de evacuación en caso de emergencia, así como para actuar de manera correcta y eficiente al momento de acudir a rescatar atrapados en estructuras que se dañen o colapsen. Si conocemos el riesgo sísmico de una región, a partir de información de sismos pasados, podemos hacer mapas de riesgo para tomar decisiones que ayuden a prevenir y rescatar.

El SIG que se usa en este trabajo cuenta con el cálculo del riesgo sísmico para las estructuras de la delegación Cuauhtémoc (Quiroga y Reinoso, 2005), utilizando el programa RSMex® (Ordaz, et al, 2000). Este programa calcula el riesgo sísmico como un porcentaje de pérdidas estimadas para cada estructura, originadas por un sismo específico. El programa toma en cuenta las investigaciones más recientes en cuanto a los factores involucrados en la estimación del riesgo sísmico como son: la atenuación de ondas, las fuentes sísmicas y los efectos de sitio. El cálculo requiere la incorporación de información para cada estructura que consta principalmente de:

- Datos de localización. Que incluye la ubicación de la estructura por coordenadas geográficas y tipo de suelo.
- Datos de la estructura. Son características estructurales: número de pisos, tipo y uso, tipo de columnas, trabes, muros, contraventeos, ubicación en esquina o no, irregularidades en elevación, en planta, posibilidad de golpeteo, daños previo y hundimientos diferenciales, entre otras. Estas nos sirven para conocer la vulnerabilidad de la misma.

A continuación se presentan los mapas de riesgo para la delegación Cuauhtémoc (figura 4.1), estos se realizaron ponderando los porcentajes de pérdida estimada calculada con RSMex® para obtener el riesgo sísmico, utilizando las equivalencias que se presentan en la tabla 4.1. El sismo que se utilizó en la corrida para estimar pérdidas con RSMex® fue el de septiembre de 1985. Con estos mapas podemos conocer cuales son las zonas a las que tenemos que destinar esfuerzos y recursos, ya sea cuando ocurra un sismo, porque esas pueden ser las zonas donde se presenten daños o para prevenir los daños, realizando análisis detallados de las características de las estructuras para mitigar el daño. Se debe de tomar en cuenta que el cálculo de riesgo se hizo utilizando el sismo de 1985 por lo que estos mapas no reflejan exactamente lo que ocurrirá con otro sismo, pero si es un buen indicador del riesgo.

Tabla 4.1 Equivalencia del porcentaje de pérdida estimada y riesgo sísmico para la delegación Cuauhtémoc

Porcentaje de pérdidas	Riesgo sísmico
0-14	Bajo
15-29	Medio
30-49	Alto
>50	Muy Alto

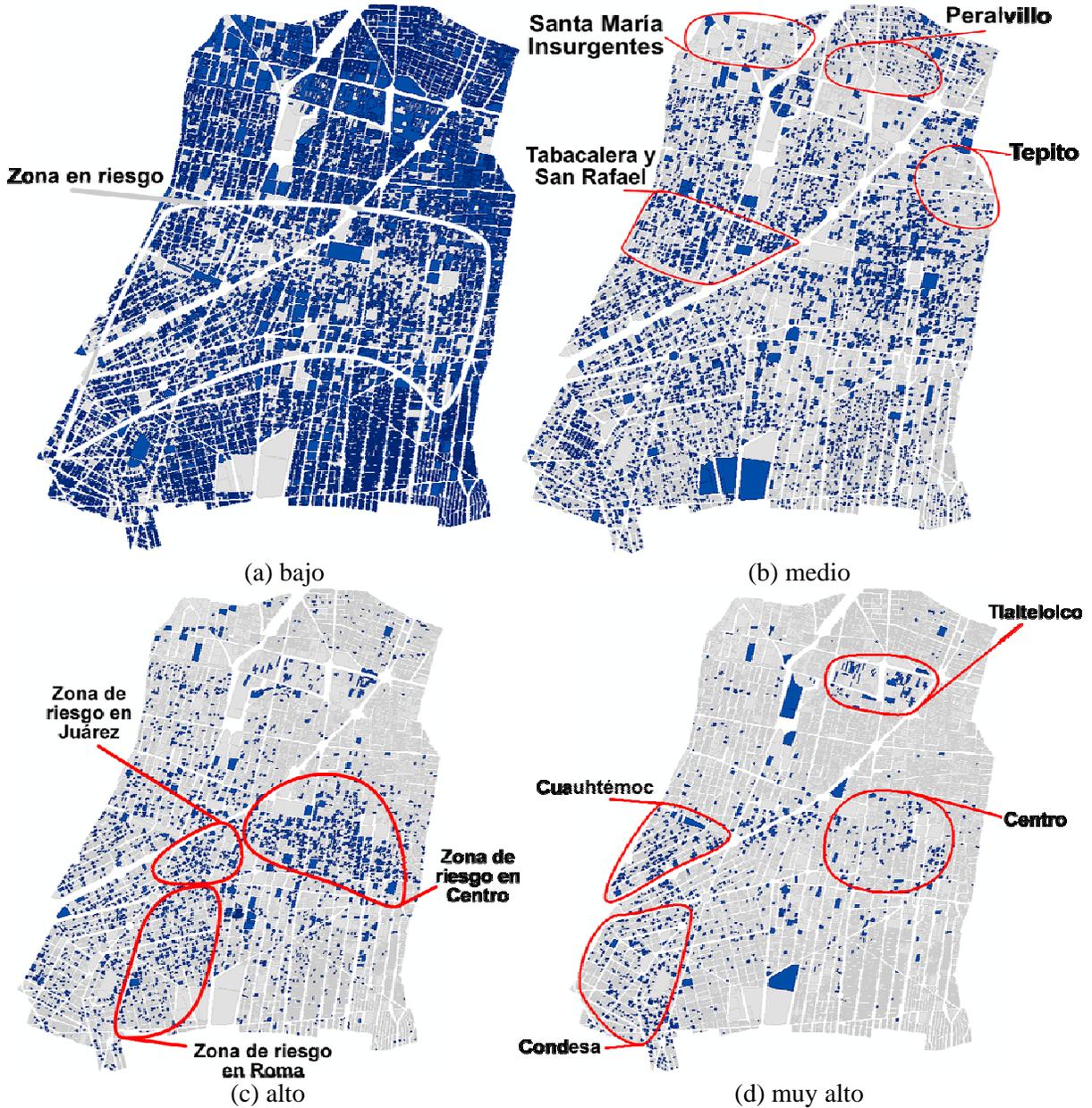


Figura 4.1 Estructuras existentes en la delegación Cuauhtémoc según nivel de riesgo: (a) bajo, (b) medio, (c) alto, (d) muy alto

En la figura 4.1a se muestra la distribución de estructuras con riesgo bajo, afortunadamente son la mayoría, el 74%. En la figura se puede notar una zona en la cual existen estructuras que si están en riesgo sísmico, que va desde la colonia Condesa hasta la colonia Centro. En la figura 4.1b se tiene la distribución de estructuras con riesgo medio, aquí tenemos una concentración de estructuras en las colonias Centro, Tabacalera y San Rafael. Observando el conjunto de figuras podemos ver que las colonias Peralvillo, Santa María Insurgentes y Tepito son colonias seguras desde el punto de vista de riesgo sísmico. La figura 4.1c muestra la distribución de estructuras con riesgo sísmico alto, en ésta vemos una concentración de estructuras en la colonias Centro, Juárez y Roma, las cuales fueron las más afectadas en el sismo del 19 de septiembre de 1985. Las estructuras con riesgo muy alto se muestran en la figura 4.1d, éstas son las principales que se deben tomar en cuenta para realizar escenarios de riesgo; en estas zonas es donde se debe de pensar que ocurrirán los daños más severos en un sismo. Existe una concentración en las colonias Cuauhtémoc, Condesa y Centro. Se tiene que la Unidad Habitacional Tlaltelolco se encuentra en riesgo muy alto, esto debe preocupar ya que en esta unidad tiene una densidad de población muy alta. Otra observación es que las estructuras con riesgo muy alto se encuentran en las avenidas principales.

Se debe considerar que a partir del riesgo alto las estructuras pueden presentar desde daño grave hasta colapso. A partir de esta consideración se muestra la figura 4.2 con la distribución de estructuras que pueden presentar daño, se trata de la suma de las figuras 4.1c y 4.1d. En esta figura observamos lo mencionado anteriormente, una concentración de riesgo en la parte suroeste de la delegación, así como en la colonia Centro.

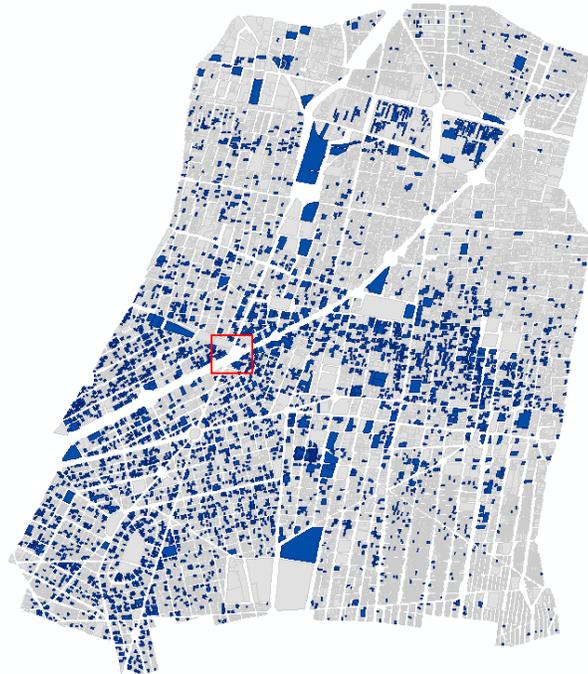


Figura 4.2 Estructuras existentes en la delegación Cuauhtémoc que podrían presentar daños

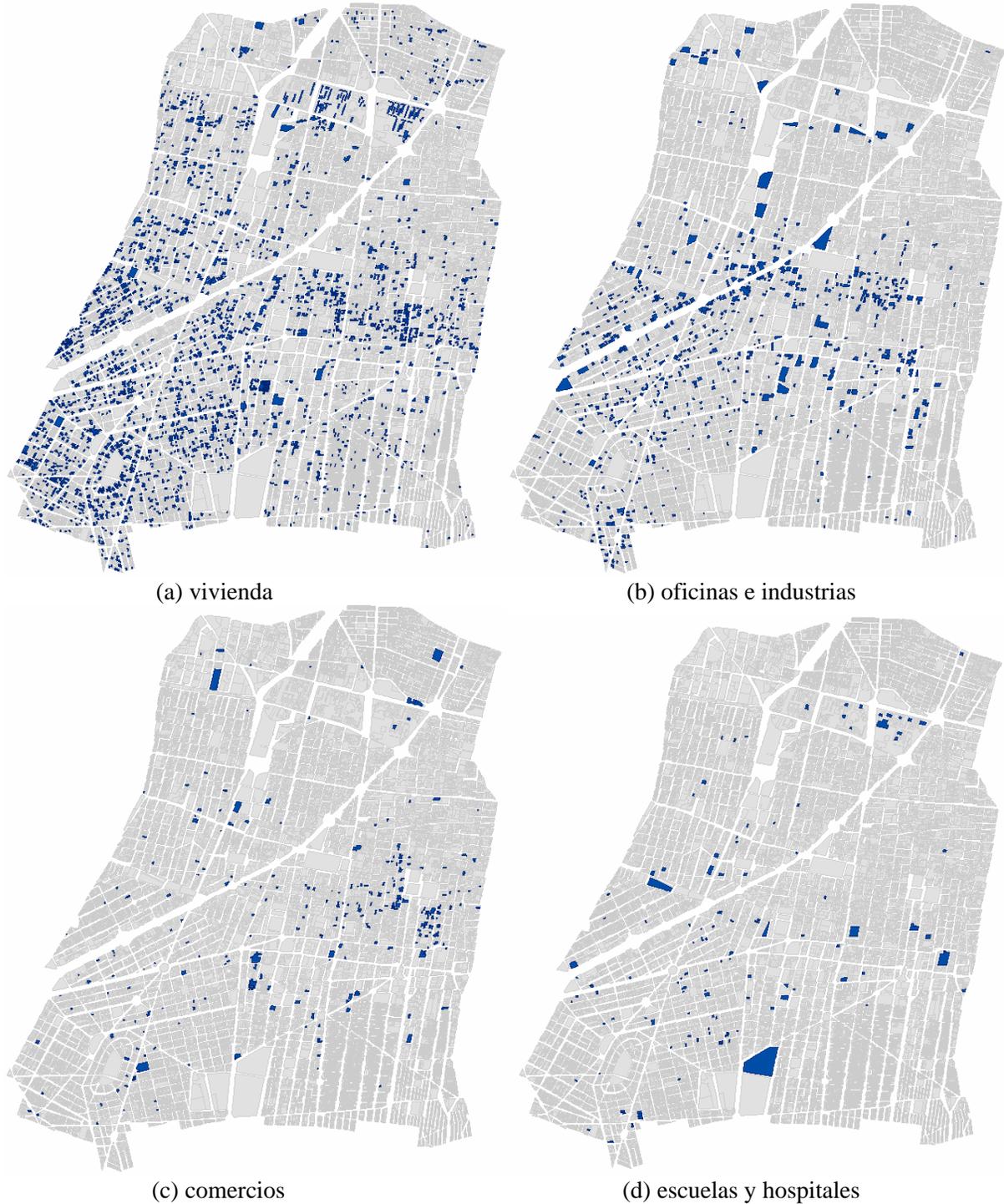


Figura 4.3 Estructuras existentes en la delegación Cuauhtémoc a considerar con nivel de riesgo alto según uso: (a) vivienda, (b) oficinas e industrias, (c) comercios, (d) escuelas y hospitales

Se puede separar a las estructuras según el uso que tienen, con el fin de conocer las zonas en las cuales pueden existir muchos atrapados en caso de un sismo, o para saber el tipo de acciones preventivas que se deben hacer, por ejemplo en el caso de escuelas y hospitales, donde se recomienda hacer modificaciones a las estructuras, con el fin de hacerlas más seguras, o planes eficientes de acción y

evacuación, para que la gente que ocupa éstas sepa como actuar en caso de siniestro. En la figura 4.3 se muestra la ubicación de estructuras con riesgo alto según su uso. En la figura 4.3a se tiene a las estructuras con uso vivienda en las cuales se espera tener una gran cantidad de personas atrapadas si éstas colapsan y más si el sismo ocurriera en la noche. Vemos como las colonias con muchas estructuras con uso vivienda en riesgo son: Cuauhtémoc, Centro, Juárez, Roma y Condesa, así como la Unidad Habitacional Tlaltelolco. Las estructuras en riesgo con uso oficina e industria se presentan en la figura 4.3b, en éstas se esperaría tener mucha gente atrapada en caso de colapso si el sismo ocurriera en el día, ya que se encontraría ocupando los edificios; vemos como estas estructuras están ubicadas en las avenidas principales, recordando que ahí es donde se encuentran los edificios más altos, por lo se supone sería mucha la cantidad de gente atrapada.

En la figura 4.3c se presentan las estructuras en riesgo con uso comercio, en donde también se esperaría una gran cantidad de gente atrapada en el transcurso del día, además de que la población que acude a estas estructuras es considerada población flotante, por lo que no se sabe cuantos podrían estar ocupándolas, y habría muchos desaparecidos. Existe una concentración de estructuras comercio en riesgo en la colonia Centro. A los usos escuela y hospital se les debe prestar atención ya que estas estructuras deberían presentar un riesgo bajo porque se construyen con criterios más estrictos, estos usos se presentan en la figura 4.3d. En éstas se sugiere preparar a la gente que ocupa los edificios para conocer las rutas de evacuación y planes de acción, y en el caso de hospitales, no contemplarlos como útiles para prestar servicio en caso de sismo, ya que posiblemente estos estarán también dañados.



Figura 4.4 Zoom de la cartografía para estructuras en riesgo

Conocemos la ubicación de las estructuras que el modelo estima como de alto riesgo sísmico, por lo que se pueden tomar decisiones como por ejemplo realizar un análisis detallado de las estructuras y distribuir información sobre protección civil en caso de sismo en las zonas con estructuras con riesgo.

Con estos mapas se puede hacer un plan para revisar detalladamente a las estructuras ubicadas en estas zonas e indicar otros factores posibles de riesgo, por ejemplo si funcionan con el uso para el que fueron diseñadas, si cuentan con las juntas constructivas y separaciones suficientes para que no se de golpeteo, si existen daños previos, entre otros, y distribuir información sobre protección civil en caso de siniestro. Este análisis sirve para reducir costos de evaluación y estudio ya que con la ubicación de estructuras en riesgo no se tienen que revisar la totalidad.

En la figura 4.4 se muestra un zoom de la cartografía del SIG, se trata del cruce de la avenida de los Insurgentes con Paseo de la Reforma, el cual se indicó en la figura 4.2, lugar donde existen estructuras con riesgo sísmico alto a las cuales se sugiere realizar un estudio detallado de sus características estructurales y determinar un plan de acción para éstas. Con este análisis se han reducido los costos de investigación ya que, como se dijo anteriormente, se conoce la ubicación de las estructuras en riesgo.

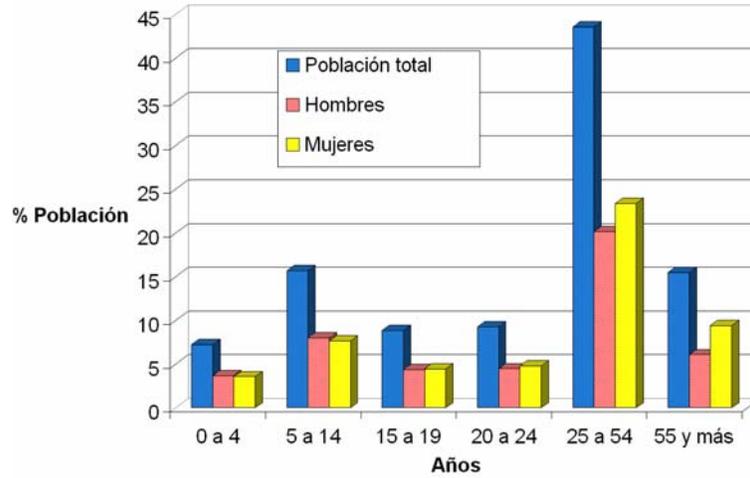
4.2 ESCENARIOS DE RIESGO

Existen escenarios en los cuales se prevé una situación hipotética de daños. Los escenarios sirven para analizar el riesgo y construir mapas que nos lleven a realizar acciones de rescate y evacuación para los casos probables. Estos escenarios dependen de variables como hora de ocurrencia del sismo, uso de las estructuras, sistema estructural, número de personas en éstas y ubicación. Como experiencia de los sismos de 1985 se sabe que se cuenta con pocas horas para efectuar los rescates de la gente atrapada y encontrarla con vida, por lo que resulta de gran interés contar con planes eficientes de rescate, en los cuales podemos hasta sugerir qué tipo de herramienta conviene llevar al sitio dañado conociendo las características de las estructuras.

Para realizar un escenario de riesgo es importante conocer las características de la población y el uso de las estructuras, para suponer la ubicación de la población a lo largo del día. En la figura 4.5a se muestra la distribución de la población de la delegación Cuauhtémoc por grupos de edades y sexo, según los datos del INEGI del censo población y vivienda realizado en el 2000, se dividieron los grupos de manera en que se tuviera por actividad que pueden realizar, por ejemplo, el grupo de 25 a 54 años son la población económicamente activa que puede desarrollar un trabajo en algún sitio dentro de la delegación, los de 5 a 14 se dedican a estudiar y quizá lo hagan en alguna escuela de la delegación, los de 0 a 4 y 55 y más podrían estar en su casa y los de 15 a 19 y 20 a 24 pueden estudiar o trabajar. Vemos que la mayoría de la población puede estar trabajando durante el día, mientras que una parte menor de la población puede encontrarse en sus casas. Esto se hace con la finalidad de suponer la ubicación de la población según la hora.

En la figura 4.5b se tiene la gráfica de porcentaje de estructuras según su uso, en ésta vemos que la mayoría de las estructuras tiene uso vivienda, mientras que un porcentaje menor presentan los usos comercio oficinas, industria y otros, por lo que podemos decir que la mayor parte de la población puede estar en su casas, en segundo lugar en sus trabajos o en comercios. La configuración de la distribución de población cambia en el transcurso del día. A partir de observar estas dos gráficas se obtienen porcentajes de ocupación de las estructuras según su uso dependiendo de la hora y del día de la semana. Los resultados se muestran en la tabla 4.2.

(a)



(b)

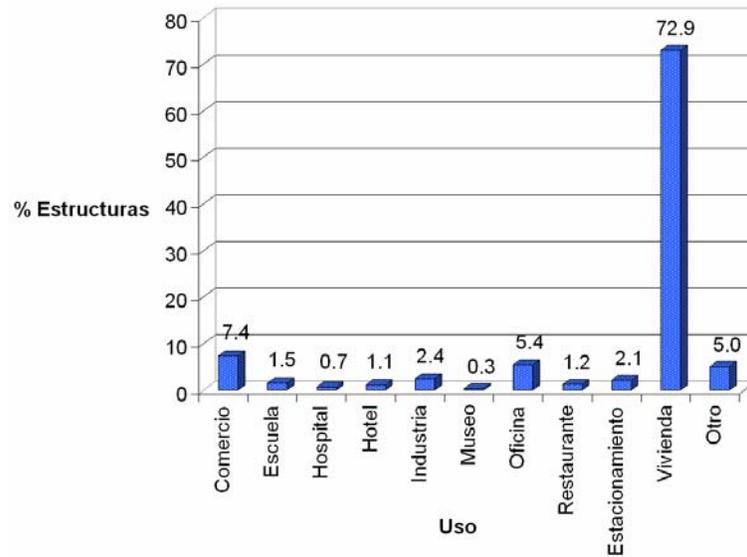


Figura 4.5 Estadísticas de la Delegación Cuauhtémoc: (a) Población por edades (INEGI, 2000), (b) Uso de estructuras SIG

Tabla 4.2 Porcentaje de ocupación por uso según día y hora para la Delegación Cuauhtémoc

Uso	Día Hábil		Fin de Semana	
	Día (%)	Noche (%)	Día (%)	Noche (%)
Comercio	22.4	0.8	10.8	0.8
Escuela	0.6	0	0	0
Hospital	0.6	0.1	0.2	0.1
Hotel	0.3	0.2	0.3	0.2
Industria	6.4	0.2	0.6	0.2
Museo	0.1	0	0.1	0
Oficina	16	0.6	0.8	0.6
Restaurante	1	0.1	0.3	0.1
Estacionamiento	0.6	0	0.3	0
Vivienda	51.1	97.5	85.8	97.5
Otro	0.9	0.5	0.8	0.5

Conociendo esta información se pueden hacer los mapas de riesgo, según la hora de ocurrencia. La estimación de población afectada o víctimas se da con la fórmula 4.1, en la cual se hace el producto del porcentaje de pérdidas estimada por el porcentaje de ocupación obtenido de la tabla 4.2, dividido entre 100. El número de víctimas se da con las equivalencias mostradas en la tabla 4.3, en los mapas que se presentan se omitió la figura del nivel ninguna víctima.

$$Víctimas = \frac{\text{Porcentaje de Pérdidas} \times \text{Porcentaje de Ocupación}}{100} \quad (4.1)$$

Tabla 4.3 Equivalencia del porcentaje de pérdida estimada y riesgo sísmico para la delegación Cuauhtémoc

Porcentaje de víctimas	Nivel de víctimas
0-14	Ninguna
15-29	Pocas
30-49	Algunas
>50	Muchas

Los mapas que se muestran a continuación corresponden al escenario que resultó con una mayor cantidad de población afectada; este escenario corresponde al que un sismo con características como el del 19 de septiembre de 1985 se dé en la noche ya sea un día hábil o en fin de semana. El caso para el cual se tendrían menos víctimas sería si el sismo ocurriera un día hábil en el transcurso del día.

En la figura 4.6 se muestran los mapas de riesgo para el escenario de que ocurra un sismo en un día hábil por la noche. En la figura 4.6a se tienen las estructuras en las cuales el número de víctimas sería poco, entre el 15% y el 29%. Con un porcentaje mayor de víctimas se encuentran las colonias Centro, Juárez y Roma como se observa en la figura 4.6b. En la colonia Centro se tienen dos estructuras con uso oficina y comercio para las cuales se esperan algunas víctimas. En la figura 4.6c se observa que las colonias más afectadas serían Cuauhtémoc y Condesa, así como la Unidad Tlaltelolco; en estos sitios se espera tener un alto porcentaje de víctimas, se trata de estructuras con uso vivienda.



Figura 4.6 Distribución de estructuras para escenario en caso de sismo en día hábil en la noche por posibles víctimas: (a) pocas, (b) algunas, (c) muchas

CONCLUSIONES

Se presentaron los datos de las estructuras que existen de la delegación Cuauhtémoc en un Sistema de Información Geográfica, así como las estadísticas de las estructuras que había en 1985 y las que se dañaron con los sismos de septiembre de ese año. Se analizaron los parámetros del suelo y los factores de daño que se presentaron en las estructuras afectadas por los sismos de 1985. Se hicieron modificaciones al SIG de la delegación Cuauhtémoc, el cual sigue siendo actualizado y es utilizado para realizar diversas investigaciones de mitigación y evaluación del riesgo sísmico.

La mayoría de las estructuras dañadas fueron construidas antes de 1957, tenían de cuatro a ocho pisos, con usos vivienda, oficina y fábrica, fueron construidas con marcos, columnas y losas planas de concreto, ubicadas en esquina.

Hubo muchos edificios dañados construidos después de 1957 cuyo daño se debió al poco conocimiento que se tenía sobre el comportamiento que presentarían los diseños y técnicas de construcción que se realizaron en un periodo de auge constructivo en la zona, como el sistema de losa plana.

Se estudiaron dos casos de estructuras dañadas, con los cuales vimos que el factor de daño principal que afectó a éstas fue la torsión provocada por irregularidades y por la ubicación en esquina. Otro factor que se dio también con frecuencia fue el golpeteo. La diferencia entre las estructuras de estos casos que se dañaron y las que no se debió a que en estas últimas no se presentó daño previo ni sobrecarga.

La resonancia no fue un factor de daño. Ésta se dio en algunas estructuras ubicadas en el área de la delegación Cuauhtémoc con períodos predominantes de suelo menores a 2.0 s. En las que se encontraban en la región de períodos mayores a 2.5 s el daño se debió a otros factores como la torsión.

La cimentación superficial más vulnerable fue la de zapatas, y la menos fue la cimentación compensada. En el caso de las losas de cimentación se presentaron más colapsos totales mientras que la cimentación compensada presentó más daños graves. En estructuras construidas con cimentación profunda se vio que aquellas con pilotes de fricción sufrieron más colapsos, no presentaron resonancia y los factores de daño que se dieron en éstas fueron la irregularidad y el golpeteo; mientras que en las cimentadas con pilotes de punta si se presentó resonancia y el factor de daño fue la ubicación en esquina, el nivel de daño que presentaron fue grave, es decir esta cimentación es menos vulnerable.

Se evaluó el riesgo sísmico de la delegación Cuauhtémoc para un sismo con las características del de septiembre de 1985. Los resultados se presentaron en mapas en los cuales se indica que las colonias con mayor riesgo sísmico son: Centro, Cuauhtémoc, Condesa, Juárez y Roma. Estos mapas son útiles para reducir costos de investigación y análisis de estructuras en riesgo, así como para conocer zonas donde es necesario realizar planes de protección civil.

Se hicieron mapas para el escenario de que ocurra un sismo como el del 19 de septiembre de 1985 en un día hábil por la noche. Este escenario resultó el caso para el cual se tendría un mayor porcentaje de población afectada. Las estructuras con un porcentaje alto de posibles víctimas se encuentran en las colonias Cuauhtémoc, Condesa, Centro, Juárez y Roma.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Cinna, “Las causas probables de la catástrofe sísmica del 19 de septiembre de 1985”, Ciencia y desarrollo, septiembre/octubre 1988 Vol. XIV Núm 82, CONACYT.

DGPC, (2002), “Sismicidad y peligro sísmico en la Ciudad de México”, Servicio Geológico Metropolitano, Dirección General de Protección Civil del Distrito Federal UNAM.

García, A., “Comportamiento de la arcilla del valle de México”, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería UNAM, México 2000.

González M., Reinoso E., (2005), “Estimación de atrapados y estrategias de rescate con base en la información de daños del sismo de 1985”, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, México, 2005.

IG/II, (1985), “El sismo del 19 de septiembre de 1985”, Instituto de Geofísica UNAM/Instituto de Ingeniería UNAM, México 1985.

Ladislao, U., “Los sismos dos años después”, ICyT Octubre de 1987, Vol. 9 Núm.133.

“Normas técnicas complementarias para diseño por sismo”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, México 2004.

“Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, México 2004.

Marsal, R., “Notas sobre el diseño y construcciones de cimentaciones en el Distrito Federal”, Comisión Federal de Electricidad, México 1986.

Medina, J., “De buenos cimientos”, Construcción y Tecnología IMCYC, Febrero 2002, México.

Meli R., Miranda E., (1986), “Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México – Evaluación de daños”, Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM.

OPS/OMS, (1999) “Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud” Organización Panamericana de la salud/ Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Washington. <http://www.paho.org/spanish/ped/pedesres.htm>.

Ordaz M., Miranda E., Reinoso E., Perez-Rocha L., (2000), “Seismic loss estimation model for México City”, XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zeland.

Quiroga C., (2003), “Primer informe semestral de actividades desarrolladas en el doctorado (2004-1)”, Posgrado de Ingeniería UNAM, 2003.

Quiroga C., (2004), “Segundo informe semestral de actividades desarrolladas en el doctorado (2004-2)”, Posgrado de Ingeniería UNAM, 2004.

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 del Sistemas de Información Geográfica”, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco Gro., 2004.

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”, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, México, 2005.

Reinoso E., Machicao R., Ordaz M., Guerrero R., (1999) “Comparación de la respuesta sísmica de un edificio de concreto reforzado ubicado en distintos sitios de la Ciudad de México”, IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Morelia Mich., 1999.

Rosenblueth E., Meli R., (1986), “The 1895 earthquake: causes and effects in México City”, Concrete International.

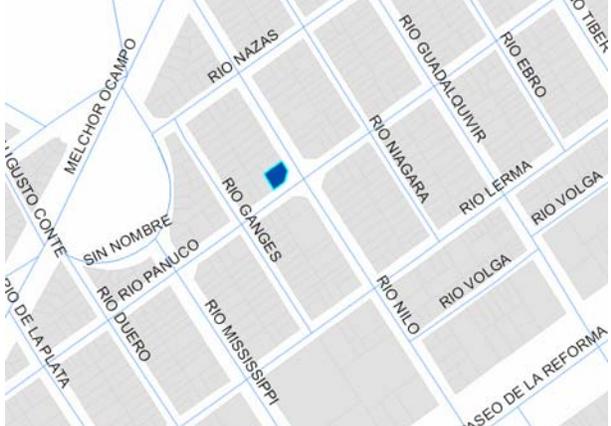
Zeevaert, L., “Filosofía de las cimentaciones”, Conferencia sustentada en la Universidad Veracruzana en Xalapa, Veracruz, 1977.

APÉNDICE

**Tabla 1 Información de las estructuras dañadas del caso 1. Estructuras de Ocho Pisos
Construidas con Columnas y Losa Plana de Concreto**

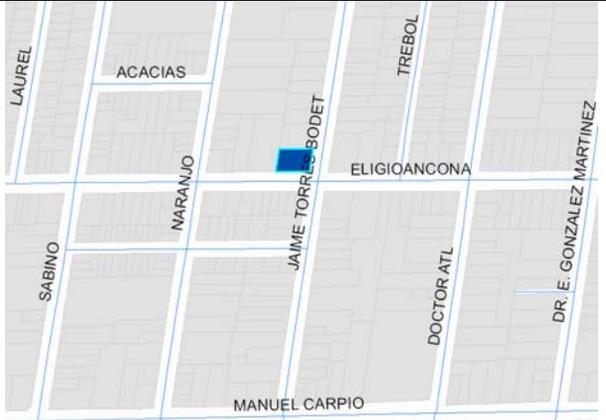
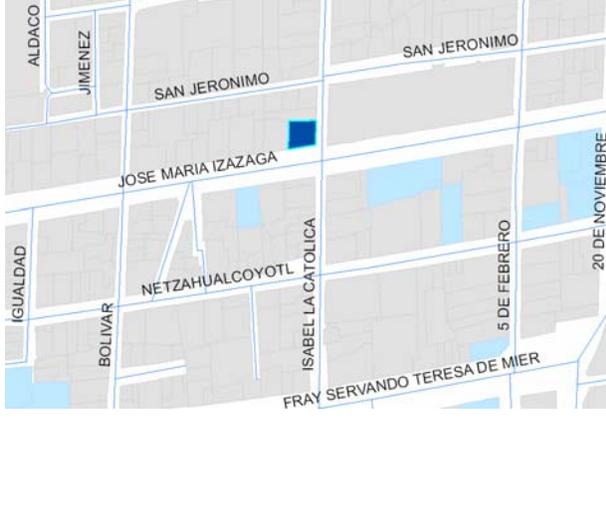
Clave de estructura 1985	Ubicación de estructura a partir del SIG	Descripción Reporte de daños Instituto de Ingeniería 1985
I-08		<p>El edificio de oficinas conocido como Ciba, en Guerrero #2 esquina con Puente de Alvarado, fue construido en 1950, tenía muros de colindancia de mampostería, el daño se clasificó como grave. Falló una columna de un piso intermedio y se destruyeron los muros de mampostería de ese nivel. El edificio parecía muy rígido pero se golpeó con su vecino. Los claros entre columnas eran de aproximadamente 4 m. Los muros de colindancia construidos por la ubicación en esquina provocaron torsiones y el golpeteo al que fue sometida la estructura, provocaron la falla.</p>
II-14		<p>Edificio de departamentos ubicado en el Callejón de San Camilito en la colonia Garibaldi. Constaba de tres cuerpos, de los cuales colapsaron los últimos niveles de los dos cuerpos laterales, en el cuerpo central los daños fueron en los pasillos conectores a los cuerpos laterales y en los acabados. Falló la conexión losa-columna, existía sobrecarga. El golpeteo entre los tres cuerpos que conformaban el edificio con las estructuras vecinas provocó el colapso. En resumen la falta de continuidad en la estructura, la sobrecarga, el golpeteo y el haber sido construida antes de 1957, fueron los factores de daño.</p>

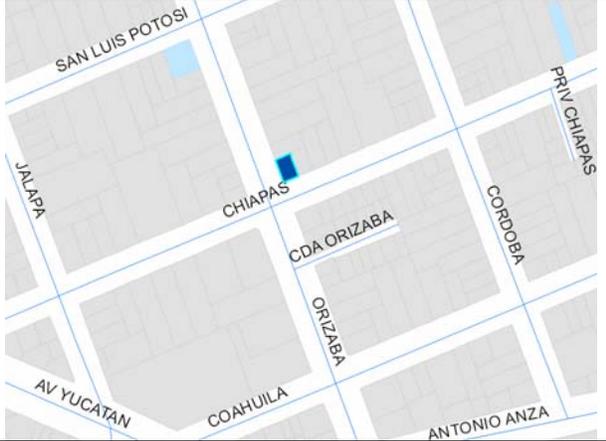
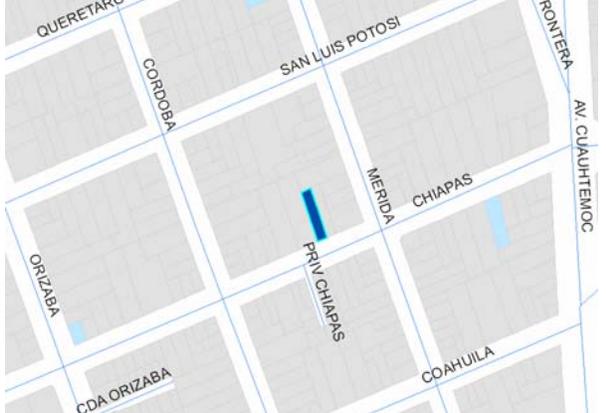
<p>II-16</p>		<p>El edificio para locales comerciales construidos aproximadamente en 1960 con columnas de concreto y losa reticular aligerada con casetones, sufrió el colapso total de la estructura. Al parecer la irregularidad en planta y la posibilidad de sobrecarga provocaron el colapso de la estructura.</p>
<p>III-14</p>		<p>La Cámara Nacional de Comercio de la ciudad de México se indica con la clave III-14, fue construida en 1976 con columnas de concreto y losa aligerada con casetones removibles. Tenía el factor conocido como columna corta en el cual las columnas pierden longitud efectiva con lo que la parte que de la columna que no está confinada toma los esfuerzos de cortante provocados por el sismo. Se presentaron agrietamientos por flexo-compresión y cortante en columnas de la fachada, así como daños en los muros, recubrimientos cancelería y vidrios.</p>
<p>III-22</p>		<p>El Hotel Principado ubicado en José María Iglesias No. 55 que sufrió colapso total, fue construido antes de 1957 a base de columnas de concreto y losa reticular aligerada con bloques huecos de concreto, la cimentación era un cajón de cimentación parcialmente compensado y pilotes de fricción. Contaba con dos cubos de luz que dividían en dos a la estructura, los cuales influyeron en la falla.</p>

<p>III-28</p>		<p>La estructura con clave III-28 fue una oficina conocida como Reclusorios y Marina construida en 1970 con de columnas de concreto y losa plana aligerada con peralte de 35 cm, la cimentación era una losa corrida, la fachada era prefabricada. Se colapsó el cuarto entrepiso, sufrieron daños la fachada, los muros divisorios y la cancelería. Existió evidencia de fuertes choques con la estructura vecina, los cuales contribuyeron al colapso del entrepiso ya que éste coincidía con la altura de edificio vecino.</p>
<p>III-29</p>		<p>El edificio pertenecía a la Aseguradora Mexicana, construido en 1940 ubicado en Madrid 58, su planta era irregular, con columnas de concreto y losa plana aligerada con casetones, su cimentación era a base de pilotes. Presentaba cambio brusco de las secciones de las columnas de rectangular a cuadrada. Se colapsaron los pisos superiores, posiblemente la resistencia de las columnas no era la adecuada.</p>
<p>III-55</p>		<p>La estructura III-55 fueron departamentos con planta irregular, construido en 1977, con columnas de concreto y losa plana se agrietaron algunas columnas, el daño se debió a los efectos de torsión provocado por la rigidez de los muros colindantes y la irregularidad.</p>

<p>IV-07</p>		<p>La clave IV-07 corresponde a una fábrica de ocho pisos ubicada en la calle 20 de Noviembre casi esquina con Regina, construida en 1965, sistema estructural a base de columnas de concreto con losa reticular aligerada y cimentación de pilotes. Sufrió el colapso de los tres pisos superiores, las cargas en estos pisos era excesiva ya que el uso para el que fue diseñado era oficina, presentó daños producidos por golpeteo con estructuras aledañas.</p>
<p>V-21</p>		<p>Departamentos en Querétaro 173, construidos después de 1957 con planta regular rectangular, presentó el colapso total de la estructura por una posible falla en la conexión losa columna, al colapsarse daño la estructura vecina.</p>
<p>V-48</p>		<p>La estructura con clave V-48 corresponde a la oficina gubernamental que ocupaba la Dirección General de Radio, Televisión y Cinematografía construida en 1960, presentó el colapso de los cuatro pisos superiores inducidos por el golpeteo del edificio colindante.</p>
<p>V-59</p>		<p>La estructura V-59 era de oficinas, en la calle de Puebla #260 entre Medellín y Salamanca. Construida en 1981 con planta rectangular irregular de 40x8 m construida con columnas de concreto y losa reticular de un solo claro en la dirección corta. Sufrió daños graves y pandeo en las columnas del segundo y tercer piso provocado por efectos de flexibilidad en la planta y esbeltez excesiva, con daños en acabados y vidrios.</p>

Tabla 2 Información de las estructuras dañadas del caso 2. Estructuras de Seis Pisos Construidas con Columnas y Losa Plana de Concreto

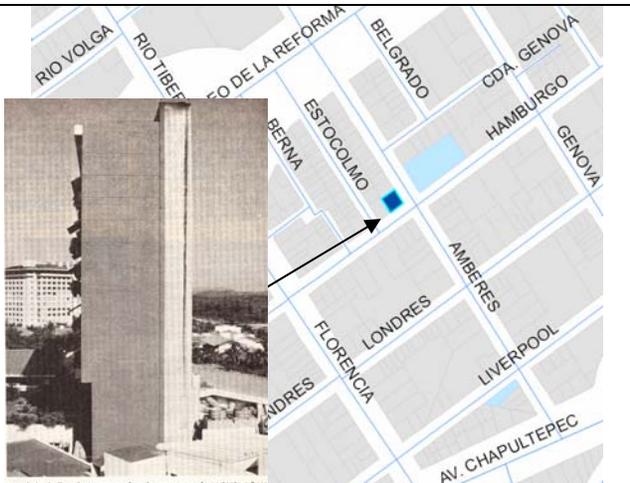
Clave de estructura 1985	Ubicación de estructura a partir del SIG	Descripción Reporte de daños Instituto de Ingeniería 1985
I-11		<p>Estructura ubicada en Eligio Ancona 65, con uso vivienda, construida en 1960, posiblemente con cimentación superficial. Sufrió el colapso total comenzando la falla en las columnas, presentaba daño previo, el agrietamiento de las trabes desde 1979.</p>
III-42		<p>Edificio de Bancomer construido después de 1957, con cimentación a base de zapatas, muros de colindancia ligados a la estructura, presentó agrietamientos por cortante y carga axial en las columnas de esquina así como caída de aplanados, vidrios y grietas en muros divisorios. La presencia de muros de colindancia rigidizaron los marcos con lo que se produjeron torsiones importantes que originaron el daño.</p>
IV-15		<p>Fábrica de ropa ubicada en José María Izazaga esquina con Isabel la Católica, al lado del metro del mismo nombre, edificio era conocido como Súper Bodega y distribuidora de mayoreo, construido en 1973, de planta regular con muros de mampostería en las colindancias, losa reticular aligerada con peralte de 40 cm. Presentó el colapso de los tres pisos superiores iniciado probablemente con la falla por cortante de la columna de la esquina donde los efectos por torsión fueron mayores. Existía una reducción brusca de las dimensiones de las columnas con la altura, seguramente se presentó sobrecarga por el almacenamiento de tela y ropa.</p>

<p>V-05</p>		<p>Estructura de uso departamentos y fábrica en Chiapas 142, construida entre 1957 y 1973, presentó daños graves.</p>
<p>V-18</p>		<p>El edificio correspondía a la Dirección General de Aeropuertos construida en 1976 con planta irregular, se colapsaron los pisos superiores ocasionando daños a la casa contigua, presentaba cambio de rigidez en los niveles.</p>
<p>V-30A</p>		<p>Edificio conocido como Televiteatros ubicado en la esquina de Puebla y Cuauhtémoc, construido después de 1976 con columnas de concreto, losa reticular y losa del techo soportada por armadura de acero, presentando irregulares en elevación, Sufrió el colapso total, se observaron fallas por punzonamiento debidas a la sobrecarga y fallas por columna corta.</p>

<p>VI-45</p>		<p>Edificio de oficinas ubicado en Eje Central esquina con Durán, construido entre 1957 y 1976, presentó daños graves en muros y columnas colapsadas por falla a cortante, se desprendieron acabados.</p>
--------------	--	---

Tabla 3 Información de las estructuras dañadas del caso 3. Estructuras de Especial Interés

Clave de estructura 1985	Ubicación de estructura a partir del SIG	Descripción Reporte de daños Instituto de Ingeniería 1985
<p>I-09</p>		<p>Edificio Nuevo León de la Unidad Habitacional Tlalotelco, vivienda de 14 pisos construida después de 1957 con planta rectangular irregular muy alargada en tres cuerpos, construida con marcos de concreto con diagonales de contraventeo rigidizando el sentido esbelto, cimentación parcialmente compensada con cajón y pilotes de control que no tuvieron mantenimiento. Sufrió colapso total del cuerpo norte y el cuerpo central, el cuerpo sur con daños graves, el colapso posiblemente comenzó en la parte inferior, edificios del conjunto con la misma estructuración también sufrieron daños pero sólo este colapsó. La razón del colapso se debió a la irregularidad en planta, así como a la falta de mantenimiento en la cimentación.</p>
<p>III-25</p>		<p>La estructura con clave III-25 corresponde al Hotel de Carlo de once pisos ubicado en José María Iglesias, construido en 1960 con columnas de concreto de sección circular y losa plana aligerada, cimentación a base de pilotes. Presentó el colapso de los niveles seis y siete provocado por el golpeteo de los edificios adyacentes ya que los pisos coinciden con la altura de uno de ellos.</p>

<p>III-38</p>		<p>Esta clave representa al Hotel Presidente ubicado en Hamburgo esquina con Amberes en la Colonia Roma, construido en 1960 de 12 pisos con columnas de concreto y losa plana aligerada, con un muro de concreto y algunos de mampostería, cimentado en pilotes. Sufrió la falla del muro de concreto por una junta fría también presentó agrietamientos en muros divisorios y algunas columnas. La torsión provocada por el muro de concreto como elemento rígido fue la causa de los daños.</p>
<p>IV-08</p>		<p>Estructura IV-08 que es el Hospital Juárez, construido en 1965 ubicado en San Pablo 13 esquina con Escuela Médico Militar, con 12 pisos construidos de marcos de concreto en las dos direcciones, cimentación a base de pilotes, sufrió el colapso total debido a la falla de las columnas y algunas conexiones.</p>
<p>IV-22 IV-23 IV-24 IV-25</p>		<p>Este conjunto de estructuras corresponde al conocido Conjunto Pino Suárez uno con 14 pisos y los otros tres de 21 pisos, construidas en 1970 como oficinas, fueron las estructuras más altas que resultaron dañadas. Construidas con marcos de acero, columnas sección cajón y traveses de alma abierta soportando losa de concreto con contraventeos en K ubicados asimétricamente, cimentación compensada sobre la estación Pino Suárez del Metro. Al edificio de 14 pisos le cayó encima uno de los otros edificios. La falla de otro inicio en el cuarto piso, presentando una falla de pandeo local de las placas que formaban la sección cajón, pandeo en algunas traveses de alma abierta y pandeo del contraventeo, Los otros dos edificios presentaron desplome de casi 1.5 m y deformaciones por evidente torsión. Una torre giró 3/4 sobre su eje, todas las torres mostraban un inicio de giro.</p>

<p>IV-30</p>		<p>Esta figura representa la ubicación de Televisa, ubicada en Río de la Loza y Niños Héroes, la estructura colapsada fue uno de los edificios del conjunto de cinco pisos con una antena encima de 180 m de altura, la construcción era de 1950 con columnas de concreto cuadradas de 40x40 cm y losa plana aligerada de 40 cm de peralte. La caída de la antena sobre el edificio pudo provocar el colapso.</p>
<p>IV-34</p>		<p>Esta estructura era el Conalep Juárez construido en 1940 de cuatro pisos con marcos de concreto, el edificio sufrió colapso total, su irregularidad en planta y lo antiguo de edificio pudo ser causa del colapso.</p>
<p>IV-47</p>		<p>La clave IV-47 fue asignada a la estructura que ocupaba el restaurant Súper Leche y los departamentos en la parte superior, ubicado en Eje Central 41 esquina con Victoria, de cinco pisos, construido en 1940 con marcos de acero remachados en las dos direcciones y sistema de piso de losa de concreto.</p>
<p>IV-54</p>		<p>La estructura IV-54 era el Hotel Regis ubicado en Av. Juárez entre Balderas y Dr. Mora, con tres cuerpos uno de seis y los otros de ocho pisos, construido antes de 1957 al 85 tenía 71 años de fundado, con sistema mixto de columnas de acero y algunas de concreto con losa de concreto, sufrieron el colapso total y el incendio de uno de los cuerpos. La parte nueva del edificio fue la que derrumbó primero.</p>

<p>VI-01 VI-03 VI-05 VI-07</p>		<p>VI-01 Fue el Hospital General del centro Médico, construido antes del 57, eran cuatro cuerpos regulares de ocho pisos construidos con marcos de concreto. Tuvo daño grave, se colapsaron traveses, se fracturaron las juntas viga columna y grietas en las traveses a 45°, se desprendieron acabados y se dañaron las cancelerías. El daño fue provocado por el choque de los cuerpos que conformaban el edificio.</p> <p>VI-03 Era la Sección de Cardiología del Centro Médico, construido antes de 1957, eran dos cuerpos de ocho pisos con sótano a base de marcos de concreto, la cimentación era compensada. Falló un apéndice, hubo grietas importantes en las traveses provocadas por falla de flexión y cortante, así como grietas en las conexiones viga columna, se impactaron las juntas constructivas, se dañaron cancelerías y aplanados.</p> <p>VI-05 Era la Subdirección General Médica construida antes de 1957 con ocho niveles con marcos de concreto, con planta rectangular irregular de 20x80m. Se colapsaron cuatro columnas en el cuarto piso y hubo grietas importantes en las traveses. La falla se debió posiblemente a la sobrecarga y al mal comportamiento de la cimentación que ocasionó el desplome de la estructura.</p> <p>VI-07 Era el Área de Oncología construida antes de 1957 de ocho pisos con marcos de concreto, planta rectangular irregular de 14x50m, con marcos de concreto de columnas de sección circular de 80 cm de diámetro y cimentación posible de pilotes de punta. Colapsaron algunas traveses y columnas, se dañaron aplanados y cancelería.</p>
--	---	--