



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DAÑOS OBSERVADOS Y PROCESO DE
RECONSTRUCCIÓN EN EDIFICIOS
AFECTADOS POR EL SISMO DEL 19S 2017
EN LA CIUDAD DE MÉXICO:
REHABILITACIÓN Y DEMOLICIÓN**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JUAN EDUARDO MARTÍNEZ CAMARGO

DIRECTOR DE TESIS

DR. EDUARDO REINOSO ANGULO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

- *Esto pasó en septiembre. No en el septiembre de este año sino en el del año pasado. ¿O fue el antepasado, Melitón?*

- *No, fue el pasado.*

- *Sí, si yo me acordaba bien. Fue en septiembre del año pasado, por el día veintiuno. Óyeme, Melitón, ¿no fue el veintiuno de septiembre el mero día del temblor?*

- *Fue un poco antes. Tengo entendido que fue por el dieciocho.*

JUAN RULFO, fragmento de *El día del derrumbe*,
en *El llano en llamas*, 1953.

Toda estructura fallará si no es demolida antes.

EMILIO ROSENBLUETH

Al amor cósmico que provocó el Big Bang.

A mi mamá Leticia y a mi papá Juan Manuel,
por su ejemplo, enseñanzas y confianza, y, sobre todo,
por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas Lizbeth y Ariana, y a mi hermano Esteban,
por siempre estar conmigo y apoyarme en todo momento.

A Ian, Katy, Ximena, Leo y Christopher,
por los momentos de alegría.

A las mujeres y a los hombres libres que con sus
palabras, gritos y luchas me inspiran.

A todas, todos y todes los que han formado parte de mi vida,
¡Gracias!

Agradecimientos

Quiero agradecer el apoyo, los comentarios y las enseñanzas brindadas por el **Dr. Eduardo Reinoso Angulo** para la realización de esta tesis. También, le agradezco la confianza depositada en mí para colaborar en su equipo de trabajo, en el Instituto de Ingeniería y posteriormente en ERN.

A mis sinodales, **Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar, Dr. Armando Rafael Hermsillo Arteaga, M. I. Héctor Javier Guzmán Olguín y M. I. Reginaldo José Hernández Romero** por enriquecer esta tesis a través de sus valiosos comentarios.

Al **Instituto de Ingeniería de la UNAM** por el apoyo y profesionalismo brindados durante la realización de esta tesis.

A la **Facultad de Ingeniería** por los invaluable conocimientos adquiridos durante mis estudios, por su excelencia académica y por la calidad profesional y humana del personal docente.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por acogerme desde mi educación media superior, por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente, por las extraordinarias personas que conocí en sus instalaciones, por hacerme consciente de los problemas y necesidades del país, por hacerme un ciudadano crítico y exigente. ¡Hoy más que nunca la autonomía y la ciencia se defienden, el fanatismo se combate!

RESUMEN

Se presentan los daños y la situación en la que se encuentran los edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México. Se consideran edificios de 3 a 15 niveles de altura y se establecen tres escenarios en los que un edificio se puede hallar. Primero, se identifican los edificios demolidos y se analizan los daños que presentaron, considerándolos como la causa principal de su demolición. Posteriormente, se observa la situación del resto de los edificios dañados, los cuales están con o sin intervención. Se identifican los edificios no intervenidos y se considera que representan un peligro para la ciudadanía. Por último, se identifican los edificios que están siendo rehabilitados como parte del Plan Integral para la Reconstrucción y se observa el avance en sus proyectos de rehabilitación. De los edificios considerados se observa y analiza la presencia de patologías y otras características que influyeron en su comportamiento y, por lo tanto, en el daño que presentaron.

ABSTRACT

The damages and the current situation of the affected buildings by the earthquake of September 19, 2017 in Mexico City are presented. Buildings from three to fifteen stories high are considered, and three scenarios are established in which a building can be. First, the demolished buildings are identified and the damages they presented are analysed, considering them as the main cause of their demolition. Subsequently, the situation of the rest of the damaged buildings is observed, which are with or without intervention. Buildings that have not been rehabilitated or demolished are identified and considered a danger to citizenship. Finally, the buildings that are being rehabilitated as part of the Integral Plan for Reconstruction are identified and progress in their rehabilitation projects is observed. Of the buildings considered, the presence of pathologies and other characteristics that influenced their behavior and, therefore, the damage they presented is observed and analysed.

ÍNDICE

RESUMEN	6
ÍNDICE.....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
Antecedentes.....	11
Objetivos.....	12
Alcances y limitaciones	12
Organización de la tesis	13
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	14
1.1 Instrumentación y registros sísmicos	15
1.2 Período de vibración	16
1.3 Espectros de respuesta	17
1.4 Daños causados por sismos.....	19
1.4.1 Daños estructurales	21
1.4.2 Daños no estructurales	23
1.5 Patologías estructurales.....	24
1.5.1 Clasificación de patologías estructurales	24
1.6 Demolición de edificios	28
1.6.1 Métodos de demolición	29
CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS, INTENSIDADES Y DAÑOS PROVOCADOS	32
2.1 El sismo del 19S 2017	33
2.1.1 Registros acelerográficos del sismo	34
2.2 Daños provocados por el sismo	39

2.3 Estadísticas de los daños	42
2.4 Proceso de reconstrucción	46
CAPÍTULO 3 IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS DEMOLIDOS Y ANÁLISIS DE DAÑOS	50
3.1 Proceso de demolición	51
3.2 Descripción de los edificios de estudio.....	53
3.3 Análisis estadístico de los daños en los edificios de estudio	59
CAPÍTULO 4 IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS REHABILITADOS Y NO INTERVENIDOS	69
4.1 Descripción de los edificios de estudio.....	70
4.2 Proceso de rehabilitación	73
4.3 Análisis estadístico de daños	79
CONCLUSIONES.....	86
REFERENCIAS	94

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El terremoto del 19 de septiembre de 1985 escribió uno de los capítulos más trágicos en la historia de la Ciudad de México. Y con ello, se dio inicio a un largo proceso de reconfiguración de la ciudad. El sismo enseñó los efectos que producen sus ondas sobre una ciudad construida en un antiguo lago, dando pie al mejoramiento de los instrumentos técnicos, como el reglamento de construcción y las normas técnicas. Sin dejar de lado, que el movimiento telúrico, también cimbró a una sociedad que reaccionó solidariamente.

Treinta y dos años después, la historia se repetiría en una ciudad cada vez más compleja y convulsa. El 19 de septiembre de 2017 un sismo magnitud 7.1 (en esta tesis se referirá como sismo del 19S 2017) fue registrado a 120 kilómetros de la Ciudad de México, en el límite estatal entre Puebla y Morelos. Los daños en la infraestructura de la ciudad dejaron ver, a pesar de los avances científicos y técnicos, la vulnerabilidad de la ciudad ante la actividad sísmica del país, así como el incumplimiento al reglamento y las normas, la falta de supervisión en los procesos constructivos y los múltiples casos de corrupción en el desarrollo inmobiliario de la ciudad.

El saldo que dejó el movimiento telúrico en la Ciudad de México se resume en 228 decesos, 44 edificios colapsados, miles de inmuebles dañados y, por lo tanto, miles de damnificados. Siendo el centro de la ciudad, como en 1985, una de las zonas más afectadas. El sismo también azotó a los barrios y colonias de la parte sur-oriente de la ciudad, la más cercana al epicentro. Después del evento sísmico inició el proceso de reconstrucción, con la rehabilitación y demolición de inmuebles dañados. Dicho proceso ha sido largo y ha tenido complicaciones, dada su propia naturaleza, la magnitud de los daños, la complejidad socio-económica, y, desafortunadamente, los intereses y cambios políticos.

La reconstrucción de la ciudad debe atender los inmuebles que representan un alto riesgo de colapso, y un peligro para la ciudadanía, a través de la demolición y llevar a cabo proyectos de rehabilitación de inmuebles dañados. El proceso debe integrar toda la infraestructura y entender el contexto social, económico y cultural en el que se desarrolla la población de la capital. Al ser una ciudad consciente de su futuro sísmico, se deben de crear

las políticas que atiendan a la infraestructura urbana, a través de mejoras continuas al reglamento y las normas, pero, sobre todo a la ejecución y el respeto de las mismas.

Por lo que, en esta tesis se presenta un seguimiento al proceso de reconstrucción, con la identificación de edificios dañados de 3 a 15 niveles de altura que han sido demolidos y rehabilitados después del sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México, así como aquellos inmuebles que no han sido intervenidos.

Antecedentes

Después de un sismo, las autoridades federales y locales deben de atender la destrucción y el daño en la infraestructura de la zona afectada, a través de un proceso de reconstrucción. En el caso del terremoto de 1985, por ejemplo, se crearon la Comisión Nacional de Reconstrucción y la Comisión Metropolitana de Reconstrucción, estableciéndose diversos programas, entre los cuales destacó el programa de Renovación Habitacional Popular (RHP). Con el programa de Renovación Habitacional Popular, en un periodo de 19 meses a partir de los sismos de 1985 se reconstruyó y construyó 48,800 viviendas (Gamboa y Revah, 1990).

En el ámbito internacional, Chile destaca en la reconstrucción después de una tragedia. El 27 de febrero de 2010 en el país sudamericano se presentó un sismo magnitud 8.8, seguido por un tsunami. Un mes después del temblor, se tenía listo el plan de reconstrucción de viviendas, con el diagnóstico de la situación, las estimaciones de la demanda y los costos, y planes maestros para cada región afectada. Después de dos años, el 84% de las viviendas se encontraba en construcción, de las cuales 54% estaban terminadas y habitables (Velarde, 2017).

En el caso de la Ciudad de México, y como consecuencia del sismo del 19 de septiembre de 2017, el 1 de diciembre de ese mismo año se publicó la Ley para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la Ciudad de México en una cada vez más Resiliente, con la cual inició el proceso de reconstrucción, a través de la demolición, reconstrucción, reparación, rehabilitación y reforzamiento de inmuebles dañados. Un año después, y por el cambio del gobierno capitalino, se modificó la ley y el plan de

reconstrucción. En febrero de 2019 se presentó el Plan Integral para la Reconstrucción de la Ciudad de México, con nuevas formas y principios para realizar la reconstrucción de la ciudad, en el cual se incluyen un nuevo censo social y técnico, la licitación de nuevas empresas y la transparencia en todo el proceso.

Objetivos

Identificar los edificios dañados a causa del sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México que han sido demolidos y rehabilitados como parte del proceso de reconstrucción que se efectúa en la capital, así como los edificios que no han sido intervenidos.

Observar los daños que presentaron los edificios en sus elementos estructurales y no estructurales, así como las patologías y algunas características que agravaron el daño.

Alcances y limitaciones

- * Si bien se presentaron daños en casas habitación, en esta tesis se pondrá énfasis en los edificios de 3 a 15 niveles de altura afectados por el sismo.
- * En algunos casos, los edificios que fueron identificados como demolidos y rehabilitados están en procesos previos a su intervención o en proceso de obra, por lo que, en el futuro la situación en la que se encuentran cambiará.
- * Dada la durabilidad y toma de decisiones en el proceso administrativo, financiero, técnico y constructivo por el cual deben pasar los edificios dañados, lo presentado en esta tesis está actualizado a marzo de 2021, por lo que, la situación en la que se encuentran cambiará en los próximos meses o años.

Organización de la tesis

- * **Introducción.**
- * **Capítulo 1** Se presenta el marco teórico de los temas que se abordan en la tesis.
- * **Capítulo 2** Se presentan las características del sismo del 19 de septiembre de 2017, los daños provocados en la infraestructura de la Ciudad de México y el proceso de reconstrucción.
- * **Capítulo 3** Se presentan los edificios identificados como demolidos, sus daños y patologías.
- * **Capítulo 4** Se presentan los edificios identificados como no intervenidos. Se presentan los edificios identificados como rehabilitados, el avance en sus proyectos de rehabilitación, sus daños y patologías.
- * **Conclusiones.**
- * **Referencias.**

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Instrumentación y registros sísmicos

La instrumentación en zonas sísmicas se dio ante la necesidad de los ingenieros de medir las ondas sísmicas y de estudiar los efectos que se producen en el suelo y en las estructuras, principalmente en las que son vulnerables a sufrir daños. Los instrumentos que se emplean, para registrar el movimiento del terreno y de las estructuras, son los sismógrafos y acelerógrafos, los cuales proporcionan registros llamados sismogramas y acelerogramas, respectivamente.

El sismógrafo es un instrumento de gran sensibilidad que produce una traza que representa la velocidad de movimiento del terreno en el sitio de registro, ya sea a causa de un sismo cercano muy pequeño o de uno grande lejano (Gutiérrez *et al.*, 2006). En los sismogramas se pueden ver los distintos grupos de ondas sísmicas generadas por el sismo. Las primeras son las de cuerpo, llamadas ondas P y S, poco más tarde llegan las ondas superficiales (Zobin, 2004).

Por otra parte, un acelerógrafo permite registrar fielmente las aceleraciones a que se ve sometido el terreno, en direcciones horizontal y vertical, ante el paso de ondas sísmicas producidas por un sismo de gran magnitud a una distancia relativamente corta. Sus valores se expresan usualmente empleando porcentajes o fracciones del valor de la aceleración gravitatoria g (981 cm/s^2) (Gutiérrez *et al.*, 2006).

Los acelerogramas reales, es decir, aquellos que han sido registrados por acelerógrafos al ocurrir un sismo, presentan todas las características del movimiento fuerte: amplitud, frecuencia, contenido de energía y duración (Acevedo, 2012). En los acelerogramas influyen la fuente sísmica (la magnitud, el mecanismo de ruptura, la directividad y la profundidad focal), la trayectoria y los efectos locales, como la presencia de depósitos superficiales.

Los datos que proporcionan estos instrumentos, a través de los registros sísmicos, han sido de suma importancia para el conocimiento de la sismología y el desarrollo de aplicaciones de ingeniería, así como para el estudio del peligro sísmico y la creación de normas de diseño de estructuras sismo resistentes.

1.2 Período de vibración

En un sismo, la energía que se libera súbitamente hace vibrar a la tierra durante un corto período de tiempo. La vibración del suelo será transmitida a una estructura a través de su cimentación y de sus soportes, columnas y muros, provocando que las principales masas de la estructura se muevan o desplacen de forma relativa respecto al suelo.

Las edificaciones pasan bruscamente del estado de reposo en que se encuentran soportando principalmente cargas gravitacionales verticales a sufrir un movimiento vibratorio, que le genera cargas dinámicas actuando en todas las direcciones (Domínguez, 2014).

Existen varios modos o formas en los que una estructura puede vibrar u oscilar frente a una excitación sísmica determinada (Martínez, 2013). Cada modo tiene un periodo de vibración asociado diferente y el primer modo de vibración coincide con el modo natural o propio de la estructura. Por ejemplo, un edificio de tres pisos tendrá el comportamiento de un péndulo de tres masas que presenta tres modos diferentes de vibración (ver figura 1.1).

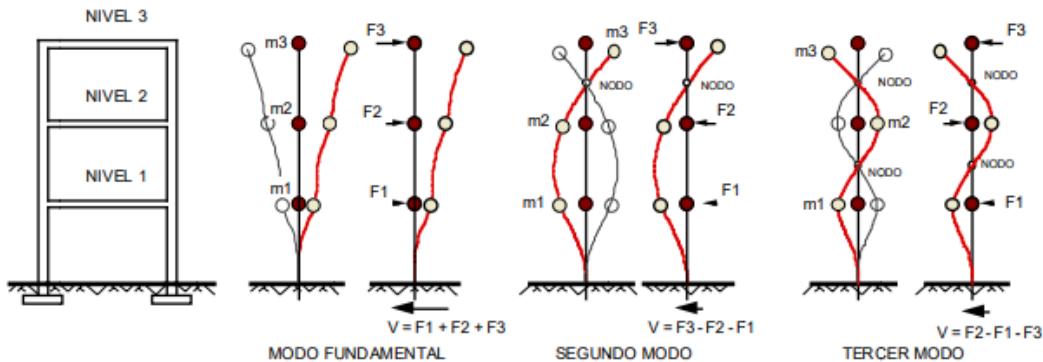


Figura 1.1 Ejemplo de un edificio y sus modos de vibración (Domínguez, 2014).

El período fundamental de vibración es uno de los parámetros más críticos para el diseño sísmico de estructuras, encontrándose diversas investigaciones que han proporcionado expresiones, como la ecuación 1.1, para estimar el período fundamental de un edificio basado en el análisis de regresión de los períodos obtenidos de las vibraciones sísmicas de los edificios reales (Asteris *et al.*, 2015). Las expresiones para calcular el período de vibración están en función de la altura total o del número de niveles de un edificio.

$$T = C_r H_n^x \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde H_n es la altura de la estructura (en metros), C_r y x son parámetros con valores que dependen del sistema estructural.

1.3 Espectros de respuesta

El espectro de respuesta es un gráfico de la respuesta máxima, expresada en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración, que produce una acción dinámica determinada en unas estructuras u osciladores de un grado de libertad con diferente periodo natural de vibrar. En las abscisas del gráfico se representan los periodos o las frecuencias de diferentes estructuras y en las ordenadas la respuesta máxima calculada para una fracción de amortiguamiento (ξ) dada. El espectro de respuesta se ha convertido en una importante herramienta de la dinámica estructural y de gran utilidad en el diseño de estructuras sismo resistentes.

En la figura 1.2 se puede observar una serie de osciladores simples (con un grado de libertad) con la misma fracción de amortiguamiento (ξ) y diferentes periodos de vibración (T), los cuales al ser sometidos a la acción de un mismo terremoto, a través de un registro de aceleraciones, cada uno de ellos exhibirá una respuesta diferente. Con la respuesta calculada de los osciladores es posible determinar la respuesta máxima de cada uno de ellos y en función del periodo de vibración, representarlo en un espectro de respuesta. Es decir, que la respuesta máxima de cada oscilador con periodo T representa un punto del espectro.

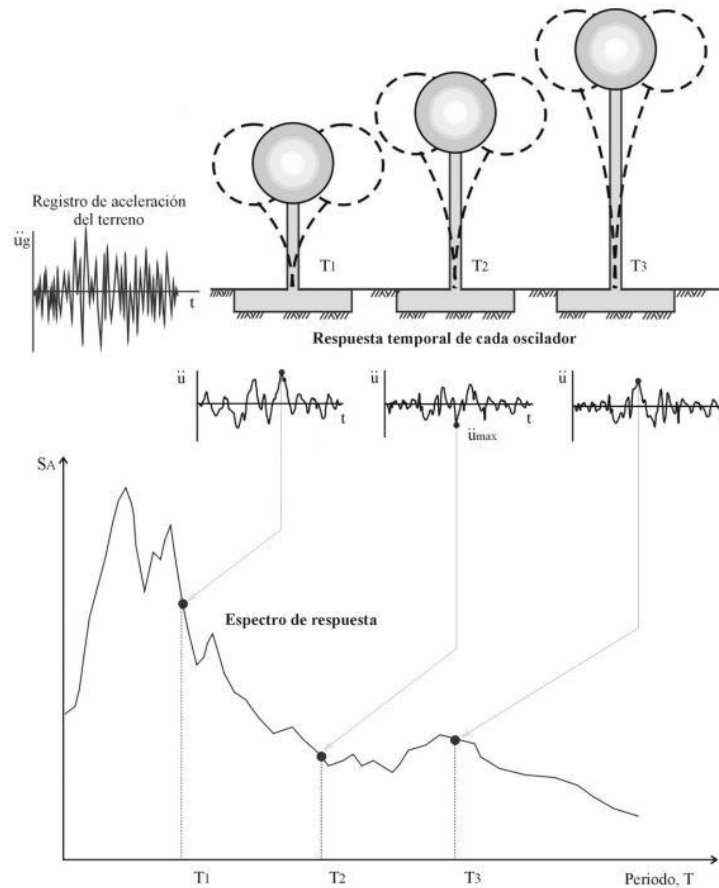


Figura 1.2 Gráfico del método para determinar el espectro de respuesta (Crisafulli y Villafañe, 2002).

Existen varios tipos de espectros con características y objetivos propios, los cuales representan distintos valores máximos de la respuesta estructural originada por la acción sísmica. A continuación, se presentan los diferentes tipos de espectros, definidos por Crisafulli y Villafañe (2002):

- * *Espectros de respuesta elástica.* Representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto, que incluye un amplio contenido de frecuencias.

- * *Espectros de respuesta inelástica.* Son similares a los de respuesta elástica, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Como ejemplo, podemos mencionar los espectros de ductilidad. Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto dado en función del periodo de vibración de la estructura y se grafican usualmente para distintos niveles de resistencia.
- * *Espectros de diseño.* Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, no pueden utilizarse para el diseño sismo resistente. Por esta razón, el diseño de las construcciones sismo resistentes se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.

1.4 Daños causados por sismos

El daño es el grado de degradación o destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas, los bienes, los sistemas de prestación de servicios y los sistemas naturales o sociales. Desde el punto de vista estructural, generalmente se relaciona con deformaciones irreversibles (inelásticas), por lo tanto, cualquier variable de daño debe ser preferiblemente referida a una cierta cantidad de deformación (Bonett, 2003).

Uno de los fenómenos peligrosos que ocasionan daños a la infraestructura de una población son los sismos. Cuando se produce un movimiento telúrico, las edificaciones pueden sufrir daños en sus elementos estructurales y no estructurales, considerando la influencia de múltiples factores como la magnitud del sismo, el tipo de suelo, la duración del movimiento del suelo, el tipo de estructura y de sus elementos constructivos, así como los materiales empleados y las técnicas de ejecución. Las construcciones son los elementos

vulnerables más importantes ya que los daños sufridos por ellas repercuten directamente en las víctimas que pueda ocasionar un sismo (Feriche, 1994).

Los daños provocados por los sismos en las construcciones, son evaluados e interpretados ante la necesidad de cuantificar y explicar los efectos de este fenómeno sobre los diferentes tipos de estructuras existentes. De acuerdo a Bonett (2003), para cuantificar el daño es importante identificar previamente los sistemas que se encuentran expuestos dentro de una estructura, estos se pueden agrupar en 4 grandes clases de elementos:

- * *Elementos estructurales*: son los elementos que componen los sistemas resistentes de cargas verticales (gravitatorias) y cargas laterales.
- * *Elementos arquitectónicos*: son otros elementos, tales como: muros divisorios, ventanales, revestimientos, etcétera. Generalmente son utilizados para la división, el aprovechamiento de espacios en las construcciones y aspectos relacionados con la estética de la estructura. En realidad, aunque su diseño, distribución y construcción no está intencionalmente relacionado con el sistema resistente de la estructura o edificio, su interacción con el mismo es importante y no puede ser ignorada.
- * *Instalaciones*: se trata de elementos que suministran servicios como, por ejemplo: tuberías de agua, redes de electricidad y alcantarillado y conducciones de gas.
- * *Contenidos*: son los elementos que están dentro del edificio, pero no hacen parte de la estructura, tales como: maquinarias, equipos, mobiliario, artículos de decoración, etcétera.

Los últimos tres tipos corresponden a los llamados elementos no estructurales, cuya importancia ha cobrado especial interés como consecuencia de las pérdidas económicas registradas durante algunos eventos importantes, tales como el sismo de Loma Prieta (1989) y el sismo Northridge (1994) (Bonett, 2003).

Si bien los sismos no se pueden predecir, si se pueden reducir los daños ocasionados por estos con el diseño adecuado de las estructuras, la aplicación rigurosa de las normas de diseño y construcción, la observación de las prácticas y estándares en la ejecución de los procesos constructivos, y con protocolos de protección civil para prevenir daños en la población.

1.4.1 Daños estructurales

Los componentes estructurales son los elementos básicos que están diseñados y construidos para soportar y transferir las cargas hacia el suelo sobre el cual se desplanta la estructura. Los daños estructurales son aquellos que afectan al sistema estructural, restándole la capacidad de resistencia (Gama *et al.*, 2012).

De acuerdo a Carreño *et al.* (2005) cuando ocurren sismos muy fuertes es común que se produzcan daños estructurales en columnas (figura 1.3a), tales como grietas diagonales, causadas por cortante o torsión, o grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas se producen grietas diagonales y rotura de estribos por cortante o torsión y grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión por cargas alternadas. Las conexiones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) (figura 1.3b) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión. En las losas planas se pueden producir grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la losa de piso debido a la excesiva demanda de flexión que puede imponer el sismo.



a)



b)

Figura 1.3 Ejemplos de daños en elementos estructurales: a) daño en columna (CENAPRED, 2016) y b) daño en unión viga-columna (Gallego, 2011).

En la tabla 1.1 se resumen los daños estructurales más comunes, presentándose el elemento estructural, el tipo de daño y la causa principal de los mismos.

Tabla 1.1 Daños estructurales más comunes (Adaptada de Iglesias *et al.*, 1985).

Elemento estructural	Tipo de daño	Causa
Columnas	Grietas diagonales Grietas verticales Desprendimiento del recubrimiento Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante o torsión Flexocompresión Flexocompresión Flexocompresión
Vigas	Grietas diagonales Rotura de estribos Grietas verticales Rotura del refuerzo Aplastamiento del concreto	Cortante o torsión Cortante o torsión Flexión Flexión Flexión
Unión viga-columna	Grietas diagonales Falla por adherencia del refuerzo de vigas	Cortante Flexión
Sistemas de piso	Grietas alrededor de columnas en losas o placas planas Grietas longitudinales	Penetración Flexión
Muros de concreto	Grietas diagonales Grietas horizontales Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante Flexocompresión Flexocompresión
Muros de mampostería	Grietas diagonales Grietas verticales en las esquinas y centro Grietas como placa perimetral apoyada	Cortante Flexión y volteo Flexión

1.4.2 Daños no estructurales

Los elementos no estructurales son aquellos componentes o partes de un edificio que no pertenecen a la estructura y que, aunque no contribuyen a poner en peligro la estabilidad del edificio, sí son un riesgo para la vida y seguridad de los ocupantes. Cuando estos elementos sufren daños, las funciones habituales de un edificio se pueden ver interrumpidas.

Los daños en elementos no estructurales se deben a la unión inadecuada de estos elementos con la estructura, por ejemplo entre los muros de relleno o divisorios, las instalaciones y la estructura. También se debe a la falta de rigidez, lo que se traduce en excesivas deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de componentes (Carreño *et al.*, 2005). Los daños más comunes, como los de la figura 1.4, son (Iglesias *et al.*, 1985):

- a) Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios.
- b) Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería.
- c) Rotura de vidrios.
- d) Desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachada.
- e) Desprendimiento de plafones.
- f) Rotura de tuberías e instalaciones diversas.



a)



b)

Figura 1.4 Ejemplos de daños en elementos no estructurales: a) daño en fachada (ERN, 2017) y b) daño en muro divisorio (ERN, 2017).

1.5 Patologías estructurales

La palabra “patología” conforme al diccionario de la Real Academia procede de las palabras griegas “pathos”, que quiere decir enfermedad o afección y “logos” que significa estudio o tratamiento (Rodríguez, 2004). El término patología también es utilizado por diferentes disciplinas científicas y técnicas para referirse a las alteraciones que sufren sus objetos de estudio.

Desde el punto de vista estructural y constructivo, las patologías son aquellas características que aparecen en las edificaciones, ocasionando múltiples efectos, desde pequeños daños y molestias para sus ocupantes, hasta grandes fallas que pueden causar el colapso de la edificación o parte de ella (Astorga y Rivero, 2009).

Entre los efectos negativos que produce la presencia de patologías estructurales están las demandas adicionales de torsión, concentración de esfuerzos en elementos estructurales, incremento de las fuerzas sísmicas y directamente daños adicionales a los causados por el movimiento fuerte del terreno (Buendía y Reinoso, 2019b).

1.5.1 Clasificación de patologías estructurales

A continuación, se presentan las principales patologías estructurales que se pueden observar en un edificio.

Efecto de esquina:

Las estructuras que presentan este efecto se ubican espacialmente en las esquinas de una cuadra. La patología se presenta por la configuración estructural del edificio (figura 1.5), ya que la estructura cuenta con dos fachadas con aberturas para ventanas y puertas, y dos muros colindantes con los edificios vecinos que son más rígidos y resistentes que la otra parte del edificio. Ante la presencia de un sismo el edificio con efecto de esquina presentará efectos de torsión producto de la diferencia de rigidez entre las fachadas y los muros. Esta condición

no aplica a las estructuras aisladas de otras estructuras que espacialmente se ubican en esquinas.

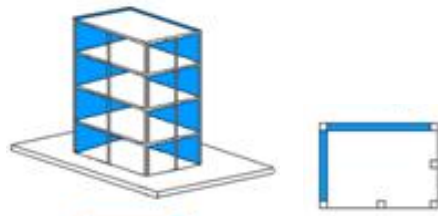


Figura 1.5 Ejemplo de efecto de esquina (LIS, 2011).

Irregularidad en planta:

Esta condición se presenta cuando las características del predio (tamaño y forma) o las motivaciones arquitectónicas hacen que la configuración en planta de un edificio adquiera formas irregulares, tales como triángulos, trapecios, letras (en forma de L, de H, de T, de U), entre otras. Esta condición durante un sismo induce efectos de torsión causando mayores desplazamientos y esfuerzos y por lo tanto daños graves en las estructuras (Orozco y Reinoso, 2007). En la figura 1.6 se ejemplifican dos casos de irregularidad en planta.

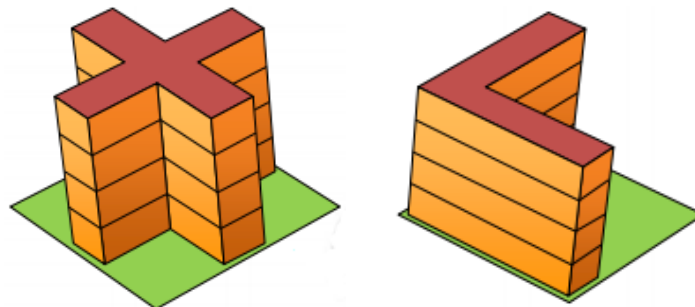


Figura 1.6 Ejemplos de irregularidad en planta (CENAPRED, 2016).

Irregularidad en elevación:

La irregularidad en elevación se presenta cuando a lo largo de la altura de un edificio existen cambios abruptos en las dimensiones de los entrepisos, como los ejemplos de la figura 1.7. Este cambio provoca que la distribución de pesos de cada entrepiso sea irregular, y hace que durante un sismo la estructura vibre de manera muy compleja y disminuyan las aproximaciones en el cálculo del comportamiento del edificio (Buendía y Reinoso, 2019b).

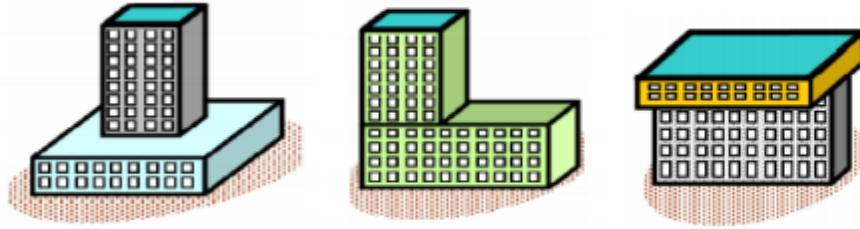


Figura 1.7 Ejemplos de irregularidad en elevación (Astorga y Rivero, 2009).

Efecto de columna corta:

Las columnas cortas que posee una estructura se originan cuando algún elemento, comúnmente muros de relleno, se encuentran ligados a las columnas sin rellenar la totalidad del espacio, lo que restringe la distancia libre de las columnas, como se puede ver en la figura 1.8. Al estar restringidas las columnas, estas adquieren mayor rigidez provocando concentraciones de fuerza cortante en los extremos libres de las columnas.

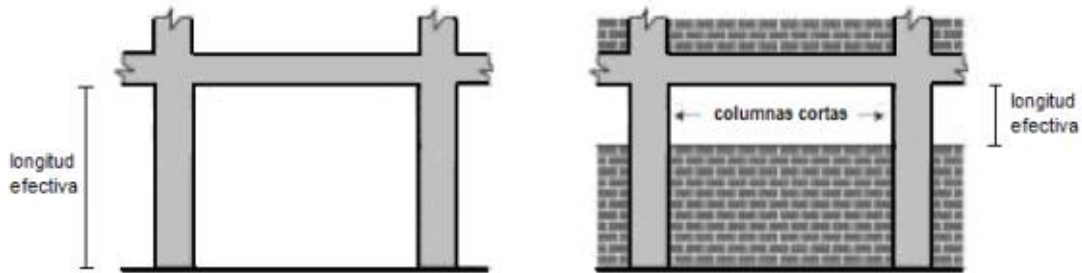


Figura 1.8 Ejemplo del efecto de columna corta.

Sobrepeso:

Las dimensiones y la resistencia de los elementos estructurales se establecen de acuerdo al uso que se le dará y para el cual fue diseñada la estructura. En ocasiones el uso que se le da a una estructura o a un entrepiso de ella cambia, ocasionando que las cargas sean mayores a las cargas de diseño, por lo que las dimensiones y la resistencia de los elementos estructurales pueden ser insuficientes para soportar las fuerzas sísmicas, provocando mayores daños a la estructura.

Planta baja débil:

La planta baja débil se presenta en edificios que, ante la necesidad de espacio (por ejemplo, para el estacionamiento de autos), tienen ausencia de muros en la planta baja en comparación

con los pisos superiores, los cuales cuentan con muros que proporcionan confinamiento y aportan mayor rigidez (figura 1.9). El que la planta baja posea menor rigidez que los pisos superiores conduce a grandes desplazamientos y a la concentración de daños en las columnas de ese nivel, poniendo en riesgo la estabilidad de la estructura u ocasionando el colapso de la misma.

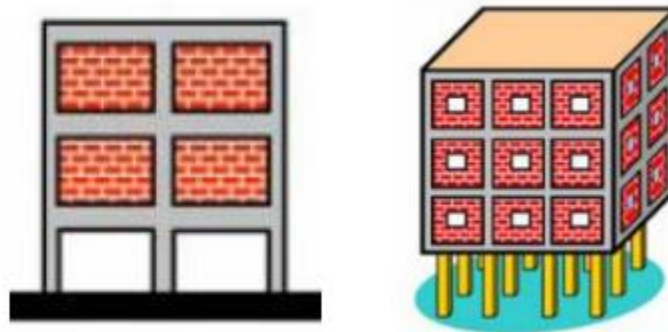


Figura 1.9 Ejemplos de planta baja débil (Astorga y Rivero, 2009).

Golpeteo:

El golpeteo se presenta cuando la separación entre edificios de diferente altura o rigidez no es lo suficientemente grande, provocando que las estructuras choquen entre sí y que se dañen ante la presencia de un sismo. Cuando entre las estructuras que se golpetean no coinciden los niveles de los pisos, las fallas pueden ser más graves; ya que las losas de uno de los edificios pueden golpear las partes intermedias de las columnas del otro (Astorga y Rivero, 2009).

Daños previos y falta de mantenimiento:

Los edificios a lo largo de su vida son sometidos al movimiento de la tierra, provocado por sismos de diferente magnitud, ocasionándoles daños. El problema se agrava cuando los daños no son reparados, restándole resistencia a la estructura, dañándola gravemente y poniendo en riesgo su estabilidad ante un sismo intenso. La falta de mantenimiento contribuye a que los elementos, tanto estructurales como no estructurales, se dañen y a que la estructura en general pierda calidad.

1.6 Demolición de edificios

Los términos derribo y demolición son utilizados como sinónimos. El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2019a, 2019b) define derribar como la acción de arruinar, demoler, echar a tierra muros o edificios, mientras que demoler como la acción de deshacer, derribar, arruinar. En la industria de la construcción se habla de derribo, únicamente en el caso de que se destruya un edificio de forma indiscriminada abatiéndolo, recurriendo a la fuerza bruta, para dar lugar a la destrucción simultánea de la totalidad de los componentes constructivos, mientras que demoler significa igualmente destruir una construcción, pero actuando con cierto orden, que permita agilizar la operación, por un lado, procurando agredir lo menos posible el ambiente circundante, eliminando los componentes constructivos sistemáticamente (De Cusa, 2002).

La demolición de un edificio puede ser total o parcial. La demolición total implica la eliminación de la estructura en cuestión, mientras que la demolición parcial representa una medida limitada. Como base para la evaluación y elección de los métodos de trabajo para la demolición de edificios y estructuras, se requiere un cierto conocimiento con respecto a los materiales y las posibilidades técnicas de demolerlos (Lauritzen y Petersen, 2004).

Existen diversas causas por las cuales se efectúa la demolición de construcciones, como la recuperación de los cascos viejos de las ciudades, repletos de edificios antiguos y ruinosos, de muy difícil y costosa labor de rehabilitación, con el objetivo de realizar un reajuste en el espacio público y de construir nuevos edificios con diseños más avanzados y con mejores servicios. Otras de las causas son la presencia de daños graves, la rehabilitación total o parcial, el cambio de uso y aspectos de urbanización, como la abertura de vialidades y la creación de espacios verdes.

De acuerdo a De Cusa (2002) un edificio puede presentar los siguientes tres estados de ruina, que aunado a las causas antes mencionadas, son otro factor para la decisión de demoler un edificio:

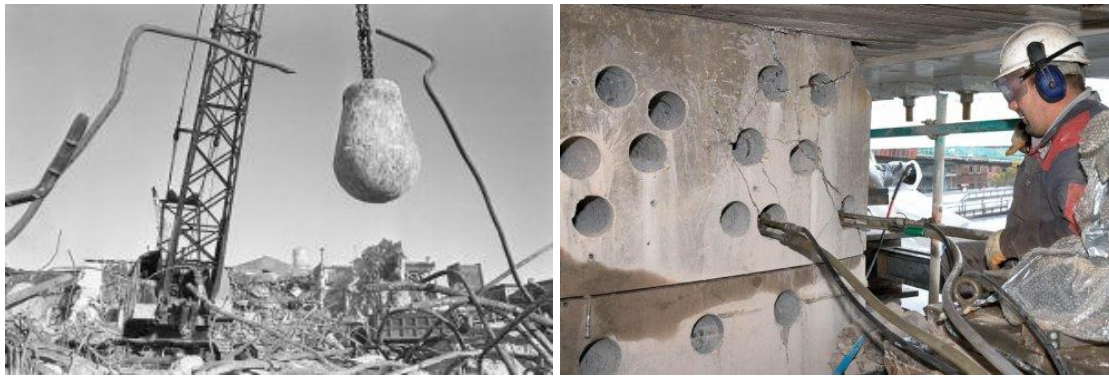
1. Ruina técnica: cuando presenta lesiones no reparables técnicamente con la aplicación de medios normales.

2. Ruina económica: cuando el costo de la reparación supera el 50% del valor del edificio, o plantas del mismo afectadas, al margen del valor que puede tener el predio.
3. Ruina urbanística: cuando motivaciones urbanísticas propongan que el edificio sea demolido.

1.6.1 Métodos de demolición

Existe una variedad de métodos que pueden ser aplicados a la demolición de edificios de concreto. Para decidir el método que se utilizará se necesita tomar en cuenta la disponibilidad de la maquinaria pesada necesaria y la accesibilidad al edificio en cuestión. Emmitt y Gorse (2014) proponen los siguientes métodos como los más comunes para la demolición de elementos de concreto:

- * *Bola y grúa.* Uno de los métodos más antiguos y más comunes para demoler edificios de mampostería y concreto es una grúa y una bola de demolición (figura 1.10a). La pesada bola se deja caer o balancear hacia la estructura, causando daños significativos y el colapso gradual del edificio. Puede ser necesario algún trabajo adicional para cortar el acero de refuerzo en los elementos de concreto para facilitar la demolición. Las limitaciones con este método se relacionan con el tamaño del edificio y, la capacidad de la grúa y la bola de demolición, así como el área de trabajo. Las restricciones en el trabajo pueden relacionarse con las estructuras circundantes y las líneas eléctricas aéreas. Este método crea una cantidad significativa de ruido, polvo y vibraciones, y siempre existe el riesgo de que se vuelen escombros.
- * *Ruptura por presión química y mecánica.* En situaciones donde el ruido, la vibración y el polvo deben mantenerse al mínimo, será necesario utilizar métodos de ruptura. La presión se induce en el concreto por reacción química (inserción de lechada expansiva) o por medios mecánicos (aplicación de presión hidráulica) (figura 1.10b). Se taladran agujeros en el concreto y se aplica la fuerza al agujero; las fuerzas laterales se acumulan con el tiempo, lo que hace que el concreto se parta (agriete).



a)

b)

Figura 1.10 Métodos de demolición de edificios de concreto: a) bola y grúa (Getty Images, 2019), y b) ruptura por presión hidráulica.

- * *Corte por lanza térmica y de agua, taladros y sierras.* Se pueden utilizar lanzas térmicas y de agua para cortar acero y concreto. También se pueden utilizar sierras y taladros con punta de diamante.
- * *Explosivos.* A menudo se utiliza para eliminar grandes cantidades de concreto (figura 1.11a). Los explosivos se insertan en una serie de perforaciones y se detonan de forma remota. Las cargas explosivas son cronometradas en una secuencia para asegurar que el edificio se derrumbe de la manera deseada con el mínimo daño a los edificios circundantes por escombros. Los edificios circundantes pueden necesitar protección contra daños por vibración y presión de aire. Será necesario cerrar las vialidades alrededor del sitio y retirar a los habitantes de los edificios cercanos antes de las explosiones controladas. Después de la explosión, será necesario limpiar el polvo de las áreas circundantes y reparar cualquier daño.
- * *Martillos neumáticos e hidráulicos.* Los martillos montados en maquinaria se utilizan para romper plataformas de piso de concreto, puentes y cimientos (figura 1.11b). El tamaño del martillo estará determinado por la resistencia del concreto y la cantidad de acero de refuerzo contenido dentro de la estructura. El uso de brazos telescópicos y el control remoto permiten el acceso a áreas de difícil alcance. Las desventajas incluyen ruido, vibración y la generación de polvo.



a)

b)

Figura 1.11 Métodos de demolición de edificios de concreto: a) explosivos (Designing Buildings, 2020) y b) martillo neumático o hidráulico (HERCAL, 2020).

Es importante que durante los trabajos de demolición se evite dañar a los peatones y vecinos de la zona circundante al edificio, y salvaguardar la vida de los trabajadores, ya que los métodos de demolición tienen un grave impacto sobre la estructura, existe el riesgo de caída de escombros y elementos de la estructura que estén inestables. Asimismo, se debe proteger al máximo a las estructuras vecinas, por lo que las técnicas aplicadas de cualquiera de los métodos tienen que ser realizadas por operadores experimentados.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS, INTENSIDADES Y DAÑOS PROVOCADOS

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS, INTENSIDADES Y DAÑOS PROVOCADOS

2.1 El sismo del 19S 2017

Treinta y dos años después del trágico terremoto de 1985, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó a las 13:14:40 horas del día 19 de septiembre de 2017 un sismo con magnitud 7.1 localizado en el límite estatal entre los estados de Puebla y Morelos, a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México (SSN, 2017). Por lo cual la Ciudad de México sufría una vez más los estragos de la actividad sísmica del país.

La alta sismicidad de México se debe a que en el territorio nacional interactúan 5 placas tectónicas (la de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe) y a las rupturas que se presentan dentro de ellas. La mayoría de los sismos en México ocurren en las costas del Pacífico en donde se encuentra la zona de subducción, producto del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica. Los sismos como el de 1985, con epicentro en esta zona se denominan sismos interplaca o de subducción. El sismo del 19S 2017 fue una ruptura dentro de la placa de Cocos, por debajo del centro del país y a una profundidad de 57 km, siendo un sismo intraplaca, los cuales ocurren a una profundidad mayor que los de subducción (Pérez-Gavilán *et al.*, 2018).

El sismo de 1985 liberó 32 veces más energía sísmica que el del 19S 2017, sin embargo, sus características fueron muy diferentes. En 1985, el epicentro fue muy lejano, bajo las costas del estado de Michoacán, a más de 400 km de la capital (Cruz *et al.*, 2017), dejando numerosos daños en los inmuebles de la Ciudad de México y una cifra estimada de 10,000 a 40,000 muertes. Mientras que, en 2017, la cercanía del epicentro con la ciudad (120 km) hizo que el movimiento fuera fuerte y violento, con un saldo de 228 decesos en la capital (Instituto Belisario Domínguez, 2017). Ambos terremotos causaron importantes pérdidas humanas y económicas, marcando una huella en la historia reciente de la capital del país.

2.1.1 Registros acelerográficos del sismo

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) junto con otras instituciones comenzaron a instrumentar diversas regiones del país después del terremoto del 19 de septiembre de 1985, con el objetivo de comprender a través de los registros acelerográficos el movimiento del suelo ante sismos fuertes. En 1987 el gobierno de la capital y la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA) apoyaron al CIRES en el desarrollo de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM), la cual permite medir y registrar la aceleración y demás características del movimiento del suelo, producto de un sismo.

Sin embargo, y de acuerdo con un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2013) sobre el sistema de protección civil en México, la red sismográfica y la red de estaciones acelerométricas no están a la par del nivel de riesgo sísmico al que está expuesto el país, ya que funcionan como redes anticuadas y fragmentadas que no cubren a todo el territorio nacional, principalmente las zonas de alto riesgo como Jalisco, Michoacán y Colima.

A pesar de las deficiencias reportadas en el estudio, la RACM obtiene mediciones más completas con los 81 acelerógrafos que actualmente posee, instalados en superficie, en pozo y en algunas estructuras (Espinosa *et al.*, 2018). La figura 2.1 muestra la ubicación de las estaciones acelerométricas y su distribución en los varios tipos de suelo que conforman el Valle de México.

La distribución de las estaciones acelerométricas en el Valle de México y los registros sísmicos obtenidos desde 1985 han mostrado la diferencia que existe en el movimiento entre el suelo firme y la zona lacustre, compuesta por los sedimentos del antiguo lago donde se construyó gran parte de la ciudad, produciéndose una enorme amplificación de las ondas sísmicas en dichos sedimentos.

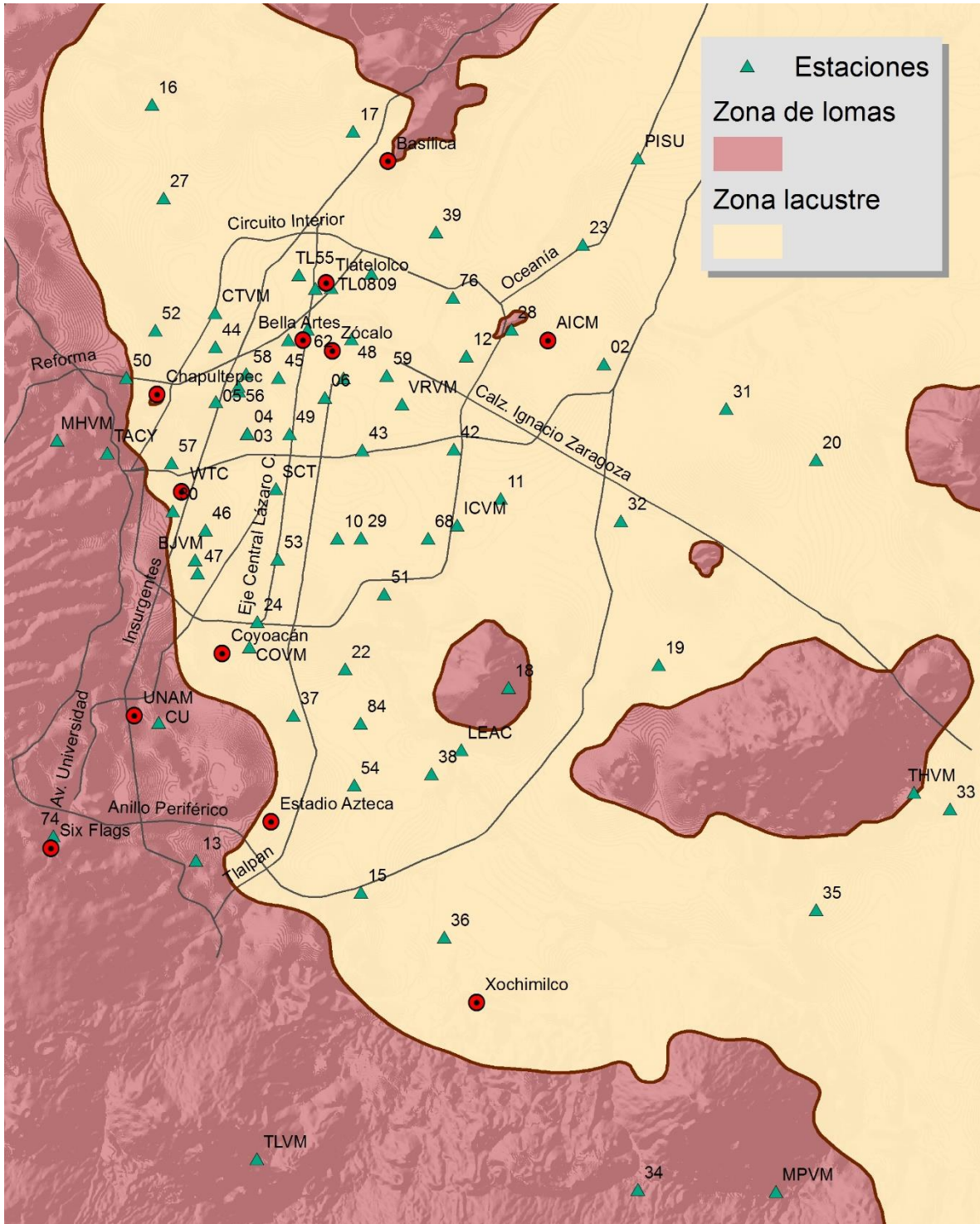


Figura 2.1 Ubicación de las estaciones acelerométricas de la RACM y, las zonas de lomas y lacustre.

La RACM midió y registró la aceleración del sismo del 19S 2017, obteniéndose 61 registros acelerográficos. Los acelerógrafos registran la aceleración del movimiento en tres componentes, una vertical y dos horizontales. En la figura 2.2 se muestran tres ejemplos de acelerogramas de la componente donde se registró la aceleración máxima. Los acelerogramas corresponden a las estaciones CUP5 (Ciudad Universitaria) y SCT2 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) de la Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería (RAII-UNAM), y a la estación CH84 (Culhuacán) de la RACM.

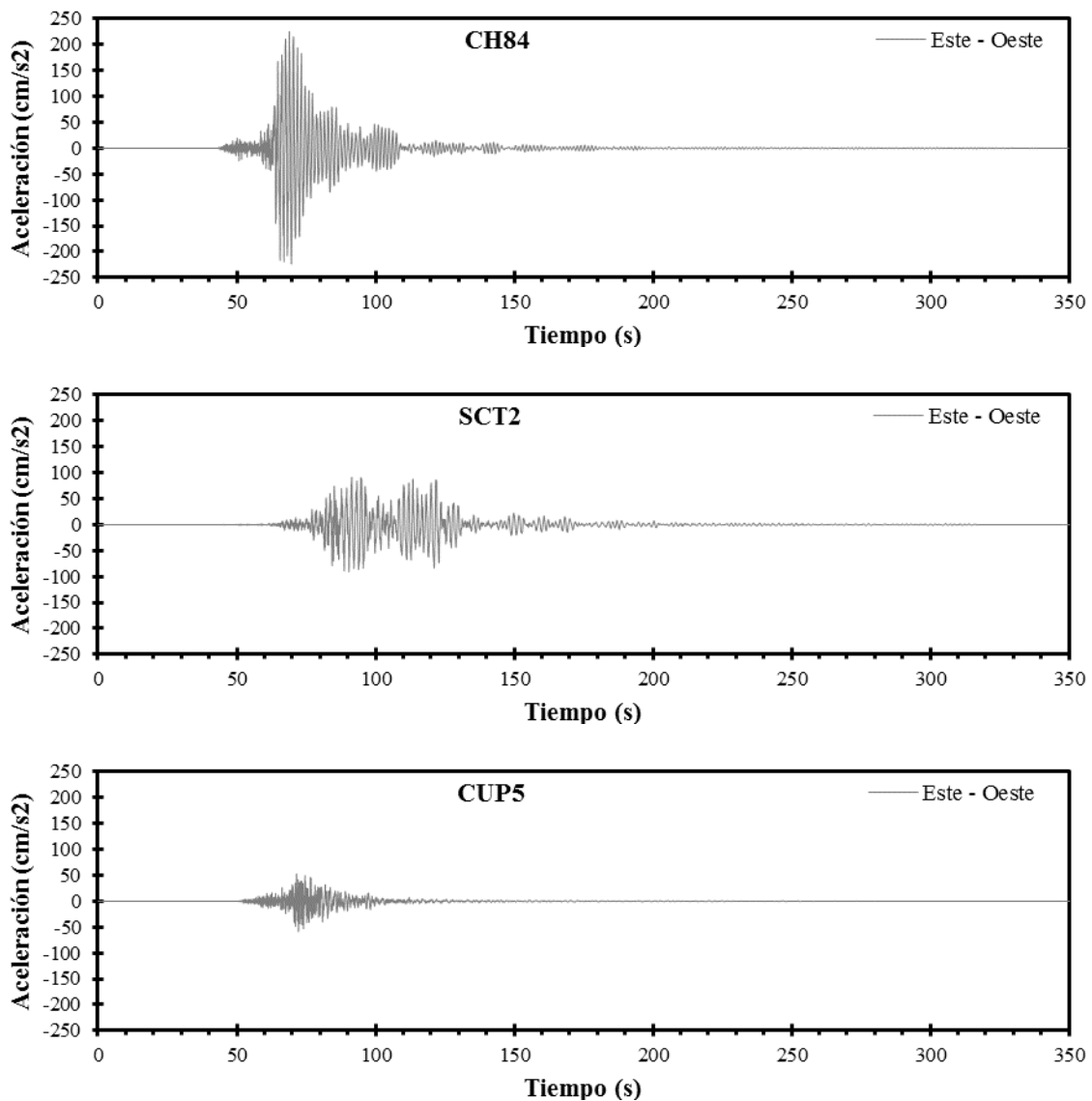


Figura 2.2 Ejemplos de acelerogramas registrados el 19S 2017.

De acuerdo a lo observado en la figura 2.2 la aceleración máxima (A_{max}) en la estación CUP5, ubicada en suelo firme, fue de 59 gal ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$). Mientras que para la estación SCT2, localizada en la zona lacustre, la A_{max} fue de 92 gal. Este sismo generó las aceleraciones más grandes jamás registradas en la historia de la ciudad. Destaca el registro de CH84 que con 226 cm/s^2 superó en 70% lo que se había medido en SCOP (antigua sede de la SCT) durante el sismo de 1985 (Espinosa *et al.*, 2018). La duración del movimiento en su parte más intensa duró aproximadamente 30 segundos en suelo firme y se extendió más de 60 segundos en la zona lacustre de la ciudad.

Para tener una idea de cuál fue la aceleración experimentada en estructuras con diferentes alturas, se calculan las aceleraciones espectrales a partir de los registros acelerográficos del sismo. En la figura 2.3 se hace una comparación de las aceleraciones espectrales en las estaciones ubicadas en CU (suelo firme) y SCT (zona lacustre) para los sismos de 1985 y 2017, a través de los espectros de respuesta elásticos de las dos componentes horizontales y considerando un factor de amortiguamiento del 5%.

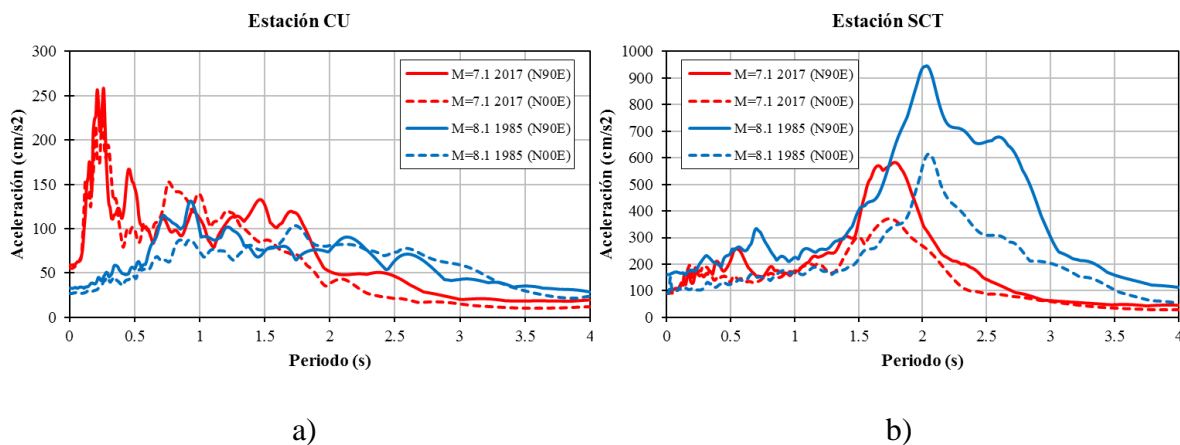


Figura 2.3 Espectros de respuesta de los sismos de 1985 y 2017 en: a) CU y b) SCT.

Con la comparación de las aceleraciones espectrales de ambos sismos, se observa que las aceleraciones en CU fueron mayores en 2017 que las registradas en 1985 para periodos menores a 0.5 segundos (figura 2.3a). Caso contrario se presenta en la estación SCT donde las aceleraciones fueron superiores en 1985 que en 2017 para estructuras con periodos mayores a 1.5 segundos, mientras que para estructuras con periodos menores a 1.0 segundo las aceleraciones fueron similares para ambos sismos (figura 2.3b).

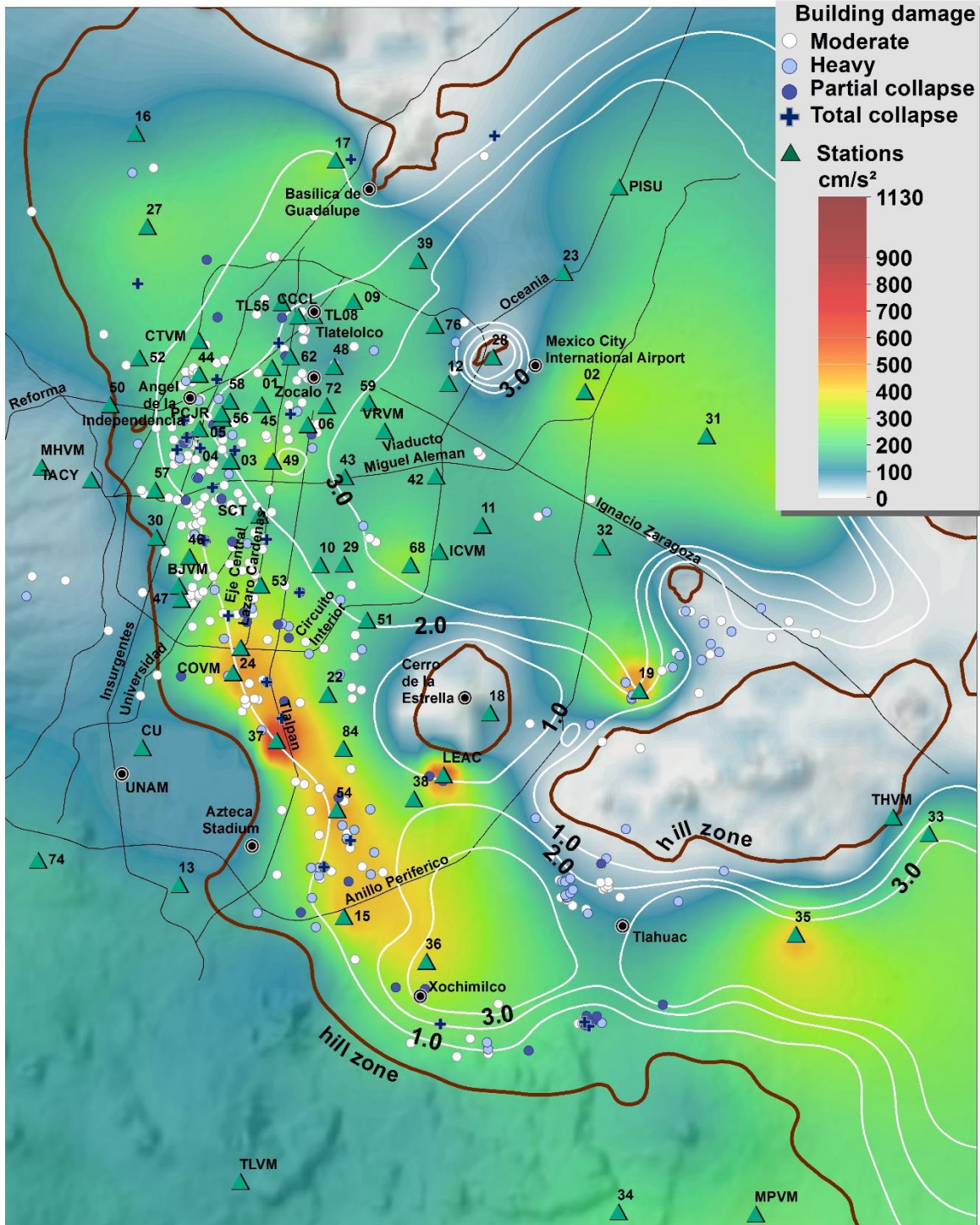


Figura 2.4 Mapa de aceleraciones espectrales para $T = 1.0$ segundo y edificios fuertemente dañados y colapsados (Quinde y Reinoso, 2019).

La figura 2.4 muestra un mapa de las aceleraciones espectrales calculadas del sismo del 19S 2017 para un periodo de 1.0 segundo, el cual corresponde a estructuras de 7 a 10

niveles. En el mapa se pueden observar los edificios fuertemente dañados y colapsados (parcial y totalmente), los cuales se localizan en la zona donde se registraron las intensidades más fuertes, por lo que se puede establecer una relación entre la aceleración que experimentaron las estructuras y los daños que sufrieron.

2.2 Daños provocados por el sismo

El sismo del 19S 2017 causó daños en la infraestructura de la Ciudad de México que van desde grietas hasta colapsos, los cuales dejaron heridos, muertes y una importante pérdida económica. De acuerdo con el Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República (2017) las cifras de afectaciones a un mes del movimiento telúrico fueron las siguientes: se registraron 38 derrumbes, 5 mil 765 viviendas con daño, de las cuales 2 mil 273 sufrieron daño total; mil 208 escuelas presentaron daño, de las cuales sólo 8 tuvieron daño total y 4 inmuebles del sector salud tuvieron pérdida total.

Es importante mencionar la labor realizada por dependencias de gobierno, instituciones académicas, centros de investigación y colectivos civiles que llevaron a cabo la recopilación de los daños presentados en la infraestructura de la Ciudad de México. Sin embargo, la falta de coordinación entre los distintos actores, principalmente entre las dependencias federales y estatales, ha generado que los datos sobre la magnitud de las afectaciones y el número de damnificados se modifiquen, ofreciendo información preliminar con cifras que necesitan ser verificadas.

Un ejemplo de la recopilación de daños con información verificada fue realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) (Buendía y Reinoso, 2019a; ERN, 2017), en donde se crearon bases de datos de los daños observados durante los sismos más importantes que han afectado a la Ciudad de México, incluido el sismo del 19S 2017. En la figura 2.5 se muestra un mapa con los daños recolectados por el Instituto de Ingeniería, a través de una base de datos con 2,232 estructuras (casas, edificios, hospitales, escuelas, comercios, mercados, hoteles, parroquias, bardas, etcétera), las cuales fueron clasificadas en una escala (daño menor, daño intermedio, daño grave, colapso parcial y total) que considera

los daños observados, por ejemplo, grietas en acabados y elementos no estructurales, grietas pequeñas o grandes en muros, traveses o columnas, colapso de pisos superiores y, colapso de la planta baja o de toda la estructura.

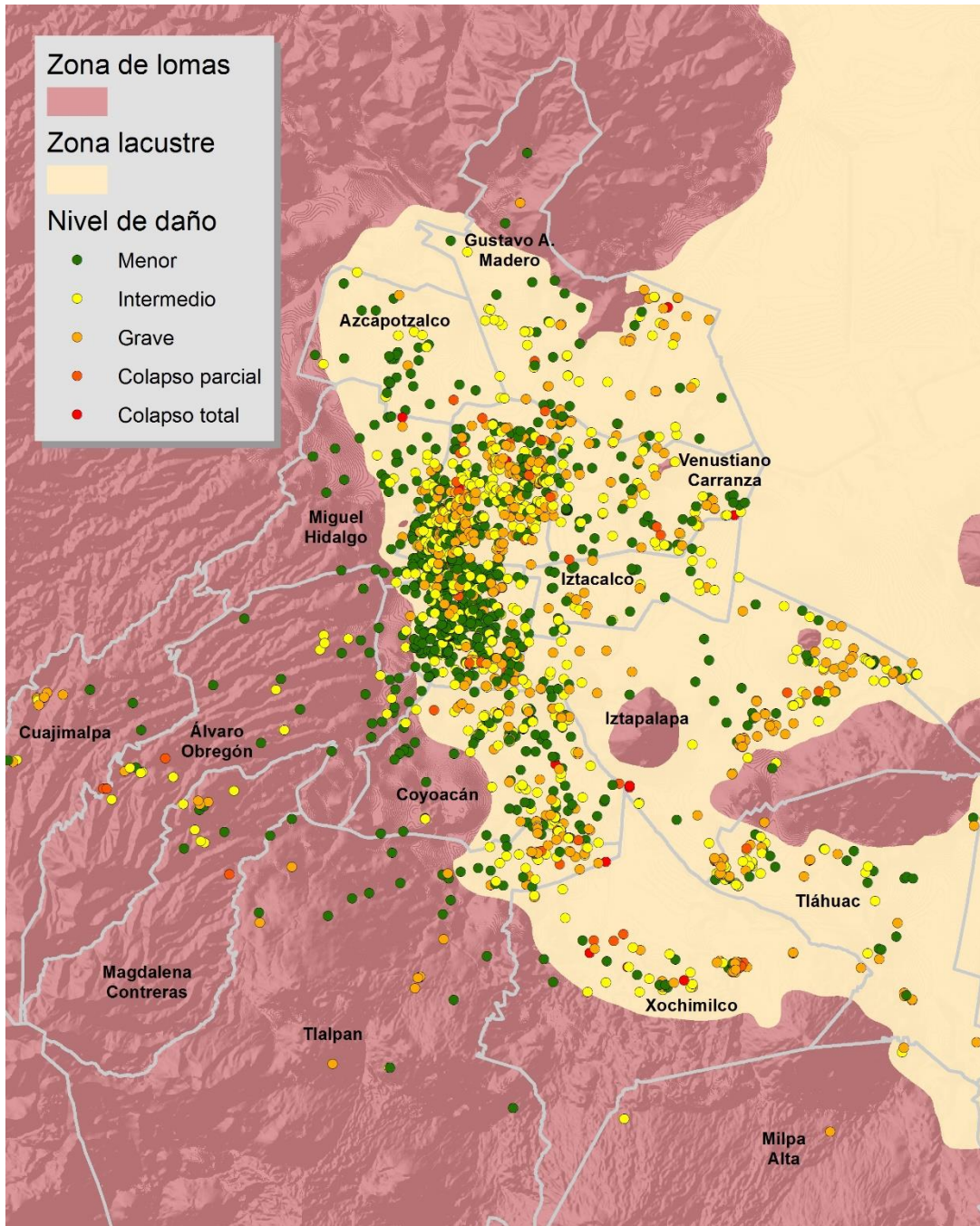


Figura 2.5 Distribución de los daños causados por el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México.

De acuerdo con la figura 2.5 los daños se distribuyeron en las 16 alcaldías, siendo Cuauhtémoc y Benito Juárez las que concentran el mayor número de inmuebles dañados (ver figura 2.6). También se puede observar que la mayoría de los daños se localizan en la zona lacustre del Valle de México, en las alcaldías de Coyoacán, Iztapalapa, Venustiano Carranza, Tláhuac y Xochimilco. En la zona de lomas, como Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Milpa Alta, el número de inmuebles dañados es menor.

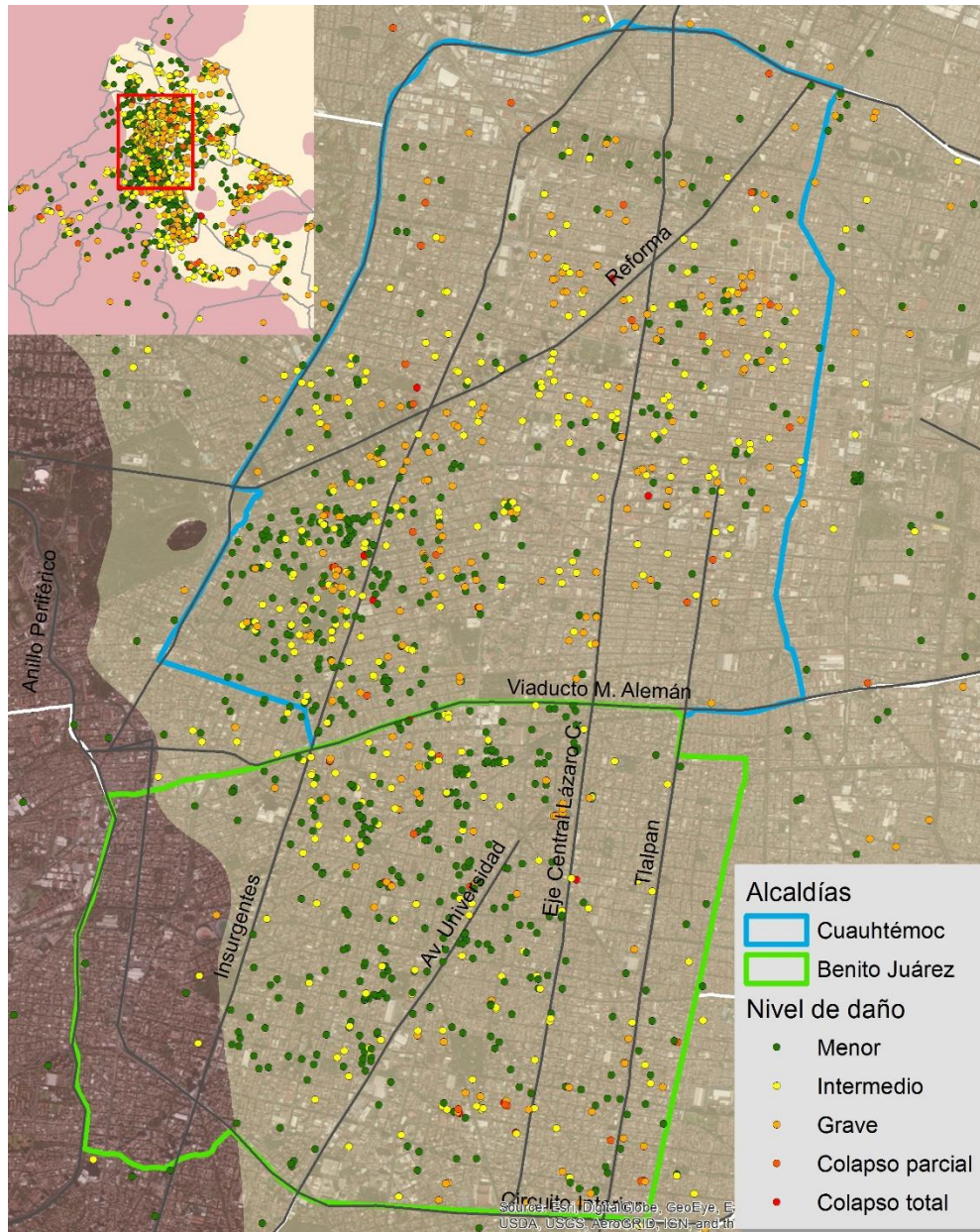


Figura 2.6 Daños causados por el sismo del 19S 2017 en las alcaldías de Cuauhtémoc y Benito Juárez.

2.3 Estadísticas de los daños

Las estadísticas que a continuación se presentan fueron realizadas con la base de datos de los daños observados durante el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México, que creó el Instituto de Ingeniería. Se tiene un total de 2,232 estructuras dañadas, entre las que se encuentran casas, edificios, hospitales, escuelas, comercios, mercados, hoteles, parroquias, bardas, etcétera. La base de datos tiene georreferenciada cada estructura registrada. Asimismo, contiene la dirección, el uso, el tipo de estructuración, el nivel de daño presentado, las patologías estructurales que agravaron el daño, así como fotografías del antes y después de cada estructura.

Considerando el nivel de daño que presentaron las estructuras y de acuerdo con la figura 2.7, se observa que 975 estructuras tienen daño menor y 645 inmuebles presentan daño intermedio. Más del 20% de las estructuras registradas (504) tienen daño grave. Las que colapsaron parcialmente representan el 2.87% (64 estructuras), mientras que el 1.97% (44) lo hizo totalmente.

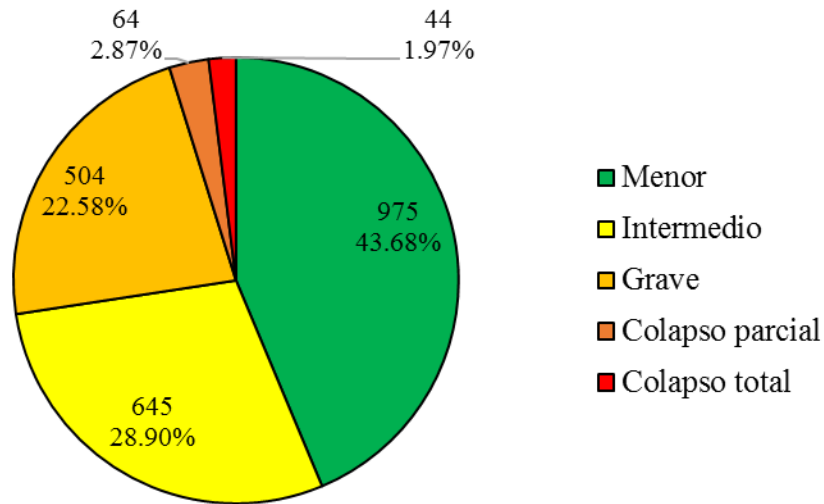


Figura 2.7 Distribución de estructuras por nivel de daño.

En la figura 2.8 se observa que todas las alcaldías de la Ciudad de México presentaron daños. La mayoría de las estructuras tienen daños menores e intermedios. Cuatro alcaldías concentran el 70% de las estructuras dañadas y el resto, 30%, se dispersa en las demás

demarcaciones. Las cuatro alcaldías son Cuauhtémoc (675 estructuras), Benito Juárez (483), Coyoacán (208) e Iztapalapa (186), alcaldías localizadas en la zona lacustre. Además, Cuauhtémoc y Benito Juárez concentran los colapsos parciales y totales en edificios, mientras que en casas la mayoría se localizan en Xochimilco.

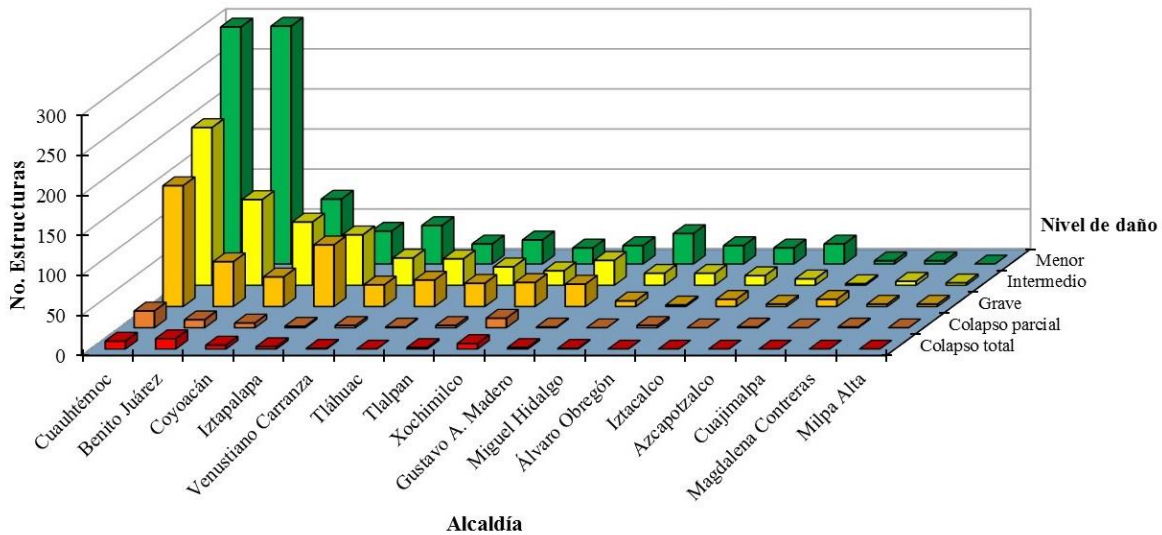


Figura 2.8 Distribución de estructuras por nivel de daño y alcaldías.

Con relación al uso de las estructuras, en la figura 2.9 se puede observar que 1,660 (74%) son habitacionales (casas, edificios de departamentos, unidades habitacionales). En menor medida, hay daños en comercios, espacios culturales, escuelas y oficinas.

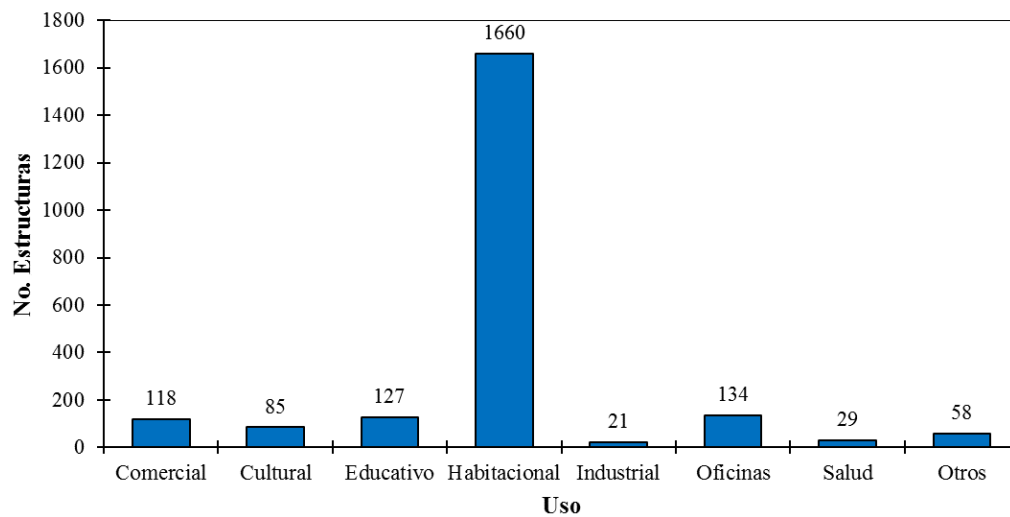


Figura 2.9 Distribución de estructuras de acuerdo a su uso.

Como se puede ver en la figura 2.10, las estructuras construidas a base de marcos de concreto, marcos de concreto con muros de relleno y muros de mampostería confinada presentaron principalmente daños menores e intermedios. El tipo estructural con mayor número de registros en la base de datos es el de muros de mampostería confinada, esto debido a que es el que más se utiliza en la construcción de casas habitación en la Ciudad de México, aunque la autoconstrucción hace que no cumpla con los requisitos de ingeniería necesarios para su adecuado comportamiento. Las estructuras que colapsaron en el sismo del 19S 2017 estaban construidas a base de columnas y losas planas de concreto, y muros de mampostería confinada.

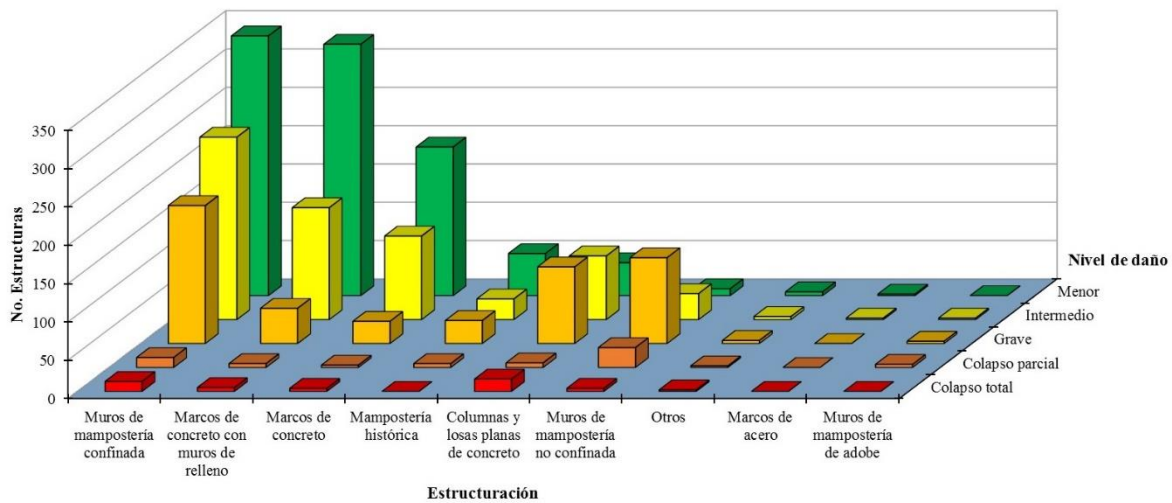


Figura 2.10 Distribución de estructuras según el nivel de daño y el tipo de estructuración.

Por otra parte, se consideró la influencia que tienen las patologías estructurales en el comportamiento de una estructura ante la acción sísmica y que contribuyen al nivel de daño. De acuerdo a lo observado en la figura 2.11, las patologías con más presencia en las estructuras dañadas son la irregularidad en planta, la planta baja débil, daños previos y el efecto de esquina.

Como se mencionó anteriormente, las estructuras colapsadas durante el sismo del 19S 2017 se localizan en la zona donde se registraron las aceleraciones espectrales más altas. Un total de 46 estructuras colapsaron como resultado del terremoto, incluyendo 44 edificios, un puente peatonal y un puente localizado entre dos edificios (Galvis *et al.*, 2017).

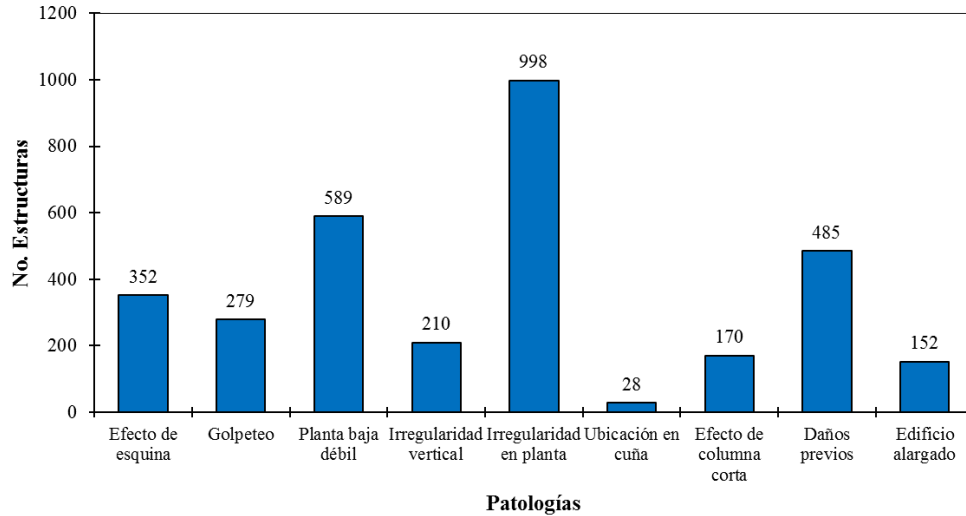
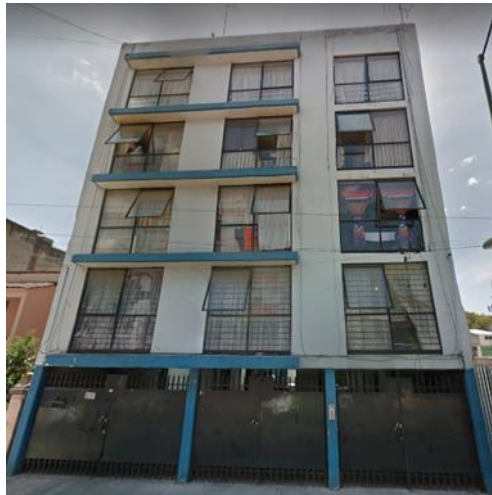


Figura 2.11 Distribución de patologías en estructuras dañadas.

Los edificios colapsados presentaban patologías estructurales como planta baja débil y efecto de esquina, que aunado a las intensidades del evento telúrico explican el porqué de los daños. De acuerdo al estudio realizado por Galvis *et al.* (2017) los inmuebles, como el mostrado en la figura 2.12, con planta baja débil representan el 57% de los colapsos. También destaca la presencia del efecto de esquina, como el inmueble de la figura 2.13. El 59% de las estructuras colapsadas en 2017 poseían esta patología.



a)



b)

Figura 2.12 Edificio con planta baja débil en Saratoga 714, Portales Sur, Benito Juárez: a) antes (Google Street View) y b) después (Gómez, 2017) del sismo del 19S 2017.



a)



b)

Figura 2.13 Edificio con efecto de esquina y planta baja débil en Prolongación Petén 915, Emperadores, Benito Juárez: a) antes (Google Street View) y b) después (Suárez, 2017) del sismo del 19S 2017.

2.4 Proceso de reconstrucción

Los daños provocados por el sismo del 19S 2017 que azotó a la Ciudad de México revivieron la tragedia que se presenció en el terremoto de 1985. Minutos después del movimiento telúrico comenzó el rescate de víctimas, la recolección de víveres, medicamentos y herramientas, la activación de protocolos de protección civil, y la toma de decisiones por parte del gobierno capitalino para atender a la ciudadanía e infraestructura urbana que se vio afectada.

Posteriormente, comenzó el proceso de reconstrucción con la identificación, evaluación, reparación, rehabilitación, reforzamiento o, demolición y reconstrucción de inmuebles dañados. Cabe señalar que la evaluación de edificios después de un terremoto es un tema complejo, ya que involucra factores como el estado de daño, la capacidad estructural, la seguridad, el posterior proyecto de rehabilitación o reconstrucción, y los costos que ello conlleva, así como aspectos legales que el inmueble tenga. También, aunque en menor medida, se pueden incluir factores ambientales y sociales. Asimismo, la recuperación de la

vivienda es a menudo una combinación de un papel proactivo del gobierno en el proceso de reconstrucción, financiamiento, participación comunitaria y mejoras resilientes en infraestructura y planificación (Polese *et al.*, 2018).

Sin embargo, el proceso de reconstrucción ha sufrido modificaciones en los tres últimos años por el cambio en la administración del Gobierno de la Ciudad de México. Esto llevó a que en febrero de 2019 se presentara un nuevo plan de reconstrucción, que actualmente ejecuta la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México. Con el Plan Integral para la Reconstrucción de la Ciudad de México se realizó un nuevo censo social y técnico, que arrojó como resultado 12,287 inmuebles dañados, de los cuales 11,884 fueron clasificados como vivienda unifamiliar (casas) y 403 como vivienda multifamiliar (edificios de departamentos y unidades habitacionales). La base de datos del nuevo censo social y técnico de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México analizada en esta tesis es la publicada en mayo del 2019.

En la figura 2.14 se muestra un mapa de la localización de los 12,287 inmuebles registrados por el nuevo censo social y técnico. En el mapa también se incluyen las 2,232 estructuras registradas por el Instituto de Ingeniería, de las cuales solo 417 coinciden con la base de datos del censo proporcionada por la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México. La diferencia que existe en el número de inmuebles registrados entre ambas bases, incluidos los que coinciden, se debe a que la base de la Comisión para la Reconstrucción considera un gran número de casas habitación que no fueron reportadas con daños en los primeros meses después del sismo. Cabe aclarar que los daños presentados en las casas habitación, principalmente de las alcaldías Tláhuac, Xochimilco e Iztapalapa, fueron producto de fisuras y hundimientos en el terreno, resultado de la confluencia de la actividad sísmica y de la presencia de grietas con una antigüedad de más de 30 años (GCDMX, 2017b).

La base de datos del censo cuenta con deficiencias e irregularidades, entre las que destacan la duplicación de inmuebles registrados y la incorrecta geolocalización de los mismos. Mientras la base de datos del Instituto de Ingeniería considera inmuebles con diferentes usos, el censo realizado sólo consideró los inmuebles con uso habitacional, con motivo de atender a las personas damnificadas.

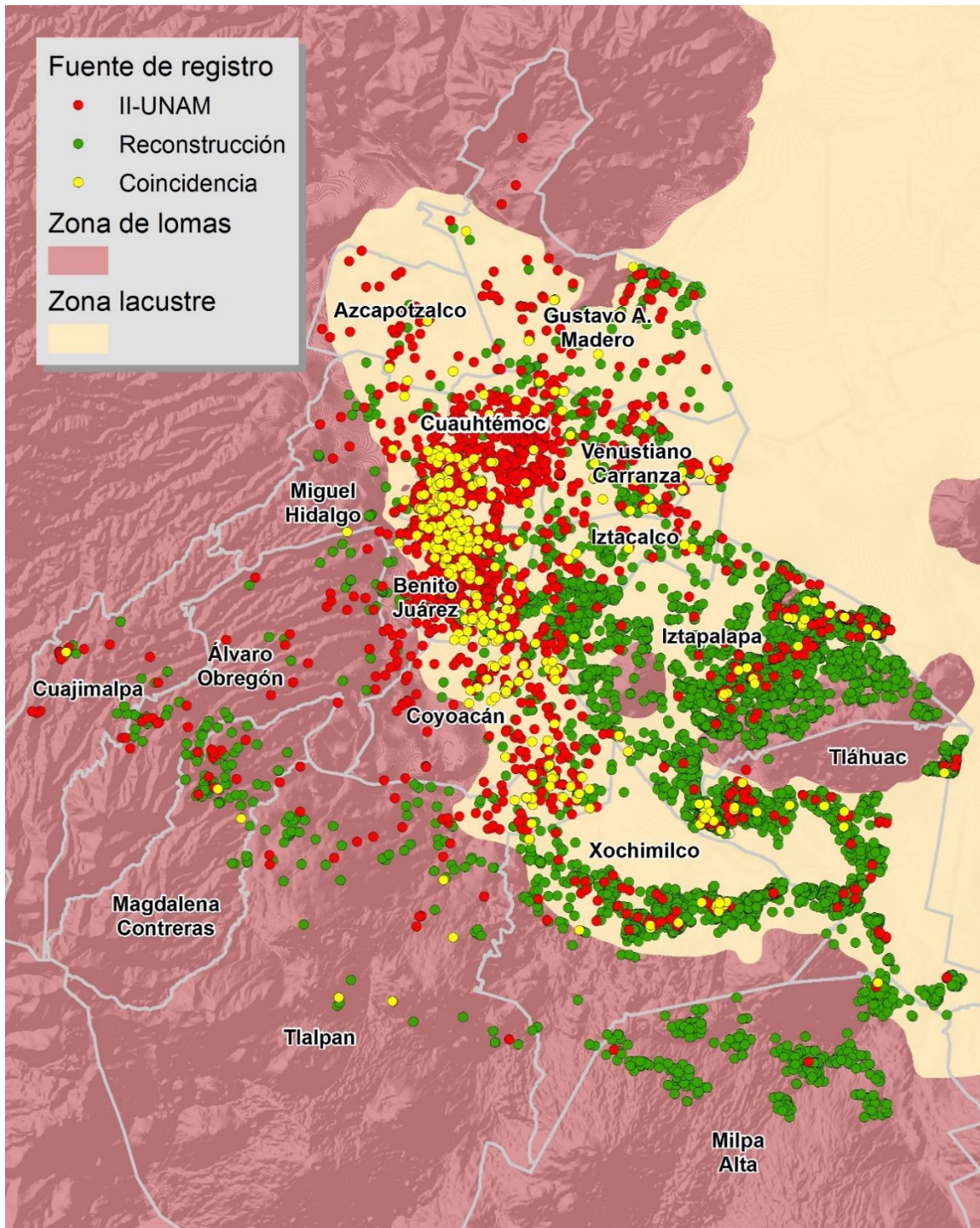


Figura 2.14 Distribución de los daños reportados por el Instituto de Ingeniería y la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México (Buendía y Reinoso, 2019a; ERN, 2017; GCDMX, 2019d).

El hecho de que sólo 417 inmuebles coincidan en ambas bases de datos, representa una situación grave en la que las autoridades, a través de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, no esté considerando todos los inmuebles que resultaron dañados por el sismo del 19S 2017 al darle prioridad a los inmuebles de uso habitacional, por lo que pueden existir inmuebles que no han sido intervenidos.

Dado que el gobierno en el proceso de reconstrucción sólo considera inmuebles de uso habitacional y a que los daños se presentaron en diferentes tipos de inmuebles, en los siguientes capítulos y con la finalidad de conocer la situación en la que se encuentran los edificios afectados por el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México, se hará mención de las intervenciones a las que han sido sometidos los edificios, como la demolición, la rehabilitación e incluyendo aquellos que no han sido intervenidos, representando un peligro para la ciudadanía y para otros inmuebles ante la presencia de un sismo intenso.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS DEMOLIDOS Y ANÁLISIS DE DAÑOS

CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS DEMOLIDOS Y ANÁLISIS DE DAÑOS

3.1 Proceso de demolición

Cuando un fenómeno natural, como un terremoto, causa daños severos a un edificio este podría ser demolido. El sismo del 19S 2017 dejó numerosos edificios dañados, los cuales no colapsaron, pero dejaron de ser funcionales, por lo que fue necesario actuar sobre ellos inmediatamente, ante la posibilidad de que se presentara un nuevo evento telúrico que pudiera dar origen al colapso de los edificios dañados que no colapsaron en el sismo anterior, y así evitar una mayor pérdida económica y de vidas.

Días posteriores al sismo del 19S 2017 el gobierno capitalino inició la demolición de inmuebles con alto riesgo de colapso, con el fin de prevenir daños en edificaciones vecinas y vialidades, y como una medida de seguridad para los habitantes y peatones de las zonas aledañas al inmueble. Actualmente, y a más de cuatro años del sismo, el proceso de demolición continúa.

Desde el comienzo de las demoliciones, éstas han sido realizadas por la Secretaría de Obras y Servicios. En un principio, y de acuerdo con la dependencia (GCDMX, 2019f), se seguía el siguiente procedimiento:

1. El Instituto para la Seguridad de las Construcciones emitía un dictamen técnico del inmueble.
2. El Comité de Emergencias aprobaba la demolición por poner en riesgo la vida de las personas o incluso de algún otro inmueble.
3. La Consejería Jurídica integraba el expediente y notificaba a los propietarios la situación de su inmueble, por las causas mencionadas en el dictamen técnico.

4. En caso de que los propietarios estuvieran imposibilitados de ejecutar los trabajos, se entregaba expediente a la Secretaría de Obras y Servicios para mitigar con ello el riesgo inminente.

Sin embargo, con el cambio de gobierno en la Ciudad de México se hicieron modificaciones tanto a la ley como al plan de reconstrucción. De acuerdo al Plan Integral para la Reconstrucción de la Ciudad de México presentado en febrero de 2019, se estableció la creación de la Mesa de Demoliciones, como el instrumento de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México encargado de aprobar el proceso de demolición de los inmuebles en alto riesgo de colapso.

La Mesa de Demoliciones es encabezada por la Dirección General Operativa de la Comisión para la Reconstrucción y está integrada por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones, la Consejería Jurídica y de Servicios Legales, las secretarías de Obras y Servicios, de Desarrollo Urbano y Vivienda, de Gestión de Riesgos y Protección Civil, de Administración y Finanzas, y la alcaldía correspondiente (GCDMX, 2019b). El procedimiento que efectúa la Mesa de Demoliciones es el siguiente (GCDMX, 2019a):

1. El Instituto para la Seguridad de las Construcciones emite un dictamen técnico del inmueble, con alto riesgo de colapso.
2. El inmueble es sometido a valoración por la Mesa de Demoliciones.
3. Una vez avalado por la Mesa de Demoliciones, se notifica al propietario del inmueble y se resuelven los problemas sociales o jurídicos.
4. La Comisión para la Reconstrucción se reúne con los propietarios, administradores y vecinos.
5. Corresponsables en Seguridad Estructural verifican el estado de las colindancias, la alcaldía correspondiente brinda el apoyo para la extracción de muebles, Protección Civil revisa que el inmueble esté desocupado y la Secretaría de Seguridad Pública cierra calles y hace el confinamiento necesario.
6. Se hace una Fe Notarial y se presenta un programa de trabajo.
7. Finalmente, el Fideicomiso para la Reconstrucción de la Ciudad de México avala los recursos para la demolición y se firma un contrato entre las personas damnificadas y la empresa para el inicio de los trabajos.

El proceso de demolición de edificios no ha estado exento de irregularidades como la otorgación de contratos millonarios a empresas por adjudicación directa y la elevación exagerada en los precios por metro cuadrado de demolición en el que han incurrido funcionarios públicos, como lo han reportado diversos medios de comunicación y periodistas (Durán, 2018; Navarro, 2019; Salazar, 2019).

Y, a pesar de que la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México se ha comprometido, ante la petición de la sociedad civil, de hacer cada vez más transparente la información sobre el avance y los resultados del proceso de reconstrucción y rehabilitación de inmuebles dañados, aún existe falta de actualización sobre la situación de los inmuebles que deben ser demolidos.

3.2 Descripción de los edificios de estudio

Desde el sismo del 19S 2017 se han demolido edificios con daños estructurales y no estructurales en la Ciudad de México. Estos edificios han sido identificados a través de información proporcionada por la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México (GCDMX, 2019d), la Secretaría de Obras y Servicios, el colectivo civil CartoCrítica (2019) y en medios de comunicación en Internet. Asimismo, los edificios demolidos están considerados en la base de datos de los daños observados durante el sismo del 19S 2017 del Instituto de Ingeniería (Buendía y Reinoso, 2019a; ERN, 2017), mencionada en el Capítulo 2.

Al revisarse los daños de los edificios demolidos se observó que en algunos casos la magnitud de los daños ameritaba que el inmueble, como el de la figura 3.1, fuera reparado o rehabilitado, sin embargo fue demolido. Otros inmuebles, por ejemplo el de la figura 3.2, presentaron daños graves que representaban un riesgo inminente de colapso y, que ante la dificultad de restablecer su capacidad estructural y como una medida preventiva ante la presencia de un futuro movimiento telúrico, fueron demolidos. Por lo cual, la pregunta clave después de los terremotos dañinos no es solo si un edificio dañado debe simplemente

repararse o también rehabilitarse, sino a menudo si es más conveniente repararlo y rehabilitarlo, o demolerlo y reconstruirlo (Polese *et al.*, 2018).



a)

b)

Figura 3.1 Edificio con daños menores en Paseo de los Pirules 100, Paseos de Taxqueña, Coyoacán: a) antes (Google Street View) y b) después (ERN, 2017) del sismo del 19S 2017.



a)

b)

Figura 3.2 Edificio en alto riesgo de colapso en Paz Montes de Oca 93, General Pedro María Anaya, Benito Juárez: a) antes (Google Street View) y b) después (ERN, 2017) del sismo del 19S 2017.

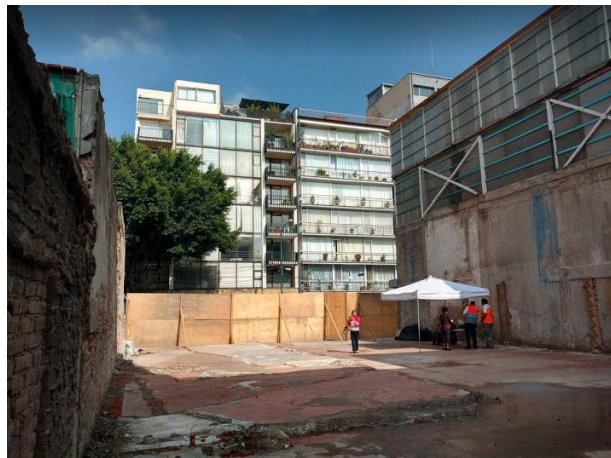
Si bien la decisión de demoler un edificio implica múltiples factores de diferente índole, es necesario conocer la influencia que tuvieron los daños causados por el sismo del 19S 2017 en la toma de dicha decisión.

Los inmuebles demolidos que se han identificado son edificios de 3 a 15 niveles de altura, caracterizados por ser en su mayoría viviendas para múltiples familias, destinados como edificios de departamentos o unidades habitacionales. En total se tienen 157 estructuras clasificadas como demolidas, las cuales tienen diferentes sistemas estructurales y se observaron en ellas distintos niveles de daño. Hay que considerar que el número de inmuebles se modificará constantemente debido a la durabilidad y toma de decisiones del proceso de reconstrucción.

Cada uno de los edificios fue geolocalizado con ayuda de Google Maps y Google Street View, también se buscaron fotografías a través de Internet y medios de comunicación, para corroborar que los edificios realmente hayan sido demolidos. De ello, se pudieron verificar 121 edificios demolidos, como el de la figura 3.3, mientras que, de los 36 edificios restantes no se tienen pruebas de su estado actual. De estos últimos se concluye que están en el proceso previo de la Mesa de Demoliciones (pendiente o en revisión), que están en proceso de demolición o que los trabajos han sido detenidos por alguna problemática social o legal.



a)



b)

Figura 3.3 Ejemplo del a) antes (Google Street View) y b) después de la demolición del edificio ubicado en Patricio Sanz 612, Del Valle Norte, Benito Juárez.

En la figura 3.4 se muestra un mapa de la localización de los edificios demolidos, los cuales se concentran en la zona lacustre del Valle de México. Cada uno de ellos ha sido identificado a nivel predio y clasificado por nivel de daño: verde para daños menores, amarillo para daños intermedios, naranja para daños graves y rojo para colapsos parciales.

La figura 3.5 es un ejemplo de la ubicación a detalle de algunos edificios demolidos en las colonias Roma Norte e Hipódromo en la alcaldía Cuauhtémoc.

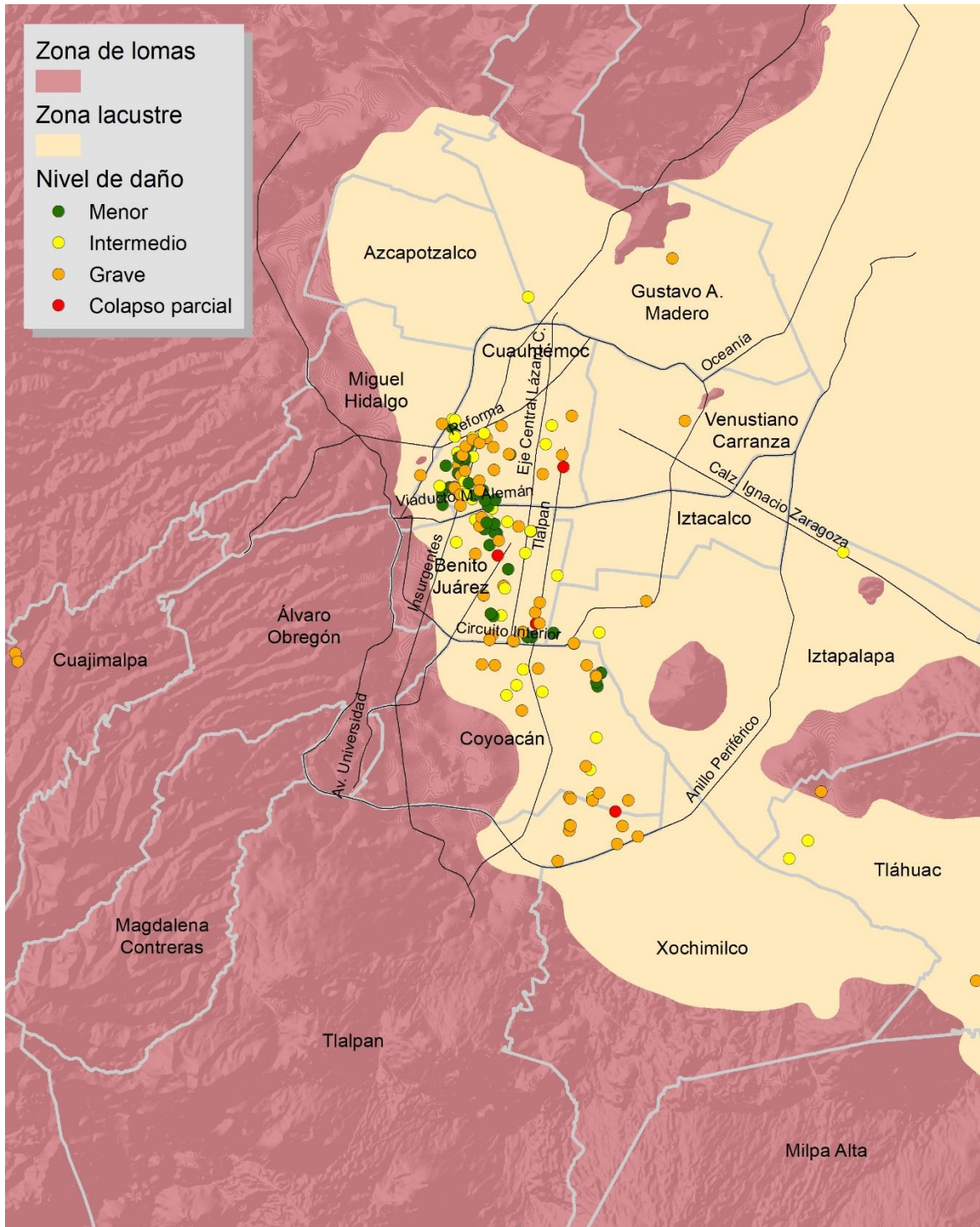


Figura 3.4 Localización de edificios demolidos en la Ciudad de México.



Figura 3.5 Edificios demolidos por nivel de daño en las colonias Roma Norte e Hipódromo en la alcaldía Cuauhtémoc.

Los edificios demolidos también fueron clasificados por nivel de riesgo, ya que a raíz del sismo del 19S 2017, el Instituto para la Seguridad de las Construcciones inició

inmediatamente la evaluación de los inmuebles dañados en la Ciudad de México. En una primera etapa se utilizó el formato de la cédula de evaluación post sísmica rápida (CEPOST), para determinar las condiciones de seguridad y habitabilidad de los inmuebles dañados. Posteriormente se dio inicio a una segunda etapa con la finalidad de darles a los propietarios y damnificados tanto información a detalle como una solución técnica de sus inmuebles dañados, para ello se realizó una inspección visual in situ con ayuda del formato de dictamen post sísmico (DICPOST). De este último formato surge la clasificación por nivel de riesgo (Berrón *et al.*, 2018):

- * *Alto riesgo de colapso*: cuando un edificio presenta daños severos en elementos estructurales y no estructurales que ponen en riesgo la estabilidad de la edificación y a su entorno (peatones, automovilistas y estructuras colindantes).
- * *Alto riesgo*: para rehabilitación mediante proyecto estructural avalado por un Corresponsable en Seguridad Estructural (CSE), cuando se presentan daños importantes en elementos estructurales y no estructurales, por lo general no podrá ser ocupado en razón de la magnitud de los daños reportados, poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes ante una nueva eventualidad sísmica.
- * *Riesgo medio*: para rehabilitación mediante proyecto estructural avalado por un CSE, cuando se presentan daños severos y de alta densidad en elementos no estructurales únicamente. Para rehabilitación mediante reforzamientos puntuales, cuando se presentan daños superficiales de baja densidad en elementos no estructurales, recomendando la revisión de los desplazamientos y resistencia si se tiene un edificio de planta baja débil o de esquina o con losa plana.
- * *Riesgo bajo*: cuando no se presentan daños o existen daños a nivel acabados, recomendando la revisión de los desplazamientos y resistencia si se tiene un edificio de planta baja débil o de losa plana.

Para conocer el porqué de la demolición de los edificios identificados es necesario conocer los daños que presentaron. Los daños han sido clasificados para saber cómo influyeron en la decisión de demoler el edificio, asimismo se han identificado particularidades de algunos edificios que ayudan a entender con mayor precisión por qué los demolieron. Al presentar diferentes niveles de daño y riesgo, en algunos casos es entendible

la demolición del inmueble, pero en otros y por la información con la que se cuenta, se observó que presentaron daños que ameritaban repararse o rehabilitarse.

Cabe mencionar que la información sobre los daños ha sido obtenida a través de fotografías y breves descripciones de ellas, así como por dictámenes estructurales. Sin embargo, no se cuenta con los dictámenes de todos los edificios identificados, ya que la plataforma que los emitía ha sido eliminada; en el caso de esos edificios sólo se tomó en cuenta lo observado en las fotografías. Por lo que existe incertidumbre sobre si la decisión fue tomada en base a los daños y soluciones técnicas propuestas, o por otros motivos de los propietarios, administradores y habitantes del inmueble.

3.3 Análisis estadístico de los daños en los edificios de estudio

Con el propósito de conocer cuáles fueron los daños que presentaron los edificios de estudio a causa del sismo del 19S 2017 y que motivaron su demolición, se observaron e identificaron los daños en elementos estructurales y no estructurales, así como algunas particularidades que determinaron el nivel de daño y de riesgo. También se consideraron otras características, como la ubicación y el uso de los inmuebles. En relación con la ubicación de los edificios demolidos, en la figura 3.6 se observa que las alcaldías con más demoliciones de edificios son Cuauhtémoc con 64 inmuebles, Benito Juárez con 42 y Coyoacán con 25, las cuales concentran el 83% de las demoliciones totales. Cabe destacar que las dos primeras alcaldías antes mencionadas concentraron el mayor número de inmuebles dañados en la Ciudad de México.

Respecto al uso que tenían los edificios demolidos se puede observar en la figura 3.7 que 129 de los 157 inmuebles eran habitacionales, siendo en su mayoría edificios de departamentos. El resto eran usados como oficinas, comercios, clínicas médicas, escuelas, un museo y como un hotel. Tomando en cuenta que el 82% de los edificios eran habitacionales, esto dejó una gran cantidad de damnificados y una importante pérdida económica del patrimonio de las personas.

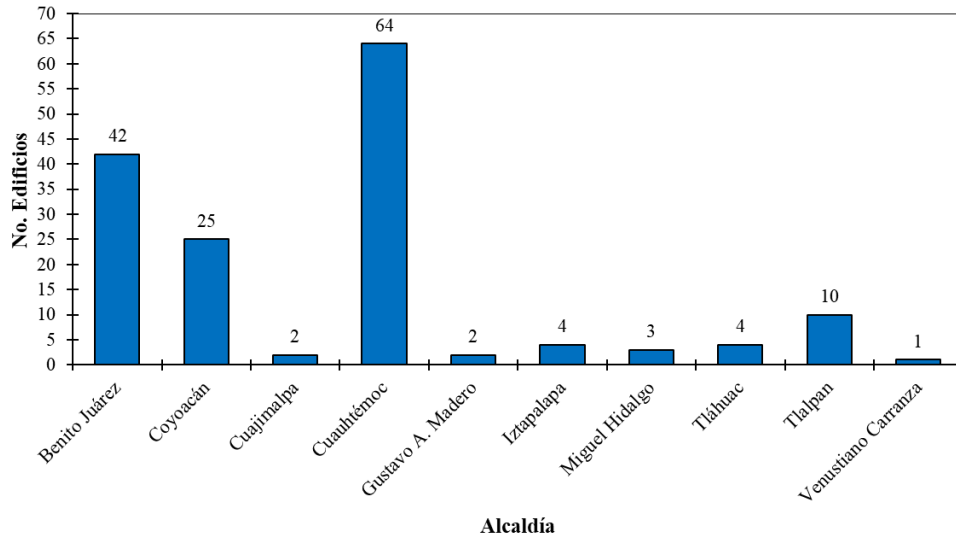


Figura 3.6 Distribución de demoliciones por alcaldías.

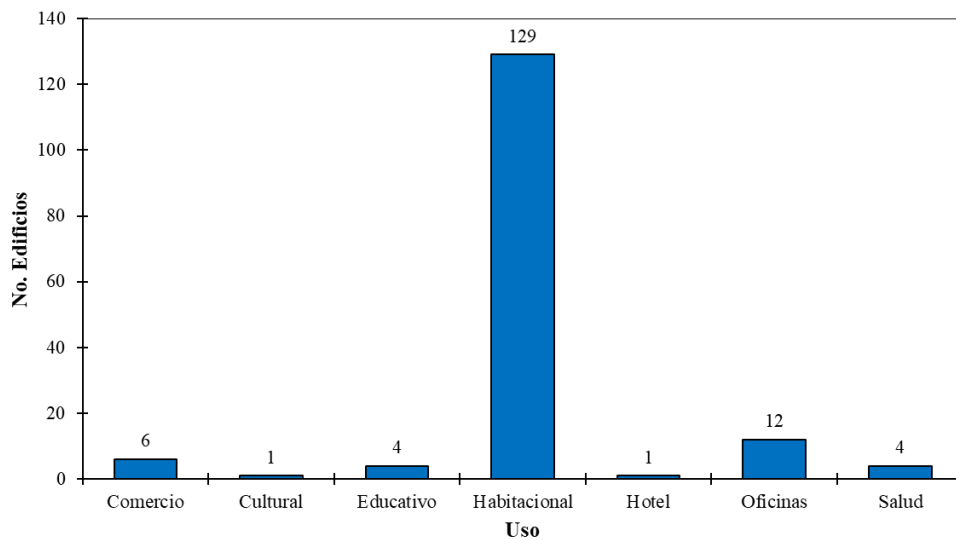


Figura 3.7 Distribución de demoliciones de acuerdo a su uso.

De acuerdo a la distribución de los edificios estudiados por año de construcción (figura 3.8), el 12% (19 inmuebles) de los edificios demolidos fueron construidos antes de 1960, el 71% (112 edificios) se construyeron entre 1960 a 1984, destacando 25 edificios construidos en 1970. Mientras que el 17% de los edificios demolidos se construyeron entre 1985 a 2016. Resalta el hecho de que 6 edificios demolidos son de reciente construcción, después del año 2000, lo que implica que estos edificios fueron mal diseñados o mal construidos, a pesar de las constantes modificaciones y actualizaciones que se le han

realizado al Reglamento de Construcción y sus Normas Técnicas (principalmente, después del terremoto de 1985), así mismo revela aspectos negativos en el desarrollo inmobiliario y en la industria de la construcción en la Ciudad de México.

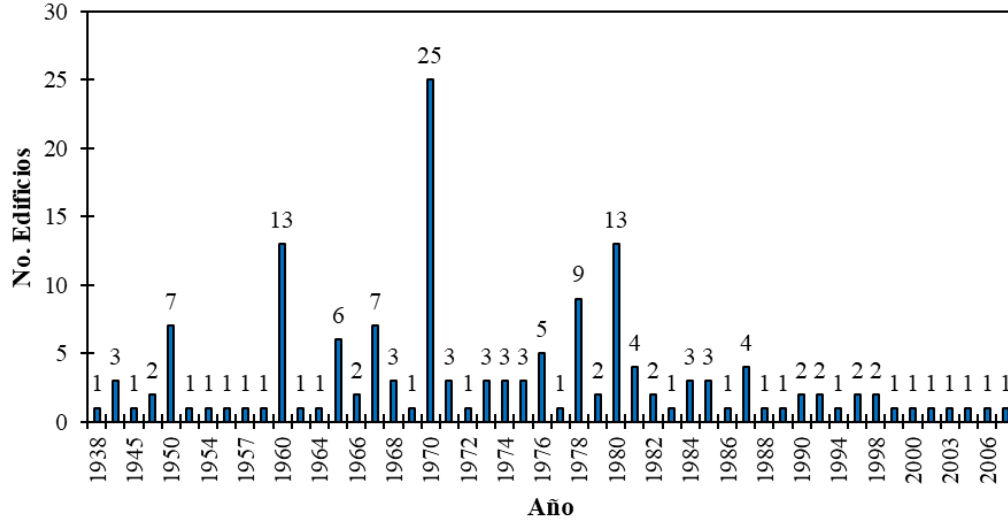


Figura 3.8 Distribución de demoliciones de acuerdo a su año de construcción.

A continuación se muestra la distribución por nivel de daño de las 2,232 estructuras identificadas con afectaciones en la Ciudad de México (figura 3.9a), mostrada en el capítulo anterior, y la distribución por nivel de daño de los 157 edificios demolidos (figura 3.9b). Como se mencionó, de las 2,232 estructuras dañadas 157 fueron demolidas después del sismo del 19S 2017, las cuales representan el 7.03%. Considerando el nivel de daño, se puede observar que 38 de 975 estructuras con daño menor fueron demolidas; con daños intermedios, 45 de 645; con daños graves, 67 de 504, y de las que colapsaron parcialmente, 7 de 64 fueron demolidas.

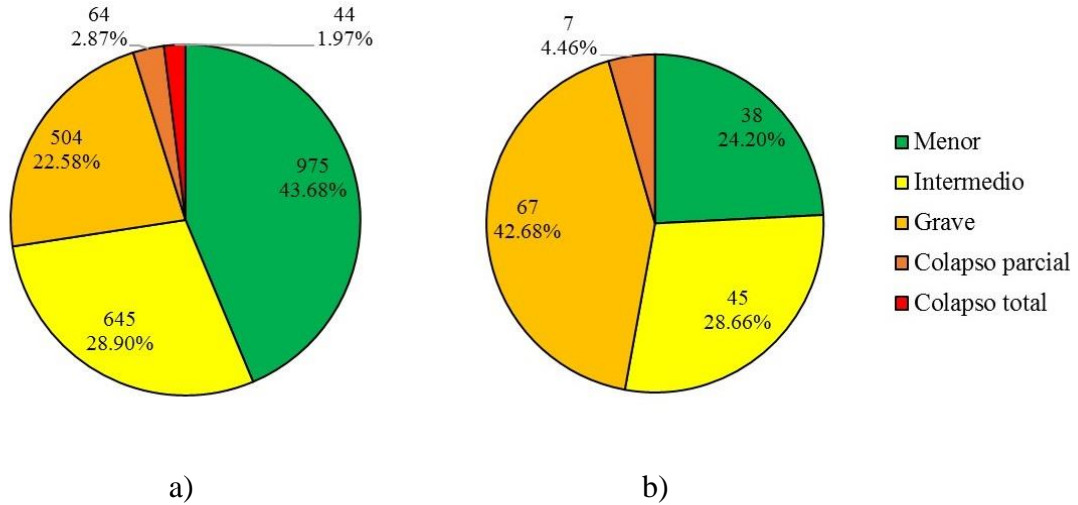


Figura 3.9 Distribución de acuerdo al nivel de daño de: a) estructuras dañadas y b) edificios demolidos.

Dado que los edificios demolidos también fueron clasificados por nivel de daño, en la figura 3.10 se hace una actualización de la distribución de los daños de las 2,232 estructuras afectadas por el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México. Se observa que 937 estructuras presentaron daños menores, 600 (27%) daños intermedios y aproximadamente el 20% de los inmuebles dañados (437) tuvieron daños graves. Los que colapsaron parcialmente representan el 2.55% (57 estructuras), mientras que 44 inmuebles (1.97%) colapsaron totalmente y 157 (7.03%) fueron demolidos. Cabe destacar que el colapso total y la demolición de un edificio representan una pérdida total, tanto estructural como económica.

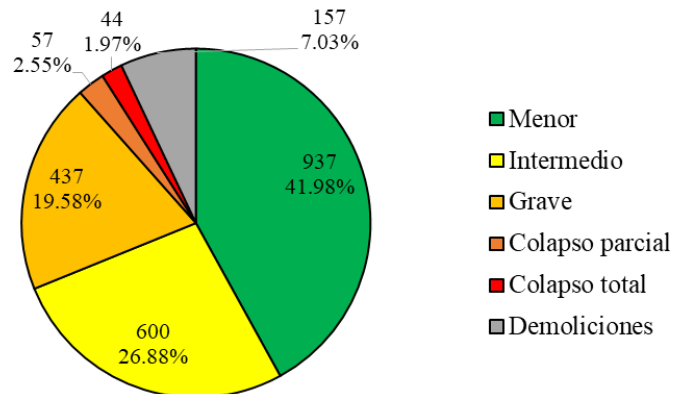


Figura 3.10 Distribución de estructuras por nivel de daño y demoliciones.

En la figura 3.11 se hace una comparación entre dos distintas clasificaciones con las que se clasificó a los edificios demolidos, por nivel de daño (establecida en la base de datos del Instituto de Ingeniería) y por riesgo (dada en los dictámenes del Instituto para la Seguridad de las Construcciones, ISC). Por lo que, el nivel de daño caracteriza los daños observados de acuerdo a la magnitud y a la ubicación del daño en la estructura (elementos estructurales y no estructurales), mientras que el nivel de riesgo se establece acorde a la cantidad y magnitud de los daños presentados en la estructura y que ante la presencia de un futuro evento sísmico la hacen más vulnerable, por ejemplo, al colapso total poniendo en peligro a los habitantes, vecinos, peatones y estructuras aledañas al edificio.

Con base a lo observado en la figura 3.11, todos los edificios con colapso parcial (6, con colapso en una parte del edificio o colapso de pisos superiores) fueron clasificados con alto riesgo de colapso, mientras que 29 de los 62 edificios con daños graves fueron clasificados con alto riesgo de colapso y 33 con riesgo alto, quedando estas estructuras inestables y vulnerables, como se mencionó, ante la presencia de un evento telúrico. Aunque los daños menores e intermedios no ponen en riesgo la estabilidad de las estructuras, 54 de ellas fueron clasificadas con alto riesgo de colapso y riesgo alto. El resto, 12 estructuras, fueron clasificadas con riesgo medio. En base a lo anterior, se puede observar que existen diferencias e inconsistencias entre las clasificaciones dadas a los edificios demolidos, lo cual se puede deber a que la clasificación de riesgo registrada en los dictámenes del ISC fue decidida por quienes realizaron las inspecciones estructurales a los edificios, y al haber distintos edificios dañados, estos pudieron haber sido inspeccionados bajo distintos criterios. Por lo que, se toma como sólida la clasificación por nivel de daño.

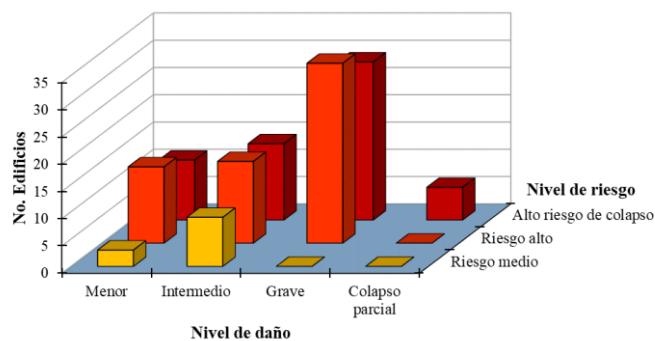


Figura 3.11 Distribución de demoliciones por nivel de daño y riesgo.

A partir de la identificación de los 157 edificios demolidos, se observaron los daños y las patologías estructurales que presentaron, como lo muestra la figura 3.12. Entendiéndose las siguientes siglas como: Ef. Esq.- Efecto de esquina, Irreg. Plta.- Irregularidad en planta, PBD- Planta baja débil, AD/Despl./Emers.- Asentamientos diferenciales/Desplome/Emersión, Falta Mant.- Falta de mantenimiento, Daños no est.- Daños no estructurales y Daños est.- Daños estructurales.

La irregularidad en planta con 100 inmuebles (64%) y la planta baja débil con 86 (55%), fueron los efectos que más presencia tuvieron en los edificios demolidos, ocasionándoles demandas adicionales de torsión y de desplazamiento, respectivamente, a dichos inmuebles. Le siguen, entre las patologías estructurales, el efecto de esquina con 37 inmuebles (24%) y el golpeteo con 23 (15%), siendo este último un efecto importante que ocasionó daños entre edificaciones, principalmente en los elementos que conforman las colindancias, como son los muros. Cabe mencionar que los edificios tenían una o más patologías estructurales. Asimismo, se agruparon los daños de los distintos elementos de los inmuebles demolidos, observándose que 102 edificios tuvieron daños estructurales, 124 daños no estructurales y 14 presentaron particularidades que se mencionan más adelante.

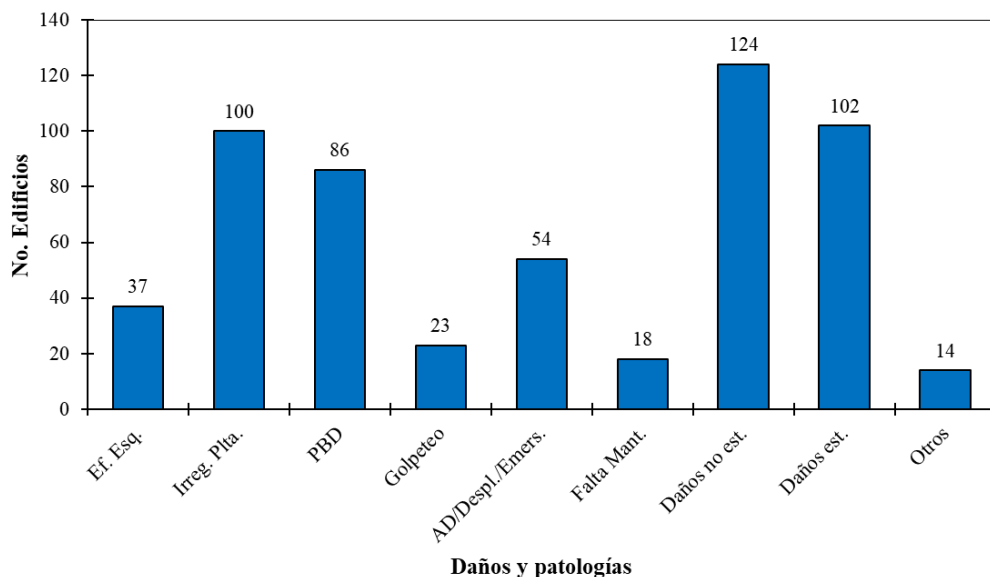


Figura 3.12 Distribución de daños y patologías en edificios demolidos.

También hubo 54 edificios con asentamientos diferenciales, desplome y/o emersión. Se encontraron algunos casos en los cuales, por ejemplo, la inclinación que presentaban los

edificios rebasaba el estado límite de servicio establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Si la inclinación es leve puede causar pocos daños y solamente en elementos no estructurales, pero si es muy grande puede causar daños severos en elementos estructurales y además poner en peligro la estabilidad de la estructura (Orozco y Reinoso, 2007).

Por lo que, los edificios representaban un riesgo para las personas y las estructuras vecinas ante la eventualidad de un sismo y que de acuerdo a los dictámenes estructurales emitidos por los Directores Responsables de Obra (DRO) y/o los Corresponsables en Seguridad Estructural (CSE) se sugirió la demolición de los edificios ante los altos costos que representaba el reforzamiento estructural y regresar a la verticalidad dichos inmuebles.

En la figura 3.12 se observó que 102 edificios demolidos presentaron daños estructurales y 124 daños no estructurales. La figura 3.13 muestra la distribución de los daños en los elementos estructurales, los cuales se concentran principalmente en las columnas (79 inmuebles) y muros de carga (31). El resto se distribuye en vigas (17), losas (12), unión columna-losa (6) y unión viga-columna (8). Es importante destacar que 19 edificios con planta baja débil presentaron daños en las columnas de la planta baja. En la figura 3.14 se pueden observar algunos ejemplos de los daños en elementos estructurales de los edificios demolidos.

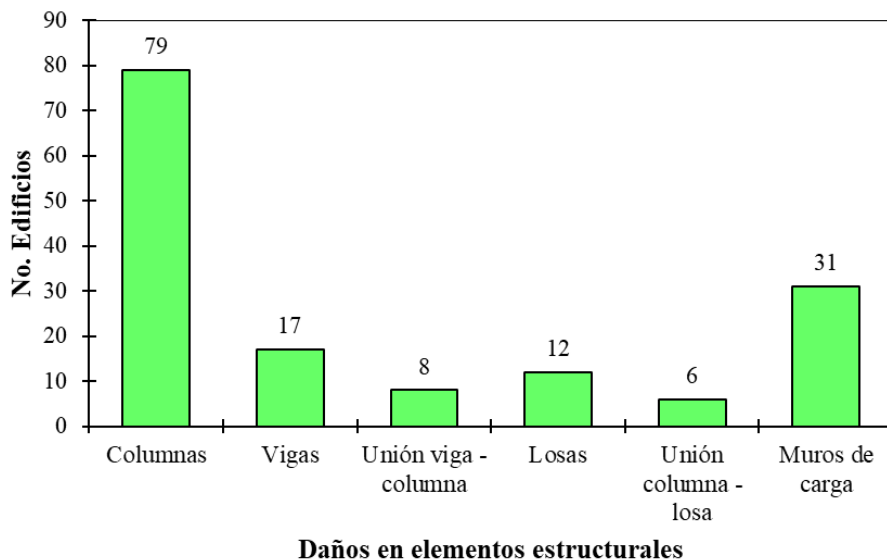


Figura 3.13 Distribución de daños en elementos estructurales.

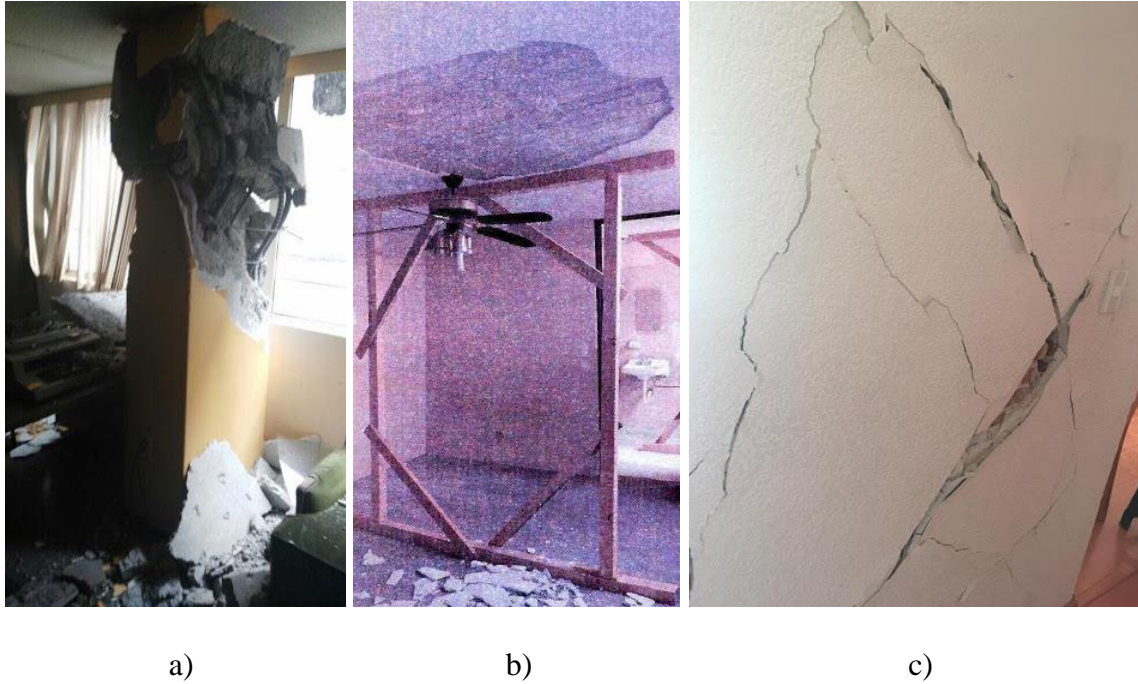


Figura 3.14 Ejemplos de daños en elementos estructurales de los edificios demolidos:
a) columna, b) losa y c) muro (ERN, 2017).

En cuanto a los daños en elementos no estructurales (figura 3.15), 102 edificios demolidos tuvieron daños en muros divisorios, 94 en fachada, acabados y recubrimientos, y 16 en cubos de escaleras o elevadores.

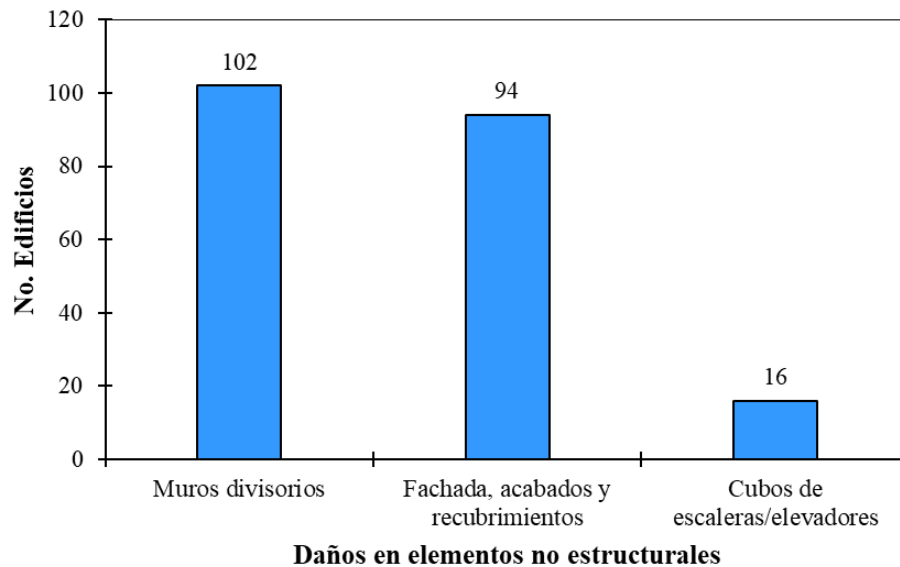


Figura 3.15 Distribución de daños en elementos no estructurales.

Aunado a los daños que sufrieron los edificios demolidos y a las patologías que presentaban, también se observaron algunas particularidades que afectaron el comportamiento de los edificios durante el sismo del 19S 2017. Entre las particularidades se encuentra un edificio que tenía sobrecarga dado que algunos departamentos fueron utilizados como almacén de rollos de tela, dos edificios que sufrieron daños graves debido al colapso del edificio vecino, ocasionando daños en sus elementos estructurales y en los muros de las colindancias, así como dos edificios identificados como estructuras esbeltas, con una relación altura-base mayor a 5, lo cual propicia grandes desplazamientos y momentos de volteo elevados.

Destaca que 8 edificios de los demolidos después del sismo del 19S 2017 fueron reforzados después del terremoto de 1985. Estos edificios fueron reforzados con contraventeos de concreto armado, columnas reforzadas mediante encamisado de ángulos y soleras, columnas en celosía metálica, adición de columnas de concreto reforzado y refuerzo de acero en traveses.

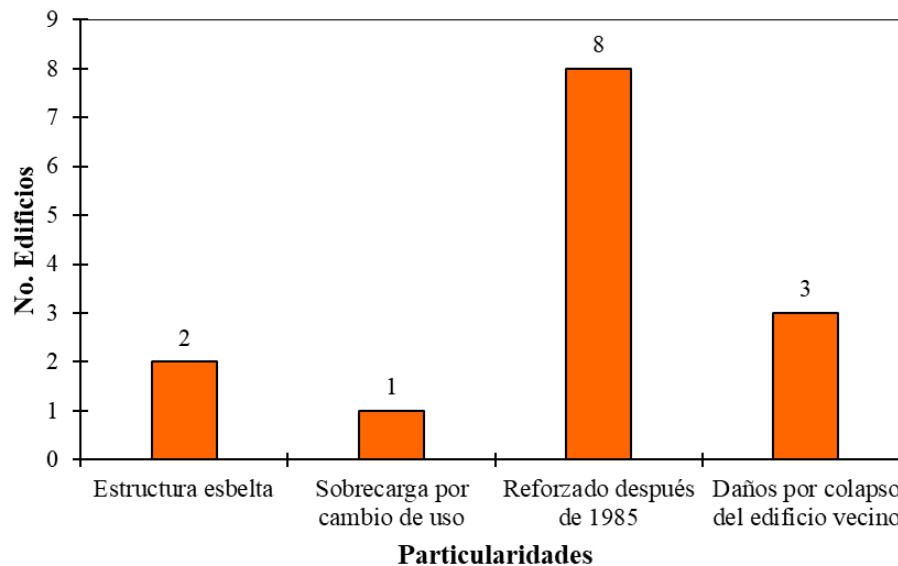


Figura 3.16 Particularidades observadas en algunos edificios demolidos.

Finalmente, se presentan las estadísticas de las patologías que presentaron los edificios que colapsaron totalmente durante el sismo del 19S 2017 y los edificios que posteriormente fueron demolidos. En la figura 3.17 se puede observar que la irregularidad en

planta y la planta baja débil fueron las de mayor presencia en los edificios demolidos, mientras que en los edificios colapsados fueron el golpeteo y la planta baja débil. En ambas situaciones la planta baja débil tiene una presencia importante, ya que la planta baja en edificios de departamentos son utilizados como estacionamientos, e influye en el comportamiento del edificio, por lo que edificios con esta característica deben de ser identificados e intervenidos con el fin de reforzarlos.

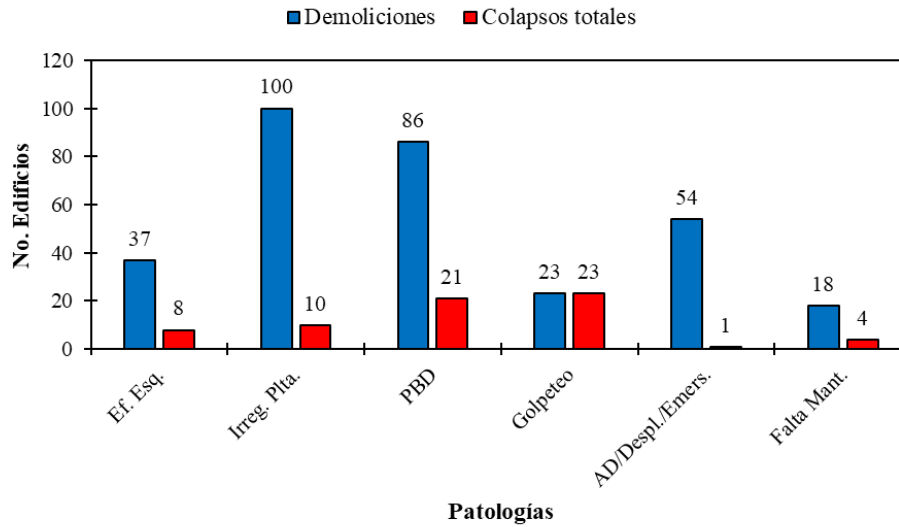


Figura 3.17 Distribución de patologías en edificios demolidos y colapsados totalmente.

CAPÍTULO 4

IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS REHABILITADOS Y NO INTERVENIDOS

CAPÍTULO 4

IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS REHABILITADOS Y NO INTERVENIDOS

4.1 Descripción de los edificios de estudio

El sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México provocó el colapso total de 44 edificios y causó daños en 157 edificios que fueron demolidos. Asimismo, se identificaron 346 edificios con afectaciones, al mes de marzo del 2021. De acuerdo a la figura 4.1, 234 inmuebles (68%) están siendo intervenidos con un proyecto de rehabilitación por parte de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, siendo todos de uso habitacional. Los 112 edificios restantes (32%) no están siendo intervenidos y todos ellos presentaron daños graves. Dado que la información sobre estos edificios es limitada, se considera, por ejemplo, que los de uso habitacional serán intervenidos con recursos de los propietarios y habitantes del inmueble, lo mismo sucederá con los destinados a oficinas, donde el dueño tendrá que arreglar su edificio.

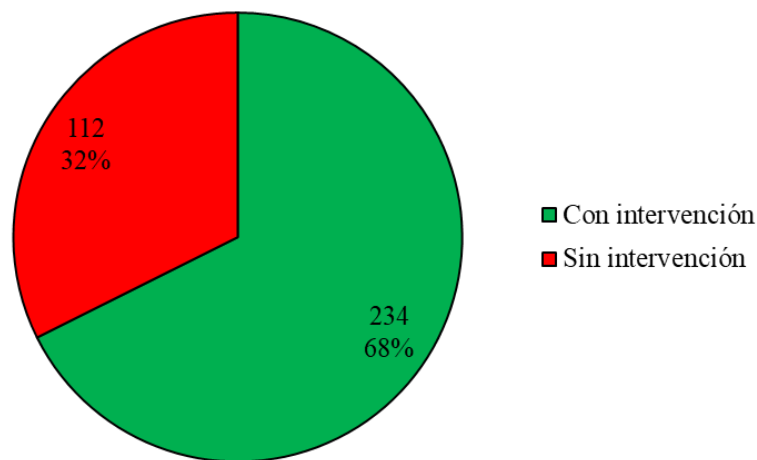


Figura 4.1 Distribución de edificios afectados con y sin intervención.

En la figura 4.2 se muestra un mapa de la localización de los edificios afectados con un proyecto de rehabilitación (con intervención) y sin intervención en la Ciudad de México.

La situación en la que se encuentran los edificios, mostrada en el mapa, corresponde a marzo de 2021.

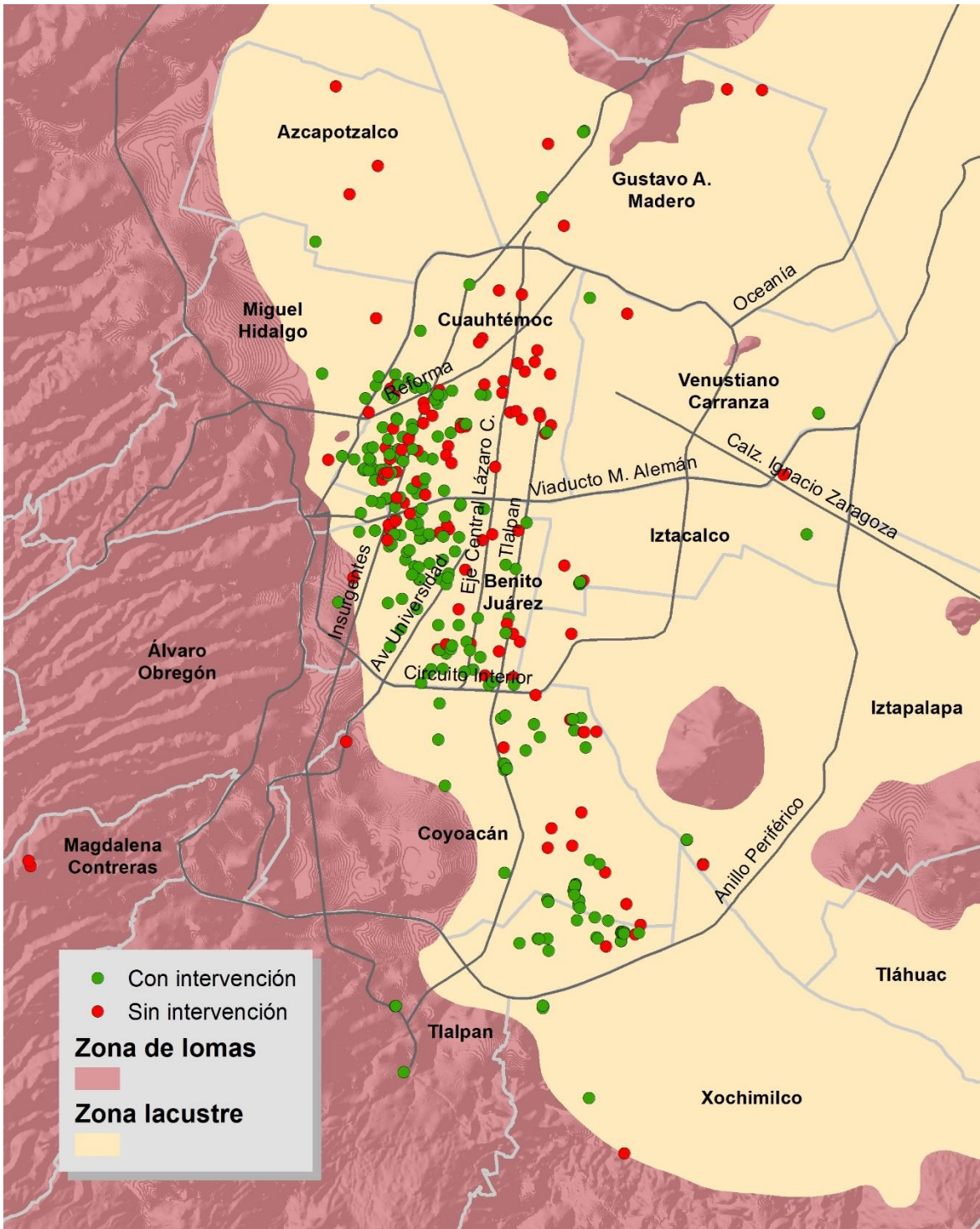


Figura 4.2 Localización de edificios afectados con y sin intervención en la Ciudad de México.

Las alcaldías Benito Juárez y Cuauhtémoc al ser las demarcaciones que presentaron el mayor número de inmuebles afectados por el sismo del 19S 2017, también son las que concentran el mayor número de edificios en proceso de rehabilitación (ver figura 4.3), con 71 y 65 edificios, respectivamente. Le siguen Coyoacán con 38 inmuebles y Tlalpan con 34. Respecto a los edificios que no están siendo intervenidos, estos se encuentran en Cuauhtémoc (51 edificios), Benito Juárez (23) y Coyoacán (15). En el resto de las alcaldías hay entre 1 a 8 edificios con y sin intervención.

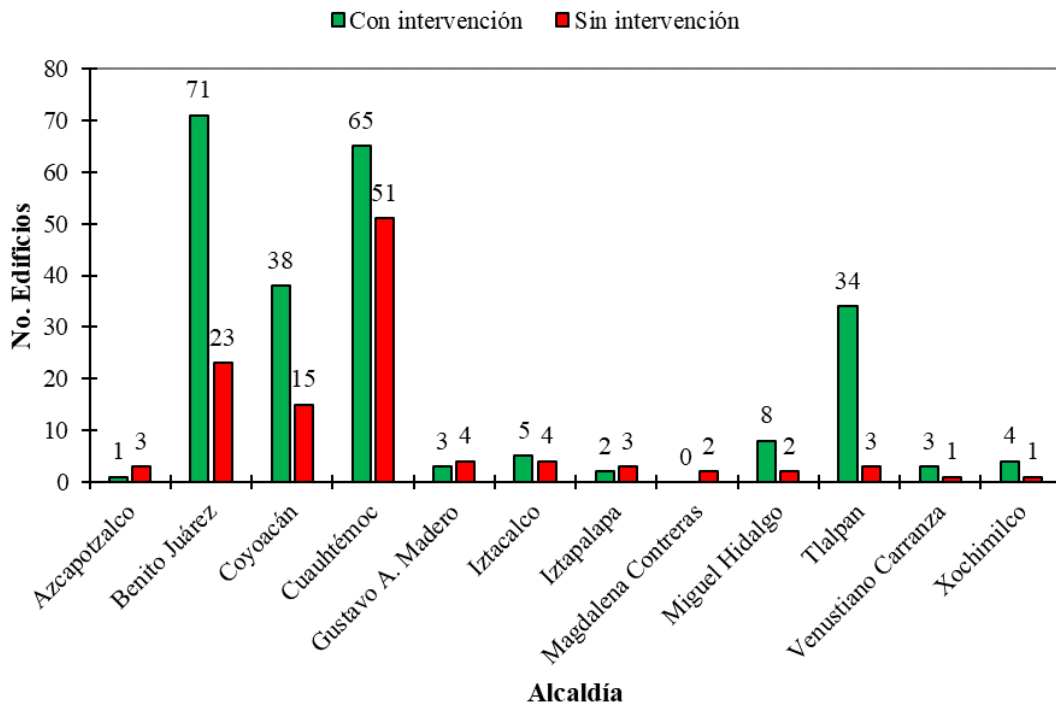


Figura 4.3 Distribución de edificios afectados con y sin intervención por alcaldías.

La situación de los edificios que no han sido intervenidos representa un peligro para la ciudadanía e infraestructura urbana. Si estos inmuebles se encuentran en un estado de abandono su deterioro continuará, agravando los daños que presentaron y ante la presencia de un sismo intenso ocasionar su colapso. Estos inmuebles, por lo tanto, deben ser atendidos por las autoridades competentes, ya sea para demolerlos o rehabilitarlos.

4.2 Proceso de rehabilitación

Como parte del proceso de reconstrucción aplicado después del sismo del 19S 2017, se están rehabilitando edificios con daños en sus elementos estructurales y no estructurales, como el edificio con daños graves de la figura 4.4. De los 346 edificios mencionados en el subcapítulo anterior, se han identificado 234 edificios que están incluidos en el proceso de rehabilitación planteado por la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México.



Figura 4.4 Edificio con daños graves en Coquimbo 909, Lindavista, Gustavo A. Madero: a) antes (Google Street View) y b) después (ERN, 2017) del sismo del 19S 2017.

De acuerdo a las Normas para la rehabilitación sísmica de edificios de concreto dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (GCDMX, 2017a) se entiende la rehabilitación, a la que serán sometidos los edificios dañados, como el proceso de intervención estructural para recuperar las condiciones originales (reparación) o para mejorar el comportamiento de elementos y sistemas estructurales para que la edificación cumpla con los requisitos de seguridad contra colapso y de limitación de daños establecidos en el Reglamento; incluye a la recimentación, reforzamiento, reparación y rigidización.

Los edificios dañados que serán intervenidos mediante un proyecto de rehabilitación siguen el siguiente proceso técnico, administrativo y financiero propuesto por la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México (GCDMX, 2019e):

1. Emisión del dictamen de riesgo.
2. Asignación de empresa proyectista.
3. Aprobación de recursos para proyecto y estudios complementarios.
4. Firma de contratos y convenios.
5. Trámite de pago (entrega de fianzas y liberación de recursos).
6. Elaboración de presupuesto.
7. Elaboración de estudios y proyecto de rehabilitación.
8. Asignación de empresa constructora y supervisora.
9. Revisión y registro de proyecto de rehabilitación.
10. Revisión de costos.
11. Solicitud de recursos al Fideicomiso para la obra y supervisión.
12. Firma de contrato para la obra y supervisión.
13. Trámite de pago (entrega de fianzas y liberación de recursos).
14. Protocolo de inicio de obra.
15. Asambleas informativas programadas sobre el avance de obra por el responsable de la Dirección Técnica de la Comisión.
16. Protocolo de término de obra.
17. Entrega del edificio.

Con base en el proceso técnico, administrativo y financiero, que tienen que ejecutar las autoridades, propietarios y habitantes de los edificios dañados a rehabilitar, se buscó el estatus en el que se encuentran los 234 edificios identificados, a través de información proporcionada en el Portal para la Reconstrucción de la Ciudad de México (GCDMX, 2019c) y en las redes sociales oficiales de la Comisión para la Reconstrucción, donde la información se actualiza constantemente y se documenta con fotografías. Dado que el proceso para rehabilitar un edificio es largo, el estatus del proceso de rehabilitación de los 234 edificios está actualizado a marzo de 2021.

Los 234 edificios fueron geolocalizados y clasificados de acuerdo al estatus en el que se encuentra su proceso de rehabilitación, como lo muestra el mapa de la figura 4.5. La clasificación es: obra concluida, en proceso de obra, en proyecto y en proceso administrativo.

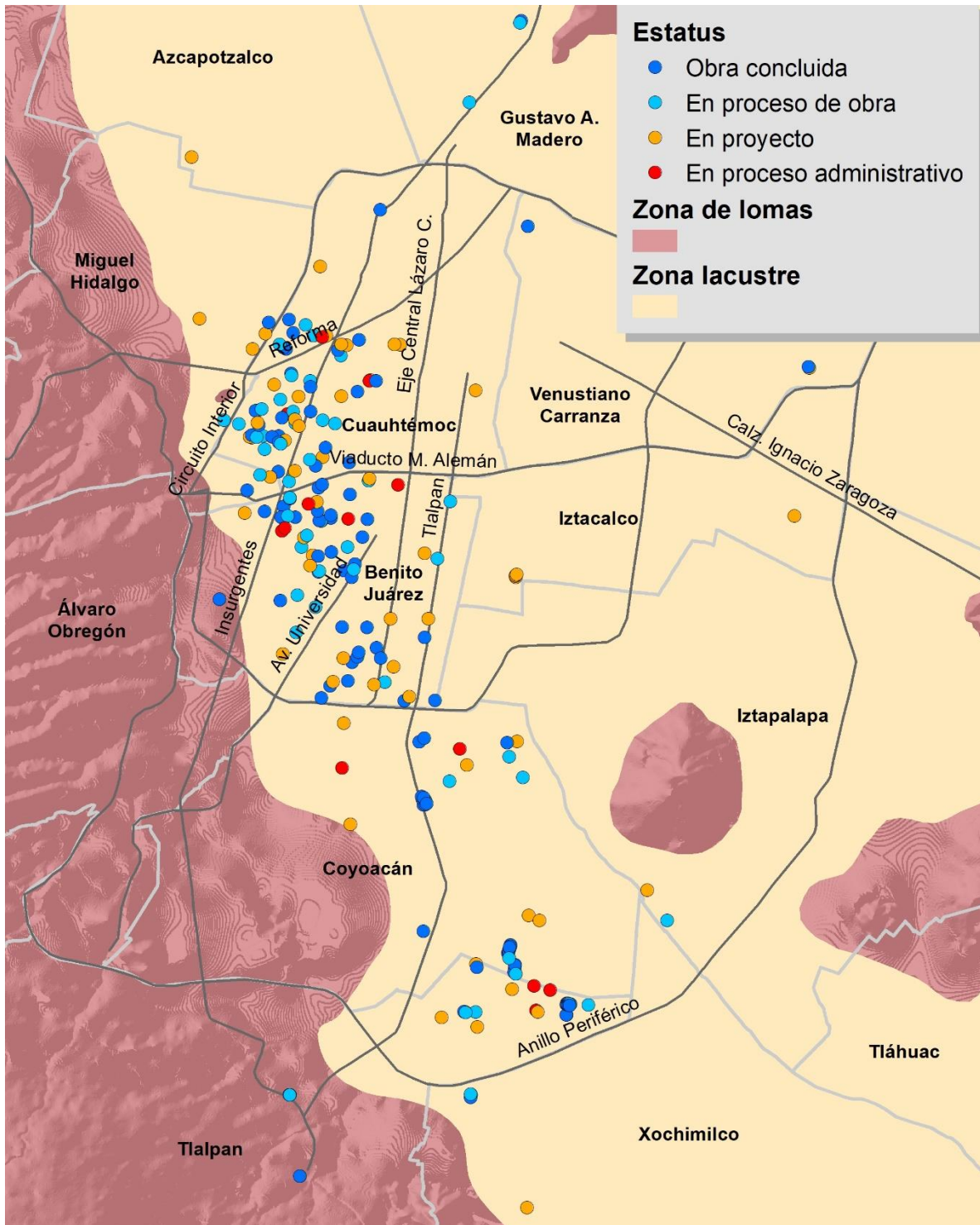


Figura 4.5 Ubicación de edificios dañados en la Ciudad de México de acuerdo al estatus en el que se encuentra su proceso de rehabilitación.



Figura 4.6 Ejemplo de la localización a nivel predio de los inmuebles que se encuentran en proceso de rehabilitación.

En la figura 4.7 se observa la distribución de los 234 edificios identificados de acuerdo al estatus en el que se encuentra su proceso de rehabilitación. Existen 104 edificios (44%) con obra concluida, destacando el complejo habitacional Multifamiliar Tlalpan (figura 4.8). En proceso de obra se encuentran 57 inmuebles (24%). El resto de los edificios se encuentran en etapas previas al comienzo de las obras, siendo que 60 edificios (26%) están en proyecto y 13 (6%) están en proceso administrativo.

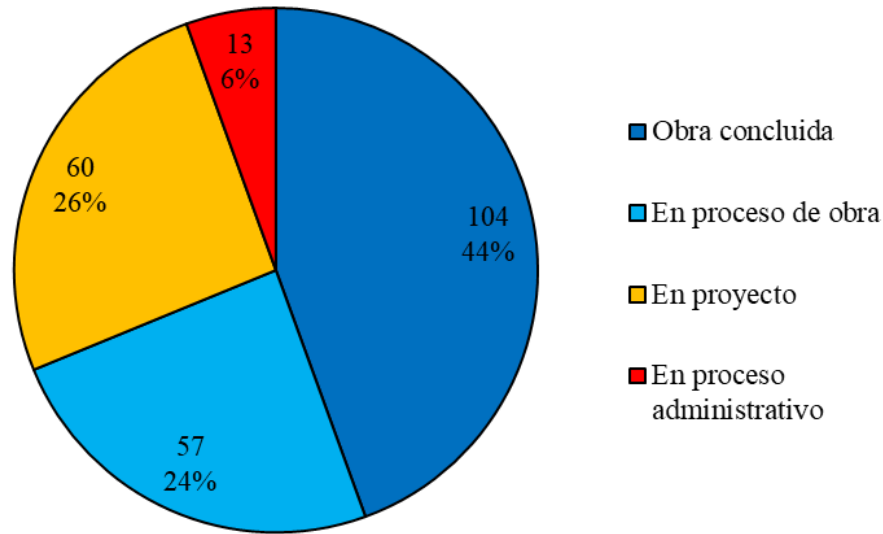


Figura 4.7 Distribución de edificios dañados de acuerdo al estatus en el que se encuentra su proceso de rehabilitación.



Figura 4.8 Ejemplo de edificios con obra de rehabilitación concluida en el Multifamiliar Tlalpan (Pantoja, 2020).

Martínez (2019) en su trabajo de tesis doctoral *Rehabilitación sísmica por desempeño de edificios de planta baja flexible*, ha identificado las técnicas de rehabilitación utilizadas en 134 edificios dañados por el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México. En la figura 4.9 se observa que se han utilizado 10 técnicas para la rehabilitación de los edificios, observándose que todas tienen un porcentaje de utilización similar. Entre las que más destacan se encuentran el encamisado de muros con malla de alambre soldado (51%) y el encamisado de columnas con concreto (40%), así como la adición de nuevos elementos, nuevos muros de concreto (51%) y nuevas vigas (41%). El resto de las técnicas son: contraventeos metálicos, reparación de grietas, encamisado de columnas con acero, adición o sustitución de muros de mampostería o de castillos y dalas en muros, encamisado de muros y recimentación.

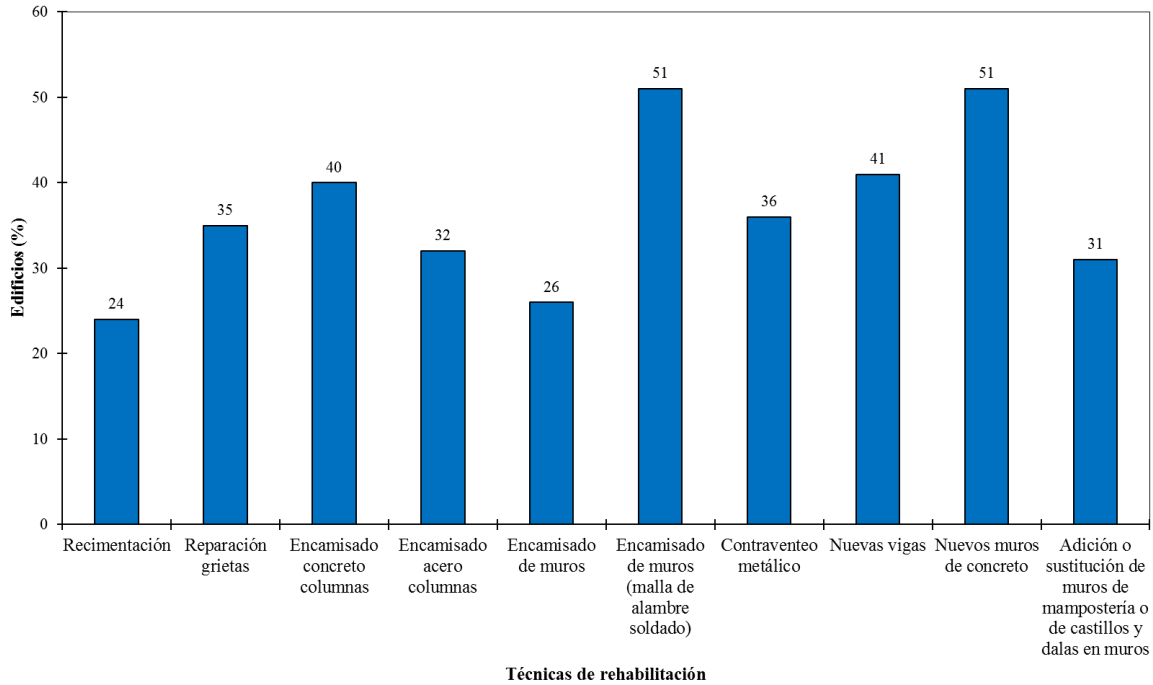


Figura 4.9 Técnicas de rehabilitación de estructuras utilizadas en la Ciudad de México después del sismo del 19S 2017 (Adaptada de Martínez, 2019).

4.3 Análisis estadístico de daños

De los 346 edificios identificados en total, solo 269 inmuebles están considerados en la base de datos de los daños observados durante el sismo del 19S 2017 del Instituto de Ingeniería (Buendía y Reinoso, 2019a; ERN, 2017) (mencionada en el Capítulo 2), por lo que en este subcapítulo se presentarán las estadísticas de los daños de dichos edificios. Debido a que se cuenta con la información de los 269 inmuebles, se observaron e identificaron sus patologías estructurales y algunas características que agravaron el daño en dichos edificios, así como los daños en sus elementos estructurales y no estructurales provocados por el sismo del 19S 2017.

Los inmuebles identificados son edificios de 4 a 14 niveles de altura, siendo en su mayoría edificios de departamentos o unidades habitacionales, ya que son viviendas para múltiples familias. En la figura 4.10 se muestra un mapa de la localización de los edificios, los cuales fueron geolocalizados con ayuda de Google Maps y Google Street View. Cada uno de ellos fue clasificado por nivel de daño: verde para daños menores, amarillo para daños intermedios y naranja para daños graves.

Considerando la ubicación de los edificios identificados, en la figura 4.11 se observa que las alcaldías con más edificios son Cuauhtémoc (101 inmuebles), Benito Juárez (76) y Coyoacán (44), las cuales concentran el 82% de todos los edificios identificados. Destaca que las tres alcaldías también concentraron el mayor número de edificios demolidos, mientras que las alcaldías Cuauhtémoc y Benito Juárez presentaron el mayor número de estructuras dañadas en la Ciudad de México. El resto de los inmuebles identificados se ubican en Tlalpan (con 16 inmuebles), Gustavo A. Madero (6), Iztacalco y Miguel Hidalgo (con 5 cada uno), Azcapotzalco y Xochimilco (con 4 cada uno), Iztapalapa y Venustiano Carranza (con 3 cada uno) y Magdalena Contreras (2).

En relación al uso que tienen los inmuebles, en la figura 4.12 se puede observar que 243 edificios (90.3%) son habitacionales, 18 (6.7%) son oficinas, 6 (2.2%) son comercios y 2 (0.7%) pertenecen al sector salud.

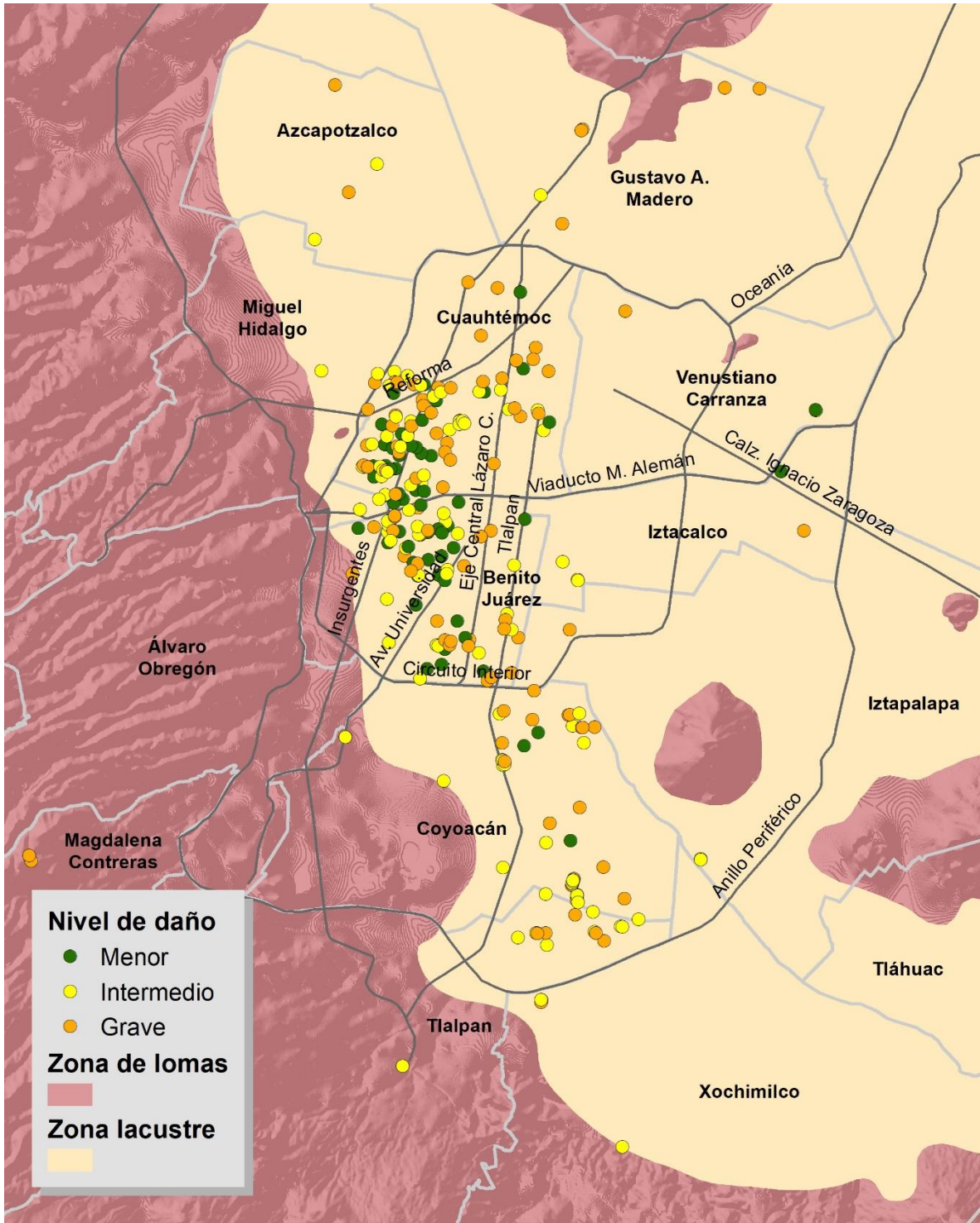


Figura 4.10 Localización de los 269 edificios identificados en la base de datos que coinciden con los reportados con afectaciones en la Ciudad de México.

Daños observados y proceso de reconstrucción en edificios afectados por el sismo del 19S 2017 en la Ciudad de México: rehabilitación y demolición

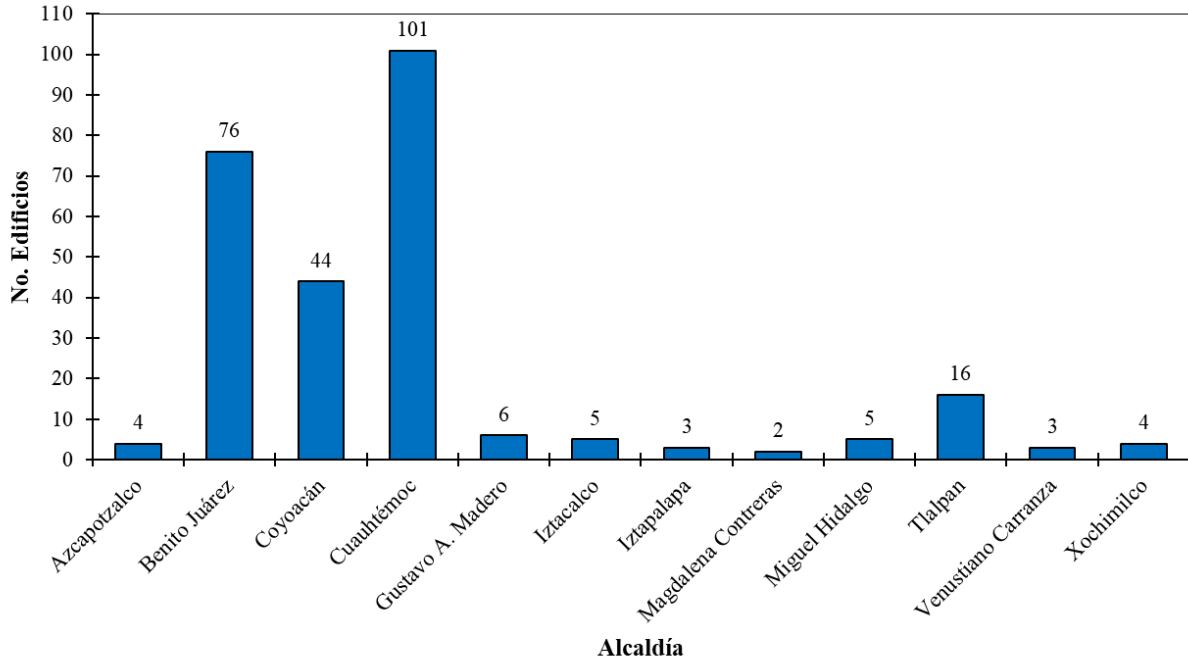


Figura 4.11 Distribución de edificios por alcaldías.

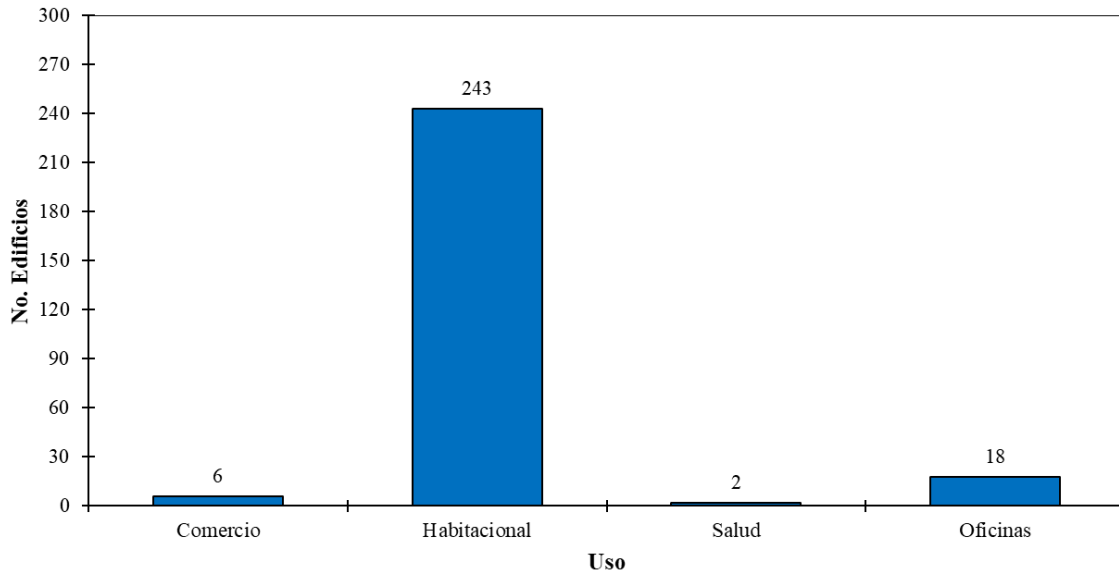


Figura 4.12 Distribución de edificios de acuerdo a su uso.

La figura 4.13 muestra la distribución de los edificios identificados por nivel de daño, observándose que 59 edificios (21.93%) presentaron daños menores, 97 (36.06%) con daños intermedios y 113 inmuebles (42.01%) tuvieron daños graves.

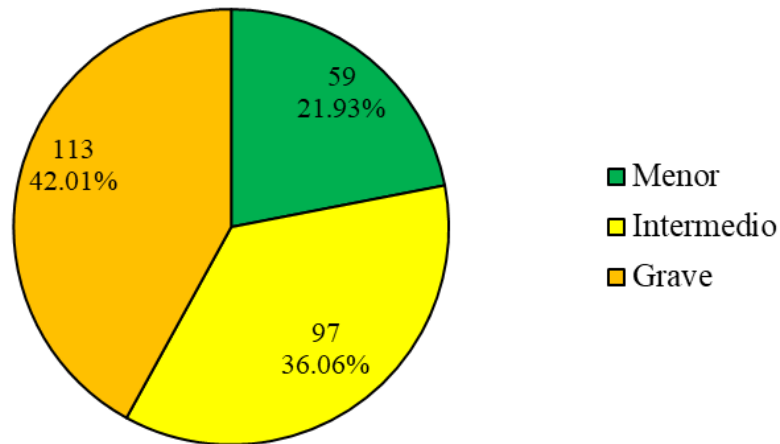


Figura 4.13 Distribución de edificios por nivel de daño.

A continuación, se presentan en la figura 4.14 las patologías estructurales y los daños que se observaron en los 269 edificios identificados. Las siglas que se muestran en la siguiente figura se entienden como: Ef. Esq.- Efecto de esquina, Irreg. Plta.- Irregularidad en planta, PBD- Planta baja débil, AD/Despl./Emers.- Asentamientos diferenciales/Desplome/Emersión, Falta Mant.- Falta de mantenimiento, Daños no est.- Daños no estructurales y Daños est.- Daños estructurales.

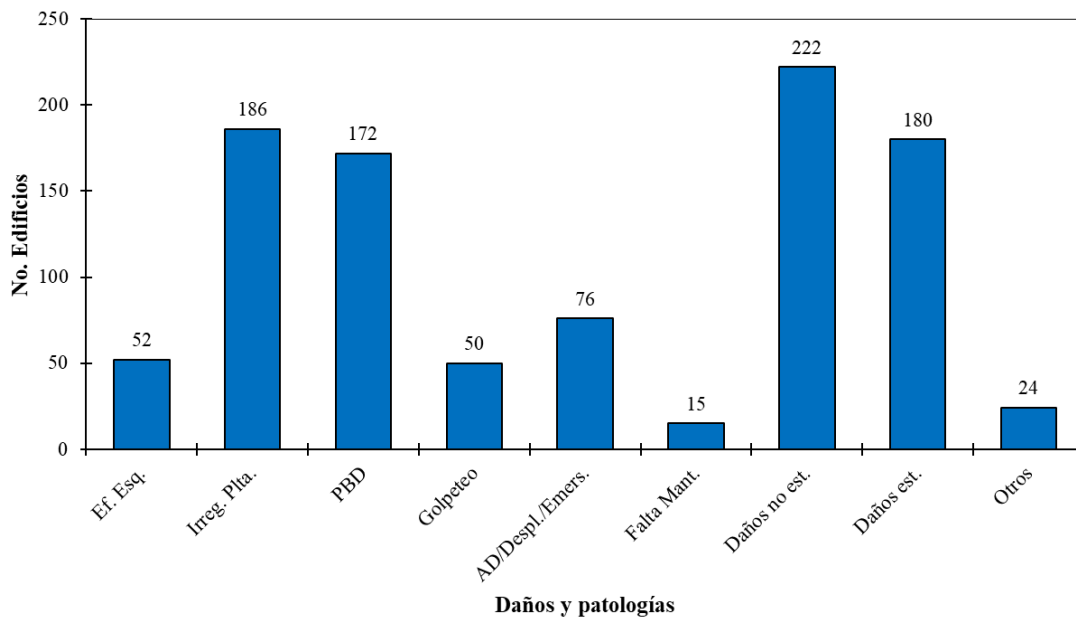


Figura 4.14 Distribución de daños y patologías en edificios.

De acuerdo a la figura 4.14, 180 edificios presentaron daños en sus elementos estructurales y 222 tuvieron daños no estructurales. Asimismo, se observaron 76 inmuebles con asentamientos diferenciales, desplome o emersión, y 15 edificios con falta de mantenimiento. En 24 edificios se identificaron algunas características que agravaron el daño, como tener sobrecarga, haber sido reforzados después de 1985 y presentar daños considerables por el golpeteo entre edificaciones.

Los edificios identificados también presentaron una o más patologías estructurales, siendo la irregularidad en planta y la planta baja débil los efectos con mayor presencia, con 186 inmuebles (69%) y 172 edificios (64%), respectivamente. En menor medida se encuentran el efecto de esquina con 52 edificios (19%) y el golpeteo con 50 inmuebles (19%).

Las Normas para la rehabilitación sísmica de edificios de concreto dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (se referirá a ellas como NTC-Rehabilitación) ponen énfasis en la rehabilitación de edificios que presentan planta baja débil y golpeteo. De acuerdo a las NTC-Rehabilitación, la rehabilitación de edificios con planta baja débil debe incluir un cambio drástico de la estructuración del primer entre piso y se debe considerar la introducción de muros de concreto o de diagonales de contraventeo en acero –sin o con dispositivos para control de la respuesta sísmica– (GCDMX, 2017a).

Mientras que, para evitar el golpeteo entre edificaciones, se deberá revisar que la separación entre edificios cumpla con la separación mínima establecida en las NTC-Sismo, la cual es de 50 mm. Si no se cumple con la separación, las NTC-Rehabilitación recomiendan recortar los elementos estructurales y no estructurales colindantes para aumentar la separación, conectar los edificios para que trabajen en conjunto, o bien insertar un elemento que amortigüe el impacto.

Con respecto a los daños, en la figura 4.15 se observa la distribución de daños en elementos estructurales. Los daños se concentran en los muros de carga (65 inmuebles) y en las columnas (88), destacando que 41 edificios con planta baja débil presentaron daños en las columnas de la planta baja. El resto de los daños se distribuyen en vigas (39 edificios), losas (16), unión viga-columna (10) y unión columna-losa (5).

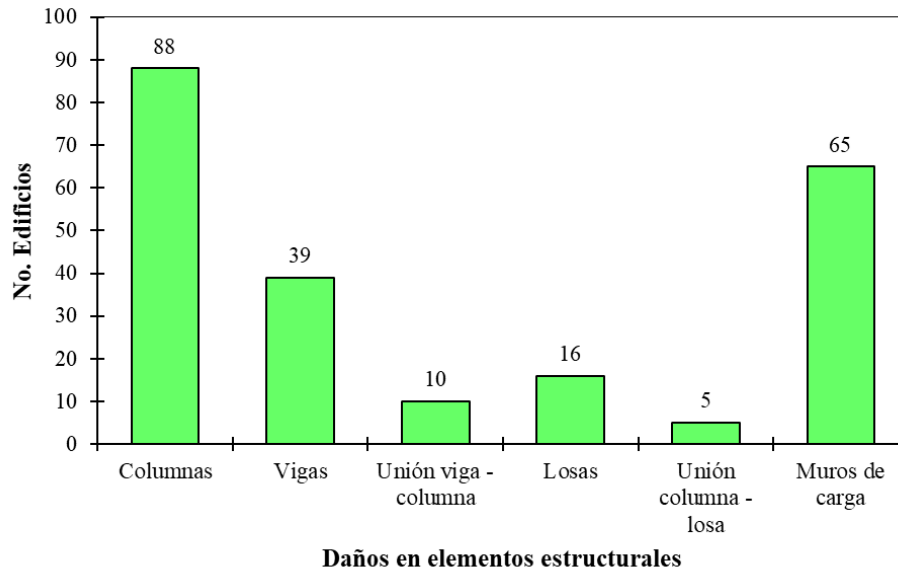


Figura 4.15 Distribución de daños en elementos estructurales.

Para los daños en elementos estructurales las NTC-Rehabilitación proponen técnicas de reforzamiento, de las cuales se puede utilizar una técnica o una combinación de ellas para el proyecto que se proponga. Entre las técnicas se incluyen el encamisado de elementos de concreto y de mampostería con mallas metálicas o plásticas recubiertas con mortero, o con ferrocemento, morteros o concretos con fibras metálicas, plásticas o materiales sintéticos adheridos con resinas; en columnas y vigas se pueden emplear encamisados de concreto reforzado con barras longitudinales y estribos, de acero con ángulos y soleras, o de láminas de fibras de carbono o de vidrio, embebidas en resina epóxica; la inclusión o retiro de muros de cortante; la adición de diagonales de contraventeo en los marcos de la estructura, normales o restringidos contra pandeo, también pueden colocarse dispositivos disipadores de energía; la adición de contrafuertes de concreto o metálicos alrededor de los edificios, y la adición de elementos confinantes de concreto reforzado.

También se observaron daños en los elementos no estructurales de los edificios identificados. En la figura 4.16 se observa que 195 edificios (72%) presentaron daños en los muros divisorios, 169 (63%) en fachada, acabados y recubrimientos, y 32 (12%) en cubos de escaleras o elevadores.

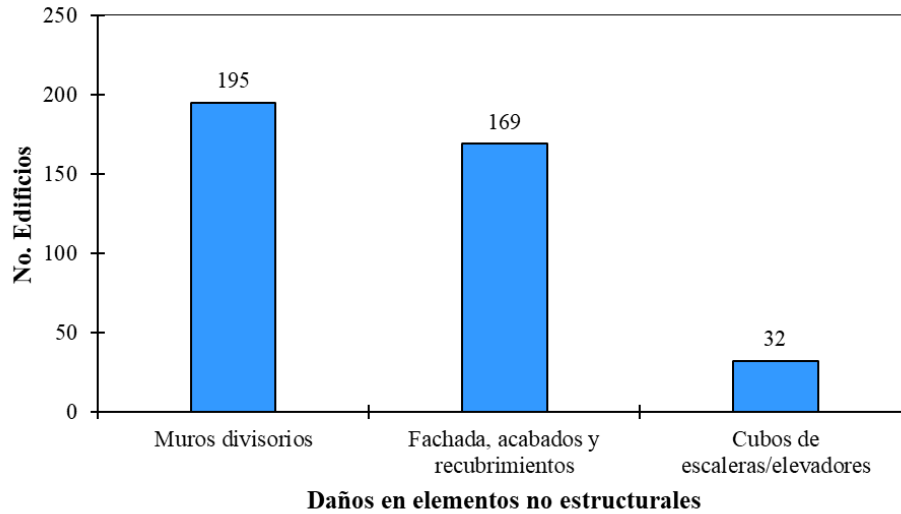


Figura 4.16 Distribución de daños en elementos no estructurales.

Además de los daños y las patologías que se observaron, se identificaron 24 edificios con particularidades que posiblemente influyeron en el nivel de daño (ver figura 4.17). Estos presentaban sobrecarga por el uso de maquinaria pesada (1 edificio), daños por golpeteo con edificio vecino (16 inmuebles) y reforzamiento después del terremoto de 1985 (7 edificios), mediante contraventeos metálicos de acero, contraventeos de concreto armado, contrafuertes, muros de rigidez de concreto reforzado, recimentación y demolición de pisos superiores.

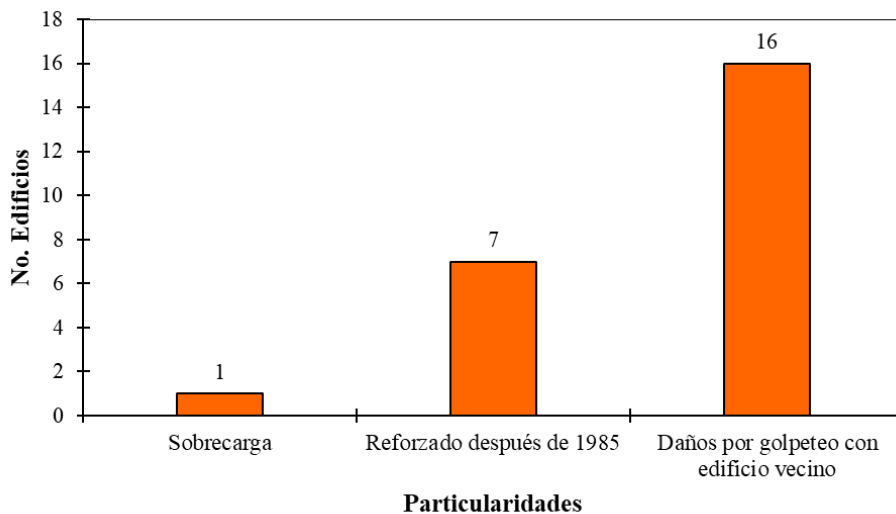


Figura 4.17 Particularidades observadas en algunos edificios rehabilitados.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El 19 de septiembre de 2017 se presentó un sismo magnitud 7.1, proveniente del límite estatal entre Puebla y Morelos. Tras la experiencia dejada por el terremoto de 1985, la Ciudad de México se enfrentó una vez más a los estragos del movimiento de la tierra, el cual dejó un saldo de 228 decesos, 44 estructuras colapsadas totalmente y miles de inmuebles dañados.

La Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM) registró en la estación CH84 (Culhuacán) una aceleración de 226 cm/s^2 , por lo tanto, el sismo generó las aceleraciones más grandes nunca antes registradas en la ciudad. Se observó que las intensidades más altas para un periodo de 1.0 segundo se presentaron en la zona lacustre del Valle de México, zona que también concentró a los edificios con daños graves y, a los que colapsaron parcial y totalmente. Por consiguiente, se concluye que existe una relación entre las aceleraciones que experimentaron los edificios y los daños que sufrieron.

Con respecto a los daños provocados por el sismo, se reportaron afectaciones en la infraestructura urbana que incluye inmuebles del sector salud y educativo, oficinas gubernamentales y privadas, pero sobre todo inmuebles destinados al uso habitacional. Se consultaron diversas fuentes que proporcionan información sobre los daños presentados, sin embargo se detectaron inconsistencias como el número de inmuebles registrados, datos incompletos o incorrectos, e información no verificada. Por tal motivo, se utilizó una base de datos de inmuebles dañados realizada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM), la cual, además de no tener los errores antes mencionados, proporciona información técnica y documenta con fotografías el antes y después de cada inmueble dañado.

Se analizó la base de datos del II-UNAM. De las 2,232 estructuras analizadas (casas, edificios, hospitales, escuelas, comercios, mercados, hoteles, parroquias y bardas) se observó que: 975 estructuras (43.68%) presentaron daños menores, 645 (28.90%) daños intermedios, 504 (22.58%) daños graves y 108 estructuras colapsaron, 64 (2.87%) parcialmente y 44 (1.97%) totalmente.

También se observó que en la zona de lomas se presentaron pocos daños en comparación con la zona lacustre, donde las alcaldías Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán

e Iztapalapa concentran el 70% de las estructuras dañadas. Esto es entendible, dado que las ondas sísmicas se amplifican en la zona lacustre ocasionando que las estructuras sean más demandadas ante las fuerzas sísmicas.

Además, se identificaron los sistemas estructurales y las patologías presentes en los inmuebles estudiados. El sistema estructural predominante fue el de muros de mampostería confinada, debido a que la autoconstrucción (práctica comúnmente realizada en casas habitación) hace que no cumpla con los requisitos de ingeniería necesarios para su adecuado comportamiento; en edificios colapsados las columnas y losas planas de concreto fue el tipo estructural más común. Las patologías con mayor presencia fueron la irregularidad en planta, la planta baja débil, daños previos y el efecto de esquina, concluyendo que estas influyen en el comportamiento de los edificios ante la acción sísmica y contribuyen al nivel de daño.

Por otra parte, y como resultado de lo sucedido por el sismo, se estableció un proceso de reconstrucción, con el objetivo de atender a los damnificados, demoler los inmuebles con alto riesgo de colapso y posteriormente llevar a cabo la reconstrucción y rehabilitación de inmuebles dañados. El proceso de reconstrucción sufrió cambios tanto en la ley como en el plan, dado el cambio de administración en el Gobierno de la Ciudad de México. Se examinó la base de datos de un nuevo censo social y técnico que realizó la Comisión para la Reconstrucción, como parte del actual Plan Integral para la Reconstrucción.

Del nuevo censo social y técnico se obtuvo un total de 12,287 inmuebles dañados, siendo 11,884 clasificados como vivienda unifamiliar (casas) y 403 como vivienda multifamiliar (edificios de departamentos y unidades habitacionales), de los cuales 417 coinciden con la base de datos del II-UNAM. Sin embargo, se detectó que la base de datos del censo presenta irregularidades como la duplicación de inmuebles registrados y la incorrecta geolocalización de los mismos. Asimismo, el actual plan sólo considera los inmuebles de uso habitacional, por lo cual existen inmuebles destinados a otros usos que no fueron intervenidos representando un peligro para la ciudadanía.

Por lo tanto, y en base a lo antes mencionado, se identificó la situación en la que se encuentran los edificios dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México. Los edificios que se consideró son estructuras de 3 o más niveles de altura, con una configuración que permite contar con varios departamentos u oficinas. Se observaron 3

escenarios en los que un edificio se puede encontrar: demolidos, sin intervención y en proceso de rehabilitación.

El proceso de demolición se tuvo que haber efectuado en edificios que no colapsaron, pero que dejaron de ser funcionales. También fue una medida preventiva para evitar daños en otras edificaciones y garantizar la seguridad de la ciudadanía. En el actual Plan Integral para la Reconstrucción se estableció la Mesa de Demoliciones como el instrumento encargado de aprobar el proceso de demolición de los inmuebles clasificados como alto riesgo de colapso. De este instrumento no se encontró información que ayudara a identificar los inmuebles a demoler.

En total se identificaron 157 edificios, de 3 a 15 niveles de altura, clasificados como demolidos, de los cuales se constató que 121 ya fueron demolidos y 36 están por demolerse, ya sea porque están en revisión por parte de la Mesa de Demoliciones o por iniciar los trabajos. Las alcaldías con más demoliciones son Cuauhtémoc con 64 edificios, Benito Juárez con 42 y Coyoacán con 25, concentrando el 83% de las demoliciones totales. El 82% de los edificios tenían uso habitacional, mientras que el resto eran usados como oficinas, comercios, clínicas médicas, escuelas, un museo y como un hotel.

Las autoridades establecieron demoler los edificios clasificados por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC) como alto riesgo de colapso, encontrándose que 60 de los 157 edificios fueron clasificados así. Asimismo, se observó el nivel de daño de los edificios demolidos reportado en la base de datos del II-UNAM, donde 7 edificios (4.46%) colapsaron parcialmente, 67 (42.68%) presentaron daños graves, 45 (28.66%) daños intermedios y 38 (24.20%) daños menores.

Se observó en los edificios demolidos las patologías estructurales y, los daños en elementos estructurales y no estructurales que presentaron. Los efectos que más presencia tuvieron fueron la irregularidad en planta con 100 inmuebles (64%), la planta baja débil con 86 (55%), el efecto de esquina con 37 (24%) y el golpeteo con 23 (15%), este último ocasionó daños entre edificaciones, principalmente en los elementos que conforman las colindancias. Los daños en elementos no estructurales (muros divisorios, fachada, acabados y recubrimientos, cubos de escaleras/elevadores) se presentaron en 124 edificios, mientras que en 102 inmuebles se presentaron daños estructurales, los cuales se concentraron en las

columnas y los muros de carga. Es importante destacar que 19 edificios con planta baja débil presentaron daños en las columnas de la planta baja, concluyéndose que ante la pérdida de capacidad estructural estos edificios tuvieron que ser demolidos, dado que ante la presencia de un nuevo sismo pudieron colapsar.

También se observaron 54 edificios con una inclinación que rebasaba el estado límite de servicio establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones y que ante los altos costos de un proyecto de verticalización y reforzamiento estructural, se recomendó su demolición; así como 3 edificios que sufrieron daños graves debido al colapso del edificio vecino y 2 edificios identificados como estructuras esbeltas, las cuales presentaron grandes desplazamientos y momentos de volteo elevados.

Se concluye que no todos los edificios demolidos representaban un alto riesgo de colapso, habiendo edificios con daños que bien pudieron ser rehabilitados; en otros casos, los daños u otras situaciones (como el desplome o el daño grave por el colapso del edificio vecino) que presentaron los edificios, si ameritaban su demolición. Sin embargo, existe incertidumbre sobre si la decisión fue tomada en base a los daños y soluciones técnicas propuestas, o por otros motivos de los propietarios, administradores y habitantes del inmueble. Sin dejar de lado que la demolición de edificios también pudo estar influenciada por irregularidades cometidas por funcionarios públicos, como la otorgación de contratos millonarios a empresas por adjudicación directa y la sobre elevación en los precios por metro cuadrado de demolición.

Se identificaron 346 edificios con afectaciones, de los cuales 112 (32%) no están siendo intervenidos. Estos se localizan, principalmente, en las alcaldías Cuauhtémoc (51 edificios), Benito Juárez (23) y Coyoacán (15). Si estos inmuebles se encuentran en un estado de abandono su deterioro continuará, provocando desde problemas sociales (como la invasión al inmueble por personas ajenas que desconocen su situación) hasta el colapso de los mismos ante la presencia de un sismo intenso. Por lo que, la actual Comisión para la Reconstrucción debe de actuar sobre estos edificios, que no fueron intervenidos ni por el gobierno anterior ni por sus dueños, para demolerlos o rehabilitarlos, sin importar que su uso sea distinto al habitacional, ya que representan un peligro para la ciudadanía.

El proceso de rehabilitación está siendo aplicado en edificios de uso habitacional que sufrieron daños en sus elementos estructurales y no estructurales. De los 346 edificios antes mencionados, se identificó que 234 edificios (68%) están siendo intervenidos con un proyecto de rehabilitación por parte de la Comisión para la Reconstrucción. Estos se localizan, en su mayoría, en las alcaldías Benito Juárez (71 edificios), Cuauhtémoc (65), Coyoacán (38) y Tlalpan (34).

Se investigó el progreso que llevan los edificios a rehabilitar en base al proceso técnico, administrativo y financiero propuesto por la Comisión para la Reconstrucción. El estado en el que se encuentran los edificios esta actualizado a marzo de 2021, por lo que en los próximos meses o años, la información contenida en esta tesis cambiará.

De lo anterior, se encontró que 104 edificios (44%) ya concluyeron su obra de rehabilitación, en proceso de obra se encuentran 57 inmuebles (24%), el resto de los edificios se encuentran en etapas previas al comienzo de las obras, siendo que 60 edificios (26%) están en proyecto y 13 (6%) están en proceso administrativo.

De los 346 edificios, se identificaron 269 inmuebles, de 4 a 14 niveles de altura, registrados en la base de datos del II-UNAM. De los cuales, 59 edificios (21.93%) presentaron daños menores, 97 (36.06%) daños intermedios y 113 (42.01%) daños graves. Asimismo, se observó sus patologías y, los daños estructurales y no estructurales que presentaron. De nuevo las patologías con más presencia fueron la irregularidad en planta con 186 edificios (69%), la planta baja débil con 172 (64%), el efecto de esquina con 52 (19%) y el golpeteo con 50 (19%). Mientras que 180 edificios presentaron daños estructurales y 222 daños no estructurales.

Los objetivos planteados al inicio de la tesis se cumplieron, ya que lo anterior ha sido un análisis de las características estructurales y de los daños de los edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017, lo que permite tener un panorama general de la complejidad de la catástrofe que se vivió y la importancia de conocer qué pasó después del evento sísmico. También, hay que considerar el tamaño poblacional de la Ciudad de México y, por lo tanto, la cantidad de construcciones que en ella existen; así que se concluye que aún existen miles de edificios con daños, incluso desde 1985, sin cuantificar o censar, que siguen vulnerables y sin reparación alguna.

La actividad sísmica del país ha dejado grandes lecciones a la sociedad mexicana, principalmente a la erradicada en la Ciudad de México. Los sismos de 1985 y 2017 han sido un claro ejemplo de la vulnerabilidad en la que se encuentra la ciudad. La academia, a través de importantes estudios científicos, continúa aportando los conocimientos necesarios para entender los efectos que la actividad sísmica produce en el antiguo lago, así como las herramientas para diseñar y construir mejores edificios, resistentes y funcionales.

El Proceso de Reconstrucción es un fin necesario que permite reestablecer la seguridad estructural de la infraestructura y en donde se efectúan las acciones pertinentes para garantizar la seguridad de los damnificados y de la ciudadanía. Sin embargo, el actual proceso ha estado lleno de irregularidades que no permiten garantizar que la Ciudad de México esté recuperándose de lo sucedido y a la vez esté preparándose para un nuevo evento sísmico de mayor magnitud que requiera el esfuerzo de todos.

A pesar de los grandes esfuerzos que se han hecho en los últimos años para tener un censo verificado de daños, una adecuada intervención estructural a los edificios y un esfuerzo de garantizar los derechos de los damnificados, aún quedan pendientes que requieren de un trabajo multidisciplinario, constante, de largo plazo y que tenga una visión de la ciudad como un ente único que se tiene que cuidar, que traspase generaciones y logre el bien común. Es necesario recordar las experiencias nacionales, como la de 1985, y aprender de las experiencias internacionales que sirvan de ejemplo para preparar a la Ciudad de México ante una nueva catástrofe. El objetivo debe ser construir, reconstruir y rehabilitar edificios más seguros y resistentes para construir una ciudad resiliente, y no debe ser el de presentar cifras y rehabilitar cientos de edificios y construir miles de casas por cumplir.

Ante la amenaza de un sismo de mayor magnitud, como el esperado de la Brecha de Guerrero, la Ciudad de México debe ser consciente de que su futuro es sísmico y ante ello lo mejor que se puede hacer es prevenir y preparar, por lo que es necesario que se planteen políticas públicas de largo plazo, ajenas a ideologías o intereses políticos, estableciendo los protocolos y mecanismos de respuesta adecuados y dirigidos a los ciudadanos y autoridades correspondientes, respetando las leyes, reglamentos y normas para el adecuado diseño de los edificios, exigiendo mejores prácticas en la industria de la construcción, erradicando la

corrupción en el sector inmobiliario, y realizando acciones de resiliencia y protección de los derechos de los damnificados.

REFERENCIAS

- Acevedo, A. B. (2012). Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 (17), pp. 57-70.
- Asteris, P. G., Tsaris, A. K., Cavaleri, L., Repapis, C. C., Papalou, A., Di Trapani, F. y Karypidis, D. F. (2015). Prediction of the Fundamental Period of Infilled RC Frame Structures Using Artificial Neural Networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*.
- Astorga, A. y Rivero, P. (2009). *Patologías en las edificaciones, Módulo III-Sección IV*. Mérida, Venezuela: Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos.
- Berrón, R., Pacheco, M. A., Valencia, N. y Aguilar, P. (2018). Análisis de las edificaciones afectadas en la Ciudad de México por el sismo del 19 de septiembre de 2017 dictaminadas por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones, *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Campeche, México.
- Bonett, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgos sísmicos de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Buendía, L. M. y Reinoso, E. (2019a). Análisis de los daños en viviendas y edificios comerciales durante la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre de 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica*, ISSN-0185-092X, ISSN-2395-8251, 98, pp. 77-94.
- Buendía, L. M. y Reinoso, E. (2019b). Patologías estructurales. *Revista Mexicana de la Construcción*, (637), pp. 50-56.
- Carreño, M. L., Cardona, O. D. y Barbat, A. H. (2005). *Evaluación “ex – post” del estado de daño en los edificios afectados por un terremoto*. Madrid, España: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- CartoCrítica (2019). Mapa Ciudadanía 19s CDMX. Recuperado de <https://cartocritica.giscloud.com/map/934944/>

Centro Nacional de Prevención de Desastres (2016). Evaluación de la seguridad estructural de edificios. Recuperado de http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/EvaluacionEstructuras_.pdf

Crisafulli, F. y Villafañe, E. (2002). *Guía de estudio, espectros de respuesta y de diseño*. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

Cruz, V. M., Krishna, S. y Ordaz, M. (2017). ¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México? *Ciencia, UNAM*.

De Cusa, J. (2002). *Derribos y demoliciones*. Barcelona, España: Grupo Editorial Ceac.

Designing Buildings (2020). Explosives. Recuperado de <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Explosives>

Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2019a). Demoler. Recuperado de <https://dle.rae.es/?w=demoler>

Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2019b). Derribar. Recuperado de <https://dle.rae.es/?w=derribar>

Domínguez, M. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8 (2), pp. 1-13.

Durán, M. (2018, 4 junio). Ganonas, las empresas de demolición. *El Herald de México*. Recuperado de <https://heraldodemexico.com.mx/cdmx/huele-mal-la-reconstruccion-2/>

Emmitt, S. y Gorse, C. (2014). *Barry's advanced construction of buildings* (3a ed.). Oxford, Reino Unido: John Wiley & Sons.

ERN (2017). Visualizador de daños de sismos históricos. Recuperado de <https://serv.ern.com.mx/VisualizadorERN>

Espinosa, J. M., Camarillo, L. y Cuéllar, A. (2018). Los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017. Una visión desde el monitoreo acelerométrico. *IC Ingeniería Civil*, (584), pp. 14-16.

Feriche, M. (1994). *Daños producidos por terremotos*. Granada, España: Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos.

Gallego Silva, M. (2011, mayo). El concreto y los terremotos. *Construcción y tecnología en concreto*. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/May11/artingenieria.htm>

Galvis, F., Miranda, E., Heresi, P., Dávalos, H. y Silos, J. R. (2017). *Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake*. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.

Gama, A., Juárez, H. y Arroyo, R. (2012). Avances recientes en las metodologías para la evaluación estructural de edificaciones típicas, *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Acapulco, México.

Gamboa, J. y Revah, J. A. (1990). Reconstrucción y política urbana en la Ciudad de México. *Foro Internacional*, 30(4), pp. 677-694.

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2017a). Gaceta Oficial del Gobierno de la Ciudad de México. Normas para la Rehabilitación Sísmica de edificios de concreto dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017.

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2017b). Secretaría de Obras y Servicios. Zona sur-oriente 19S. Recuperado de <https://www.obras.cdmx.gob.mx/proyectos/reconstruccion-cdmx/zonasuroriente-19s>

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019a). Comisión para la Reconstrucción. Este mes iniciarán demoliciones de edificios afectados por el 19s: comisión. Recuperado de <https://www.comisionparalareconstruccion.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/este-mes-iniciaran-demoliciones-de-edificios-afectados-por-el-19s-comision>

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019b). Gaceta Oficial del Gobierno de la Ciudad de México. Modificación al Plan Integral para la Reconstrucción de la Ciudad de México.

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019c). Portal para la Reconstrucción. Comisión para la Reconstrucción. Avance de los procesos de rehabilitación. Recuperado de https://www.reconstruccion.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transparencia/Multifamiliar/Calendarios%20de%20Obra/3.%20AVANCE%20REHABILITACION_MAYO2019.pdf

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019d). Portal para la Reconstrucción. Comisión para la Reconstrucción. Base de datos de Reconstrucción CDMX. Recuperado de <https://reconstruccion.cdmx.gob.mx/>

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019e). Portal para la Reconstrucción. Comisión para la Reconstrucción. Proceso para la rehabilitación de inmuebles multifamiliares. Recuperado de <https://reconstruccion.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Rehabilitaci%C3%B3n%20de%20vivienda%20multifamililar.pdf>

GCDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2019f). Secretaría de Obras y Servicios. Reconstrucción CDMX. Demoliciones 19S. Recuperado de <https://www.obras.cdmx.gob.mx/proyectos/demolicionesS19>

Getty Images (2019). Wrecking ball crane. Recuperado de <https://www.gettyimages.com.mx/fotos/wrecking-ball-crane?assettype=image&phrase=wrecking%20ball%20crane&sort=mostpopular&license=rf,rm>

Gómez, F. (2017, 2 octubre). Análisis a Fondo: Olivia Corral (PRD), ¿Asesina? *Índice Político*. Recuperado de <https://indicepolitico.com/analisis-a-fondo-olivia-corrall-prd-asesina/>

Gutiérrez, C. A., Ramírez, A. y Reyes, A. B. (2006). Integración de información para la estimación del peligro sísmico. En Centro Nacional de Prevención de Desastres (Ed.), *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos* (pp. 13-121). Ciudad de México, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

HERCAL (2020). Derribos mecánicos. Recuperado de <https://hercal.es/derribos-mecanicos/>

Iglesias, J., Robles, F., De la Cera, J. y González, O. M. (1985). *Reparación de estructuras de concreto y mampostería*. Ciudad de México, México.

Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República (2017). Notas estratégicas. Recuento de los daños 7S y 19S: a un mes de la tragedia.

Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2011). ¿Qué es el daño sísmico estructural? Recuperado de <http://www.lis.ucr.ac.cr/25>

Lauritzen, E. K. y Petersen, M. B. (2004). Demolition of damage structures. En De Pauw, C. y Lauritzen, E. K. (Eds.), *Disaster Planning, Structural Assessment, Demolition and Recycling* (2a ed., pp. 99-131). Londres, Reino Unido: Taylor & Francis.

Martínez, F. (2013). XFMA. Estructuras sismoresistentes. Análisis modal espectral. Capítulo 2. Recuperado de <https://xfma.wordpress.com/2013/02/19/estructuras-sismoresistentes-analisis-modal-espectral-capitulo-2/>

Martínez, Y. (2019). *Rehabilitación sísmica por desempeño de edificios de planta baja flexible* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Navarro, C. (2019, 5 abril). Investigan costos en demolición. *El Heraldo de México*. Recuperado de <https://heraldodemexico.com.mx/cdmx/investigan-costos-en-demolicion/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2013). *Estudio de la OCDE sobre el Sistema Nacional de Protección Civil en México*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200210-es>

Orozco, V. y Reinoso, E. (2007). Revisión a 50 años de los daños ocasionados en la Ciudad de México por el sismo del 28 de julio de 1957 con ayuda de investigaciones recientes y sistemas de información geográfica. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (76), pp. 61-87.

Pantoja, S. (2020, 8 febrero). Entregan, incompletas, las obras de rehabilitación del Multifamiliar Tlalpan. *Proceso*. Recuperado de <https://www.proceso.com.mx/617316/entregan-incompletas-las-obras-de-rehabilitacion-del-multifamiliar-tlalpan>

Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J. y Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Salud Pública de México*, 60, pp. S41-S51.

Polese, M., Di Ludovico, M. y Prota, A. (2018). Post-earthquake reconstruction: a study on the factors influencing demolition decisions after 2009 L'Aquila earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (105), pp. 139-149.

Quinde, P. y Reinoso, E. (2018). *Spectral ratios, acceleration and hysteretic energy spectra for the Mexico earthquake of September 19, 2017*. Sometido a Geofísica Internacional.

Red Acelerográfica de la Ciudad de México (2019). Centro de Instrumentación y Registro Sísmico. Búsqueda de registros. Recuperado de http://www.cires.org.mx/registro_es.php

Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería de la UNAM (2019). Base de datos de registros acelerográficos de la RAII-UNAM. Recuperado de <https://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/>

Rodríguez, V. (2004). Introducción a la patología en la edificación. En Rodríguez, V. (Ed.), *Manual de patología de la edificación* (pp. 6-26). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Salazar, P. (2019, 4 abril). Inflan 460% pagos por demolición. *El Heraldo de México*. Recuperado de <https://heraldodemexico.com.mx/cdmx/inflan-460-pagos-por-demolicion/>

Servicio Sismológico Nacional (2017). Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1).

Suárez, G. (2017, 19 septiembre). Colapsa edificio en Emiliano Zapata por sismo en CDMX. *El Universal*. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/colapsa-edificio-en-emiliano-zapata-por-sismo-en-cdmx>

Velarde, G. (2017, 17 octubre). Reconstrucción después de la tragedia, las lecciones del sismo de Chile. *Nexos*. Recuperado de <https://labrujula.nexos.com.mx/?p=1514>

Zobin, V. (2004). *Los terremotos y sus peligros: ¿Cómo sobrevivir a ellos?* Colima, México: Universidad de Colima.