



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTADÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DE
VIVIENDAS ANTE EL SISMO DEL 19 DE
SEPTIEMBRE DE 2017 Mw7.1 EN LA CIUDAD DE
MÉXICO - DAÑO MENOR PREVIO VS DAÑO
MAYOR PREVIO REHABILITADAS**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Civil

P R E S E N T A N

Leslie Amairani García Salazar

Lidia Clarissa Romero Espinoza

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Dedicado a:

A mis padres, por tantos sacrificios, por todas las desveladas, todo el trabajo y amor que hicieron esto posible.

A mi hermana Sughey, mi compañera de vida, por sus innumerables consejos, por aguantar y acompañarme en este camino.

A Uriel, por todo su amor, su paciencia y su apoyo durante toda la carrera.

A mi mejor amiga, Lidia. Por haberme dado los mejores años de la carrera a su lado y haber concluido este trabajo a mi lado.

Leslie G.

A Johanna quien fue mi mayor impulso para lograr esta meta, demostrándome su amor incondicional y su apoyo en todo momento.

A Jorge, mi compañero de la vida quien con su amor y esfuerzo me apoyo hasta el final.

A mis padres, por su comprensión y trabajo que hicieron que fuera posible.

A mis hermanos, quienes me apoyaron dándome consejos y su apoyo incondicional.

A mi amiga del alma, Leslie, por permitirme ser parte de su vida y quién me demostró lo que es una verdadera amistad.

Lidia R.

Agradecimientos

Nos faltan páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial nuestros padres que con su esfuerzo y dedicación nos ayudaron a culminar nuestra carrera universitaria y nos dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

De igual forma, agradecemos infinitamente a nuestro Director de Tesis el Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez, por la confianza depositada en nosotras para la realización de esta investigación, así como sus consejos, enseñanzas y apoyo con los cuales hoy podemos culminar este trabajo.

Asimismo, agradecemos a la Facultad de Ingeniería y a aquellos profesores que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo motivaron a desarrollarnos como persona y profesionalmente.

Al Instituto de Ingeniería por brindarnos el apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Antecedentes	4
Objetivos	5
Alcances y limitaciones	5
I. MARCO TEÓRICO	7
II. METODOLOGÍA CONSIDERADA	21
III. MUESTRA 1: Viviendas con daño menor después de 1985	22
3.1. Descripción general de la Muestra 1	22
3.2. Estadísticas de vivienda asociadas al periodo dominante del terreno	25
3.3. Inspección de banqueta – Características básicas de los edificios	27
3.4. Inspección de banqueta – Daños observados	29
3.5. Descripción de daños en 10 edificios por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1	34
3.5.1. Descripción de daños en edificio CUA-36 – Riesgo Alto	35
3.5.2. Descripción de daños en edificio BJ-28 – Riesgo Alto	36
3.5.3. Descripción de daños en edificio CUA-133 – Riesgo Alto	38
3.5.4. Descripción de daños en edificio BJ-57 – Riesgo Alto	39
3.5.5. Descripción de daños en edificio CUA-236 – Riesgo Alto	41
3.5.6. Descripción de daños en edificio CUA-245 – Riesgo Alto	43
3.5.7. Descripción de daños en edificio CUA-17 – Riesgo Alto de Colapso	44
3.5.8. Descripción de daños en edificio CUA-68 – Riesgo Alto de Colapso	47
3.5.9. Descripción de daños en edificio BJ-23 – Riesgo Alto de Colapso	49
3.5.10. Descripción de daños en edificio CUA-94 – Riesgo Alto de Colapso	51
3.6. Descripción edificio colapsado durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1	53
IV. MUESTRA 2: Viviendas con daño mayor después de 1985	54
4.1. Descripción general de la Muestra 2	54
4.2. Estadísticas de vivienda asociadas al periodo dominante del terreno	57
4.3. Inspección de banqueta – Características básicas de los edificios	59
4.4. Inspección de banqueta – Daños observados	61
4.5. Descripción de daños en 10 edificios por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1	67
4.5.1. Descripción de daños en edificio CUA-22 – Riesgo Alto	68

4.5.2. Descripción de daños en edificio CUA-59 – Riesgo Alto	71
4.5.3. Descripción de daños en edificio CUA-135 – Riesgo Alto	73
4.5.4. Descripción de daños en edificio CUA-136 – Riesgo Alto	75
4.5.5. Descripción de daños en edificio BJ-42 – Riesgo Medio	77
4.5.6. Descripción de daños en edificio CUA-202 - Riesgo Alto	80
4.5.7. Descripción de daños en edificio CUA-19 – Demolición	82
4.5.8. Descripción de daños en edificio CUA-142 - Demolición	85
4.5.9. Descripción de daños en edificio BJ-33 – Demolición	87
4.5.10. Descripción de daños en edificio COY-12 –Demolición	88
V. COMPARACIÓN ENTRE MUESTRAS 1 Y 2	91
5.1. Tamaño de las muestras	91
5.2. Caracterización de entrada sísmica	93
5.3. Estadísticas de intensidades obtenidas	95
5.4. Estadística y definición de clases	97
5.5. Estadística de los estados de daño (DS)	99
5.6. Estadísticas de las principales características estructurales	101
Por número de niveles	101
Por estado de daño	106
Por cantidad y para cada estado de daño	108
5.7. Curvas de fragilidad	111
5.7.1. Curvas de fragilidad para la clase C3 – 6 a 10 niveles	111
VI. RESULTADOS	113
6.1. Observaciones generales de las muestras	113
6.2. Observaciones a partir de la comparación entre muestras	113
6.3. Discusión	114
VII. CONCLUSIONES	116
REFERENCIAS	118
ANEXO A	122
ANEXO B	126

RESUMEN

Esta tesis revisa la vulnerabilidad sísmica de viviendas que sufrieron daño severo durante el gran sismo de 1985 en la Ciudad de México pero que fueron sísmicamente rehabilitadas para soportar grandes eventos; también se estudia la vulnerabilidad sísmica de edificios similares (esto es, edificios de vivienda) que fueron ligeramente dañados durante el sismo de 1985 y en los cuales se llevaron a cabo reparaciones menores.

Asimismo, este estudio explora un aparente comportamiento paradójico observado durante el gran sismo que azotó a la Ciudad de México en el 2017: los edificios sísmicamente rehabilitados después del evento de 1985 parecen ser más vulnerables que su contraparte no rehabilitada. Aunque los edificios rehabilitados sufrieron daños severos durante el sismo de 1985, mientras que los no rehabilitados no (estos solamente presentaron daño ligero), se supondría que los primeros sean capaces de soportar grandes sismos después de las acciones de rehabilitación. Esta paradoja se explora en el presente estudio utilizando datos empíricos y herramientas de análisis.

ABSTRACT

This thesis revises the seismic vulnerability of dwellings which suffered severe damage during the large 1985 earthquake in Mexico City but that were seismically retrofitted to withstand large events; it also investigates the seismic vulnerability of similar buildings (i.e., dwellings) which were lightly damaged during the 1985 earthquake and in which minor repairs were carried out.

Likewise, the study explores an apparent paradoxical behavior observed during a major earthquake which stroke Mexico City in 2017: the seismically-retrofitted buildings after the 1985 event seem to be more vulnerable than the non-retrofitted counterpart. Although the retrofitted buildings were severely damaged during the 1985 earthquake, while the non-retrofitted ones were not (they only presented lightly damage), the former were supposedly able to withstand large earthquakes after the strengthening actions. This paradox is explored in the present study using empirical data and analytical tools.

INTRODUCCIÓN

Los sismos en la Ciudad de México en las últimas tres décadas han demostrado la alta vulnerabilidad sísmica en los edificios de vivienda existentes en la ciudad. Un ejemplo de esto se pudo observar en lo ocurrido durante el sismo del 19 de septiembre de 1985 (Mw8.1). Este sismo superó en intensidad lo que se contemplaba en ese momento en los reglamentos de construcción para la Ciudad de México. Como consecuencia de esto, 7,400 edificios se vieron afectados, incluyendo 265 edificios colapsados y 775 edificios que fueron severamente dañados durante el sismo (Meli, 1986). En otras fuentes se puede consultar que aproximadamente el 65% de los edificios dañados en ese entonces corresponden a edificaciones de uso habitacional de entre 6 y 12 niveles (AMIS, 1986). Sin embargo, la información que se tiene acerca de los datos sobre las viviendas dañadas hace más de 30 años nunca quedó totalmente clara y la cantidad de damnificados fue tan grande que todavía en el 2017 se entregaron viviendas a personas afectadas de aquel suceso. Esto puede significar que más de la mitad de las construcciones dañadas a causa del sismo de 1985 eran de uso habitacional. El número de muertes se estimó entre 10,000 y 15,000 (Astiz *et al.*, 1987). Acorde a Rosenbluth y Meli (1986), la gran intensidad sísmica generó dudas acerca de la principal causa del daño estructural; la idea general que sobresalió era que las disposiciones de los reglamentos (los reglamentos de 1957 y 1979) no eran lo suficientemente conservadoras como para soportar las grandes intensidades del sismo de 1985.

Otro ejemplo de la alta vulnerabilidad sísmica en las estructuras de la Ciudad de México se observó con en el sismo del 19 de septiembre de 2017 (Mw7.1). Es importante aclarar que este sismo no superó en intensidades lo que estaba contemplado en el reglamento de construcciones (los reglamentos de 1987 o 2004) para la Ciudad de México. Sin embargo, 38 edificios de diversos niveles colapsaron (reportes indican que más del 60% de estos correspondían a edificios de vivienda y que el 91% de los edificios colapsados fueron construidos antes de 1985 (IBD, 2017), los cuales eran de 2 a 8 niveles), cientos de estos se dañaron (por ejemplo, hubieron 3,393 viviendas dañadas tan solo en la Ciudad de México y un 40% de estas se estimaron con daños totales, CDMX 2018) y se perdieron varias decenas de vidas humanas (se estima que 228 personas fallecieron en la Ciudad de México).

Según las estadísticas obtenidas a partir de los daños del sismo del 2017 y presentadas en este estudio, se indica que los edificios construidos después del reglamento de 1985 probablemente se comportaron mejor que aquellos que se construyeron durante los años previos a éste. Pero considerando el gran número de edificios dañados y, en particular, de viviendas afectadas, este sismo enseña nuevas lecciones. Una de estas, que se mostrará en esta tesis, es que acorde a las estadísticas, las viviendas construidas antes de la publicación del reglamento de 1985 que sufrieron daños menores después del sismo del 19 de septiembre de 1985 podrían resultar ser menos vulnerables que aquellas viviendas que presentaron daño mayor después de 1985 y que fueron rehabilitadas en los años posteriores en la Ciudad de México. Cabe mencionar que estas últimas deberían haber sido rehabilitadas de tal manera que su capacidad fuera restituida a la original, y

que cumplieran con la regulación de emergencia o los reglamentos posteriores (por ejemplo, treinta días después del sismo de 1985 se emitió un nuevo Reglamento de Emergencia que reemplazó el reglamento de 1976 y hasta dos años después se emitió el reglamento de 1987).

Lo sorprendente de todo, y contrario a lo que se podría pensar, es que cuando una vivienda dañada por un sismo ha sido sísmicamente rehabilitada considerando las nuevas disposiciones, tiempo después el edificio debería considerarse como nuevo o al menos como seguro y habitable, lo cual puede no ser cierto. Tampoco es el caso para las viviendas que sufrieron daños menores, en el que se podría creer que estas están en la posibilidad de soportar otro sismo con daños menores previos y considerando solo algunas reparaciones (incluso si las viviendas no fueron modificadas para cumplir con el nuevo reglamento emitido), ya que sobrevivieron al sismo anterior, lo cual tampoco tiene por qué ser verdad.

Acorde a lo anterior, se puede observar que las edificaciones destinadas a vivienda, durante los sismos (por ejemplo, los sismos de 1985 y 2017), son las edificaciones que resultan más afectadas, además de que representan un valor significativo en la cantidad de edificios colapsados; tanto en el sismo del 2017 como en el de 1985. De las viviendas que fueron rehabilitadas después del sismo de 1985, gran parte de ellas actualmente cuentan con un alto deterioro físico, debido a que una vez que fueron entregadas no se les dio un mantenimiento apropiado. Por otro lado, las modificaciones realizadas en ese entonces en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal facilitaron la reconstrucción y/o rehabilitación de viviendas, disminuyendo los estándares de calidad. Sin embargo, surgen algunas preguntas: ¿las viviendas rehabilitadas deberían comportarse mejor que aquellas que no se rehabilitaron pero que tampoco sufrieron daños mayores después de 1985?, ¿las viviendas que no se reforzaron, así como las que sí se rehabilitaron después del sismo de 1985, son seguras de soportar un próximo gran sismo?, ¿cómo se comportaron estas viviendas rehabilitadas y no rehabilitadas ante el sismo del 2017?, ¿un edificio de vivienda rehabilitado puede tener una vida útil como la de un edificio “nuevo”?, ¿qué consecuencias conlleva el hecho de rehabilitar un edificio de vivienda? y ¿por qué el número de daños o afectaciones es mayor en el sector de vivienda?

Ante lo antes expuesto, es importante conocer el comportamiento que presentaron aquellas viviendas que sufrieron daño menor y daño mayor, donde estas últimas fueron rehabilitadas, después de los sismos de 1985, ante otro evento sísmico de gran intensidad como lo fue el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

En esta tesis se analizaron dos muestras georreferenciadas de viviendas estudiadas después del sismo de Morelos-Puebla 2017. La primera muestra consiste en viviendas que sufrieron daños menores debido al sismo del 19 de septiembre de 1985 (Mw8.1). La segunda muestra contiene viviendas que sufrieron daños severos después del sismo de 1985 y que fueron rehabilitadas y/o reforzadas estructuralmente. Todos los edificios están ubicados en la Ciudad de México.

Antecedentes

En la historia moderna de la Ciudad de México, los sismos registrados que han ocasionado los mayores daños a las construcciones han sido los de 1985 y 2017. El sismo de 1985 (Mw8.1) rebasó ampliamente las expectativas reglamentarias para el diseño y construcción de edificaciones, especialmente en la Ciudad de México, lo cual, junto con la gran cantidad de pérdidas humanas y materiales, motivó a la realización revisiones y modificaciones en las disposiciones con el objetivo de aprovechar las enseñanzas de lo ocurrido y evitar una situación similar en un futuro. Aunque el reglamento de 1976 fue reconocido en su época, los sismos de 1985 aceleraron sus modificaciones, obligando a presentar en octubre del mismo año unas normas de emergencia que debían emplearse en los proyectos de reparación de las construcciones dañadas y en las nuevas, mientras se emitía el nuevo reglamento (Vázquez, 1997).

Acorde a Ordaz *et al.* (1994), después de los sismos de 1985 se realizaron numerosos esfuerzos por aprender las nuevas lecciones que la naturaleza había ido enseñando a lo largo de los años y al paso de cada nuevo sismo, permitiendo mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones. También se iniciaron en ese entonces diversos proyectos de investigación, cuyo objetivo era entender las causas de los daños provocados por los sismos en las construcciones de la Ciudad de México. Por ejemplo, pocos días después del sismo de 1985 se llevaron a cabo levantamientos de daños en algunas edificaciones (Meli, 1986; Fundación ICA, 1988) y posteriormente el Departamento del Distrito Federal preparó un levantamiento más detallado (DDF, 1988). Se investigaron también las causas de los daños y el desempeño de diferentes tipos de edificios (Rosenblueth y Meli, 1986), y se estudió detalladamente el comportamiento de algunos edificios específicos (Meli y Ávila, 1989). Los resultados de estas y otras investigaciones dieron lugar a cambios en el Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal de ese tiempo (ver, por ejemplo, Gómez y García-Ranz, 1988; Rosenblueth *et al.*, 1989).

De la misma forma, así como se emprendieron muchos estudios, después de los sismos de 1985, se emprendió la tarea de reforzar todas las estructuras dañadas que estaban en condiciones de poder ser recuperadas. La mayoría de estas construcciones se repararon de acuerdo al Reglamento de 1987, lo cual implicaba que se realizaran modificaciones severas en su estructura (Vázquez, 1997).

Por otro lado, hace no mucho tiempo atrás, durante el mes de septiembre de 2017, dos sismos sacudieron la Ciudad de México. El primero ocurrido el día 7 (Mw8.2), mientras que el segundo tuvo lugar el 19 de septiembre un par de horas después del simulacro en conmemoración al aniversario del sismo de 1985 en la ciudad. El segundo fue un sismo intenso de falla normal y profundidad intermedia con magnitud Mw7.1, ubicado en el límite de los estados de Puebla y Morelos, a 120 km de la Ciudad de México (18.40° latitud N y -98.72° longitud W) y con profundidad de 57 km (SSN 2017). Para el mes de octubre de 2017, se estimaron un total 369 decesos en seis entidades afectadas, de los cuáles 228 de las personas fallecidas correspondían a la Ciudad de México. Asimismo, el daño en 73 mil inmuebles, incluyendo 3,393 viviendas (40% pérdida total) y 973 escuelas (CDMX 2018).

Objetivos

- Presentar las estadísticas del comportamiento de viviendas (esto es, viviendas que sufrieron daño menor y no fueron rehabilitadas y aquellas que sufrieron daño severo y fueron rehabilitadas después del sismo de 1985) observado durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1 en la Ciudad de México.
- Determinar las curvas de fragilidad que describan de manera cuantitativa la probabilidad de que se presente cierto nivel de daño en los edificios de cada una de las muestras, obtenidas a partir de la base de datos de los edificios de estudio.
- Explorar la singularidad del hecho de que los edificios de vivienda que sufrieron daño severo y fueron rehabilitados después de 1985 son más vulnerables que aquellos que solamente presentaron daño menor y no fueron rehabilitados después de 1985.

Alcances y limitaciones

- La información de los edificios del estudio (ubicación, dirección, nivel de daño, número de niveles y uso de suelo después de los sismos de 1985) se obtuvo a partir de una base de datos proporcionada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Se supuso que todos los edificios considerados para la Muestra 1 de estudio, que sufrieron daño menor debido a los sismos de 1985, se sometieron únicamente a reparaciones menores durante los años posteriores, sin implicar propiamente un proyecto de rehabilitación estructural y/o reforzamiento.
- Se supuso que todos los edificios considerados para la Muestra 2 de estudio, que sufrieron daño severo debido a los sismos de 1985, se sometieron a un proyecto de rehabilitación estructural y/o reforzamiento en los años posteriores debido a la gravedad de su estado en ese entonces, y considerando que siguen en uso después de más de 30 años.
- Antes de realizar las inspecciones de banqueta en los edificios de la Muestra 1, se corroboró que el uso de suelo de cada edificio siguiera siendo habitacional por medio de la aplicación de Google Street View.
- Las inspecciones de banqueta se limitaron a observar cada uno de los edificios únicamente desde su exterior y en las caras visibles del espectador, es decir que, aunque la inspección fue presencial, muchos de los daños interiores que se pudieron haber presentado debido al sismo no fueron percibidos en ese momento.
- La definición de los estados de daño (*DS*) para cada uno de los edificios se determinó con base en los daños observados durante la inspección de banqueta y la información recabada a partir de los documentos expedidos a partir de revisiones más profundas (por ejemplo, dictámenes y formatos de evaluación post-sísmica) obtenidos en el sitio web de la Ciudad de México destinado a la publicación y difusión de esta información (<https://www.plataforma.cdmx.gob.mx/>).

- Para los edificios que se encontraban demolidos al momento de la inspección, y de los cuales no se tenía acceso a ningún documento aclaratorio, se recurrió a observar sus características previas al sismo por medio de la aplicación de Google Street View.
- No se contó con la ayuda de información más detallada sobre todas las estructuras en estudio, tales como planos estructurales y arquitectónicos, dibujos y notas, etc., para la definición del sistema estructural o de las características estructurales de irregularidad, tales como planta baja débil, columna corta, entre otras.
- La clasificación de la mayoría de los edificios de ambas muestras catalogados como nuevos se determinó con base en los datos que se tenían del número de niveles de 1985 y, básicamente, de su estado físico, así como del uso de suelo al momento de la inspección.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Características de irregularidad

1.1.1 Planta baja débil

Este tipo de característica se genera cuando existe una discontinuidad de resistencia y rigidez entre la estructura vertical con la superestructura. Provocando que los elementos estructurales verticales (tales como muros de mampostería o de concreto) lleguen únicamente a niveles superiores en lugar de a la cimentación, con el fin de crear mayor espacio en la planta baja comúnmente utilizados como estacionamientos.

1.1.2 Golpeteo

El efecto de golpeteo se observa cuando las edificaciones adyacentes no tienen las separaciones adecuadas, provocando que al presentarse movimientos sísmicos el impacto genere el choque entre ambas estructuras. La distancia que debe existir entre ambas edificaciones estará en función de la altura del edificio y de su rigidez, debido a que, entre más alto sea el edificio posee menor rigidez, por lo cual requiere de mayor espacio para poder desplazarse.

1.1.3 Esquina

Una estructura con esta característica, es definida como aquel edificio que se encuentra en esquina con dos fachadas, donde los muros colindantes de las edificaciones adyacentes resultan ser más rígidos y resistentes. Al generarse un sismo de gran intensidad, la diferencia de rigidez entre las fachadas y los muros colindantes producen efectos de torsión y desplazamientos muy diferentes en los elementos de la estructura provocando severos daños (Orozco, 2007).

1.1.4 Columna Corta

Se considera columna corta cuando una columna restringe parcialmente el desplazamiento lateral de la columna con algún elemento rígido (p. ej., muros de mampostería, ventanales) generando una reducción en su altura. Esta característica provoca el aumento de los esfuerzos cortantes, la disminución de la ductilidad en el elemento y el aumento de la rigidez (Beauperthuy, 2016).

1.1.5 Irregularidad en elevación

Un edificio con irregularidad en elevación debe contener al menos dos de las siguientes condiciones:

- La relación entre la altura y la dimensión menor de la base es mayor que 4 (NTC-DS, 2017).
- La relación entre largo y ancho de la base no es mayor que 4 (NTC-DS, 2017)
- El área de alguno de los niveles tiene una dimensión mayor que 110% del nivel de piso inmediato inferior (NTC- DS, 2017).

La irregularidad en elevación aumenta la susceptibilidad al volcamiento e incrementan los esfuerzos en los distintos elementos estructurales.

1.1.6 Irregularidad en planta

Se considera un edificio con irregularidad en planta cuando se presentan las siguientes condiciones:

- La relación de largo a ancho de la base es mayor a 4 (NTC-DS, 2017); por lo cual, en edificios muy alargados los sistemas de piso trabajan como diafragmas horizontales, generando una disminución en la eficiencia de los sistemas resistentes verticales (Tena, 2010).
- Las entrantes que presenta un edificio, es decir, formas en H, U, L, T o I, pueden ocasionar deflexiones en los sistemas de piso, generando una disminución en la resistencia a torsión, es decir, la concentración de los esfuerzos se presenta en la esquina entrante (Arnold *et al.*, 1986).
- Presentación de flexibilidad de diafragma; esto ocurre cuando el edificio tiene escasez de rigidez o resistencia en los diafragmas horizontales, principalmente en edificios alargados (Tena, 2010).

1.2 Tipos de cimentación

Toda edificación de concreto o acero debe desplantarse sobre o bajo una superficie de terreno, por lo cual se necesita de una cimentación adecuada, la cual proporcione seguridad y un comportamiento apropiado. Para ello existen diferentes tipos de cimentación (Rivera, 2019):

- **Zapatas aisladas:** estas son construidas mediante concreto reforzado en forma cuadrada o rectangular con cimientos someros y se utilizan para suelos compresibles de mediana y alta capacidad de carga. Son elementos con un desplante poco profundo y la cual emplean como elementos de cimentación bajo columnas.
- **Zapatas corridas:** se recomienda el uso de este tipo de cimentación para suelos de compresibilidad baja o media, que reciben las cargas mediante los muros. De igual manera, son ocupadas cuando el espacio entre las zapatas aisladas es pequeño, por lo cual se construyen de forma continua resultando ser más económicas.
- **Losa de cimentación:** es ocupada cuando la magnitud para emplear zapatas rebasa más de la mitad del área de proyección. Esta placa cubre la totalidad de la planta, transmitiendo el peso total de la superestructura al subsuelo de apoyo. Son a base de concreto reforzado, rigidizadas con contratraves que permiten reducir los asentamientos diferenciales.
- **Cimentaciones compensadas:** son ocupadas para superestructuras que transmiten cargas de mediana magnitud a suelos de media o alta compresibilidad, resultando la capacidad de

carga baja. Para realizar este tipo de cimentación es ocupado un cajón monolítico de rigidez grande.

Existen diversos tipos de cimentaciones compensadas, de acuerdo al peso de suelo removido, es decir, cuando el peso de suelo removido es el mismo al peso de la estructura la cimentación resulta ser totalmente compensada. Sin embargo, cuando el peso removido es menor o mayor a la estructura el nombre que se da es parcialmente compensada y sobrecompensada, respectivamente.

- **Pilotes de fricción:** este tipo de cimentación transmite la carga al subsuelo mediante la superficie lateral, siendo la carga transmitida en la punta sólo una fracción mínima del total. Este tipo de cimiento profundo es ocupado cuando las capas del subsuelo formadas por arcilla muy blanda, suelos orgánicos y turba o limo y arena en estado suelto, que resultan cercanas a la superficie son muy comprensibles.
- **Pilotes de punta:** todo el peso del edificio es transmitido por la base o punta al estrato de suelo muy resistente y poco comprensible. A pesar de ser ocupados comúnmente en México, este tipo de cimentación tiene diversos inconvenientes, ya que el hundimiento regional provoca fricción negativa en los pilotes haciendo que el edificio emerja. Asimismo, causan daños a edificaciones vecinas que fueron desplantadas sobre la superficie.
- **Pilas:** ésta aguanta una capacidad de carga mayor a los de pilotes, ya que son elementos prismáticos de dimensiones mayores, los cuales son colados mediante una perforación y se apoyan en roca o suelos compactos o duros.

1.3 Sistema de piso

Se refiere a la combinación de elementos estructurales horizontales, losas y vigas, que contribuyen a la transmisión de las cargas hacia los elementos verticales, muros y/o columnas. Además de soportar las cargas gravitacionales de mobiliario y de los usuarios, su función es conectar los elementos estructurales verticales y distribuir entre ellos las fuerzas horizontales generadas por sismo (CENAPRED 2016).

1.4 Tipos de losas

Las losas son elementos estructurales horizontales de grandes dimensiones. Las cuales son primordiales para el funcionamiento de la estructura, estos elementos reciben directamente la carga de algún elemento. Asimismo, las losas separan horizontalmente el espacio vertical, conformando el piso y el techo entre los diferentes niveles.

Existen diversos factores que influyen en la selección del tipo de losa, es decir, que tipo de carga va a soportar, su seguridad contra incendio, aislamiento térmico y acústico, peso propio del

piso, tiempo de construcción, deflexiones mínimas, etc., para ello se presenta la siguiente clasificación (Medina, 2013):

- **Losas planas:** son ocupadas para longitudes no muy largas, así como para cargas ligeras, por lo cual no se incluyen vigas. Proporcionan mayor flexibilidad para la ubicación de columnas y reducen la altura estructural.
- **Losas de concreto armado:** son losas macizas que pueden ser armadas en una o dos direcciones. Para la primera, las losas son apoyadas en vigas que ocupan la dirección más larga, mientras las segundas de igual manera contienen vigas principales en ambos sentidos.
- **Losas reticulares:** son ocupadas principalmente para construcciones con cargas pesadas. En estas losas se emplean casetones para aligerar, por lo cual el espesor de la losa dependerá del tamaño del casetón.
*Las nervaduras son la parte esencial del sistema de losa reticular, ya que es el elemento responsable de la resistencia de la losa, la cual trabaja en dos direcciones. Estas nervaduras son formadas por acero estructural extendido en sentido longitudinal y transversal, los cuales forman una retícula.
- **Lamina acanalada de acero:** es adecuada para pórticos de acero, debido al poco peso y a la facilidad para su montaje y colocación de instalaciones eléctricas, de comunicación, de calefacción, etc. Este tipo de losa no es apropiado para la distribución y resistencia de fuerzas laterales.

1.5 Sistema estructural

Son estructuras que se encuentran conformadas por diversos miembros que soportan a las edificaciones y que tienen la funcionalidad de soportar las cargas que actúan sobre ellas transmitiéndolas al suelo.

El sistema estructural se puede clasificar de la siguiente manera:

- **Estructuras de acero:** son elementos prefabricados en taller, que únicamente se llevan a obra lista para que sean colocados. Este tipo de sistema estructural está conformado por elementos soportantes, como son: columnas, vigas, en perfiles de acero laminado.
- **Estructuras de concreto:** son constituidas por concreto y barras de acero que son utilizadas como refuerzo. La función principal es resistir esfuerzos de compresión y de refuerzos, así como soportar fuerzas de tensión trabajando en conjunto.

1.6 Tipos de muros

Los muros son elementos estructurales, semi-estructurales o arquitectónicos contruidos por diferentes materiales, su función principal en una edificación puede ser como decoración, de carga, asilamiento o separación (Flores *et al.*, 2005). Para ello se clasifican de la siguiente manera:

- **Muros de carga:** estos reciben y soportan las cargas de la estructura, transmitiéndolas a la cimentación mediante esfuerzos de compresión. Pueden ser utilizados en un solo sentido o en dos direcciones, principalmente ocupado como refuerzo sísmico.
- **Muros diafragma:** Se construyen para cerrar el espacio de un marco de acero o concreto enseguida de la construcción del marco, por lo que se encuentran delimitados por vigas y columnas con dimensiones mayores a las del muro; la mampostería puede ser confinada (reforzada o no interiormente), e incluso de piedras naturales.
- **Muros de contención:** soportan los empujes horizontales y laterales que llegue a presentar la estructura. Este tipo de muro se ve expuesto a esfuerzos de flexión.
- **Muros divisorios:** la función principal de estos muros es separación de los espacios, por lo cual no reciben carga alguna más que su propio peso. También se ocupan como aislantes para el ruido, el calor o el frío, así como para la humedad, etc.
- **Muros decorativos:** como su nombre lo dice solo son para decorar un espacio, por lo cual tienen un acabado especial, diseñados con fines estéticos y arquitectónicos.

1.7 Periodo del suelo

Es uno de los indicadores usados para estimar los efectos locales de los suelos al ser sometidos a sollicitaciones sísmicas. Cuando ocurre un sismo, el suelo entra en movimiento generando vibraciones las cuales se transmiten a las edificaciones mediante la cimentación hacia los soportes, teniendo como consecuencia que la estructura se desplace de forma relativa al suelo (Martínez, 2013). Este valor de periodo varía de acuerdo al tipo de suelo en el que se encuentre la estructura.

En muchas ocasiones se han podido asociar estos efectos a los daños observados en edificaciones, debido principalmente al fenómeno de resonancia en el cual tanto el suelo como la estructura oscilan en forma sincronizada y esta última se ve sometida a mayores esfuerzos y desplazamientos, los cuales pueden conducir al colapso.

1.8 Periodo de la estructura

El periodo de una estructura es el tiempo que requiere para completar un ciclo de vibración, es decir, el tiempo transcurrido desde que comenzó su movimiento la estructura hasta recuperar su posición original.

Dado que el periodo de vibración de las edificaciones varía de acuerdo a su número de niveles, para poder relacionar el valor de SA correspondiente al periodo dominante de una estructura, utilizamos una expresión empírica comúnmente utilizada en la Ciudad de México, como:

$$T = 0.1 \cdot N \quad (1.1)$$

donde, N es el número de niveles del edificio.

1.9 Curva de fragilidad

Una función de fragilidad define la probabilidad excedente de un estado de daño $DS \geq ds$ como una función de una medida de intensidad del movimiento en el suelo, IM.

$$P(DS \geq ds|IM) \quad (1.2)$$

Varios autores enfatizaron que los valores espectrales elásticos proporcionan una mejor correlación con los datos de daño empírico que PGA (Singhal y Kiremidjian 1996, Rossetto 2004). Por lo tanto, una vez que se ha establecido el IM y se han evaluado las probabilidades correspondientes, se realiza un análisis de regresión para construir las curvas de fragilidad. Para ello, es necesario definir la forma funcional y la técnica de regresión. A continuación, se presenta una de las principales formas funcionales y técnicas de regresión, que se aplicó a la base de datos. Una de las formas funcionales más ampliamente adoptadas es la función de distribución lognormal acumulada:

$$P(DS \geq ds|IM) = \Phi \left[\frac{1}{\hat{\beta}} \ln \frac{IM}{\hat{\theta}} \right] \quad (1.3)$$

donde Φ es la función de distribución normal estándar acumulada, $\hat{\theta}$ es la media logarítmica y $\hat{\beta}$ es la desviación estándar logarítmica.

Los parámetros $\hat{\theta}$ y $\hat{\beta}$ pueden ser estimados mediante la Estimación de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Estimation, MLE). La MLE busca los valores de los parámetros que tienen mayor probabilidad de haber originado los datos. El método MLE es aplicado a partir de la evaluación del número de edificios con $DS \geq ds(z_j)$ respecto al número total de edificios con ese comportamiento (n_j) para cada conjunto j –ésimo y para cada DS . Por lo tanto, la distribución binomial (a la derecha de Π) da la probabilidad de observar edificios con $DS \geq ds$ para el j –ésimo conjunto:

$$\text{Likelihood} = \prod_{j=1}^m \binom{n_j}{z_j} p_j^{z_j} (1 - p_j)^{n_j - z_j} \quad (1.4)$$

donde Π denota un producto sobre j – valores de 1 a m y $p_j = \Phi \left[\frac{1}{\beta} \ln \frac{x_j}{\theta} \right]$ y x_j son el nivel de intensidad $IM = x_j$. Después, los parámetros de la función de fragilidad se obtienen al maximizar la función de Probabilidad como:

$$\{\hat{\theta}, \hat{\beta}\} = \arg \max_{\theta, \beta} \sum_{j=1}^m \left\{ \ln \binom{n_j}{z_j} + z_j \ln p_j + (n_j - z_j) \ln(1 - p_j) \right\} \quad (1.5)$$

1.10 Estados de daño (*DS*)

Estos se determinaron con base en el formato de evaluación post-sísmica y en las inspecciones de banqueta realizadas para observar los efectos del sismo del 2017 y fueron clasificados seis estados de daño como:

- **Sin daño (*DS0*):** La estructura no presenta ningún daño, esto es, que no fue observado o reportado ningún daño debido al sismo.
- **Daño menor (*DS1*):** Incluye ligeras fisuras en la estructura, muros o muros divisorios y daño local insignificante en columnas y vigas. Esto significa que la estructura es considerada como segura para sus habitantes y su entorno, por lo que una revisión futura del estado de daño no es necesaria para el edificio.
- **Daño medio (*DS2*):** Incluye daño local en columnas, vigas y refuerzos; generalmente implicando una pérdida significativa en su capacidad, la cual debería ser restituida a la original. Sin embargo, en este estado de daño, los elementos no estructurales pueden presentar daño severo. En este caso es recomendable una revisión futura del edificio para certificar que es segura y habitable, así como someterlo a un proyecto de rehabilitación estructural.
- **Daño alto (*DS3*):** Incluye a edificios con daño severo en columnas, pero sin importantes deformaciones permanentes en losas e inclinación no muy significativa. Similar al *DS2*, hay un daño significativo en elementos no estructurales y contenidos. Estas estructuras deber ser apuntaladas. Son consideradas inhabitables debido al riesgo que representan para sus habitantes, por lo que el edificio debe someterse a un proyecto de rehabilitación estructural para seguir con su ocupación.
- **Daño muy alto (*DS4*):** Contario a *DS3*, este estado de daño incluye a los edificios con daño severo en varias columnas, importantes deformaciones permanentes en losas e inclinación significativa. Esto implica que representa graves condiciones de inestabilidad que pone a la vida de personas, edificios contiguos y su entorno en peligro. Además, los costos de rehabilitación podrían resultar ser demasiado altos, por lo que les más recomendable la demolición del edificio.

- **Colapso (DS5):** Implica el colapso total o parcial del edificio durante el evento sísmico.

1.11 Daños no estructurales

Generalmente, los daños en elementos no estructurales se deben a la unión inadecuada de estos elementos con la estructura o una falla de rigidez de la misma. Los daños no estructurales más comunes son (Soto, 2008): a) aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios, b) agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería, c) vidrios rotos, d) desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachadas y e) desprendimiento de plafones, tuberías e instalaciones diversas dañadas.

1.12 Identificación de daños

Es posible observar si los elementos estructurales y no estructurales que componen a las edificaciones tales como muros, columnas o trabes, han sufrido algunos daños a causa del sismo. A continuación, se recaban algunos de los daños que se pueden observar en diversos elementos según el documento “Identificación de los daños estructurales provocados por los sismos” (s.f.):

1.12.1. Daños en muros

Las grietas pueden no ocurrir en el muro y ser únicamente en los aplanados, por lo que se recomienda retirar el acabado en el lugar donde se perciba una cuarteadura y revisar si el daño aparece también en el muro.

- **Muro con grieta horizontal:** si se ubica a la mitad o dentro del tercio medio de su altura es un muro afectado por una sobre carga sísmica que lo obligó a ejercer un esfuerzo de flexión o pandeo, acción para la cual el muro de mampostería no está preparado para resistir y queda en posibilidad de que ante una réplica del sismo pueda colapsar. Ante una situación como la descrita se recomienda que se proceda de inmediato a descargar el muro apuntalando la cubierta o cubiertas que en él se apoyen para posteriormente realizar su demolición y sustitución.
- **Muro con combinación de una grieta diagonal en un sentido y en el otro una grieta que sigue la dirección de las juntas de la mampostería:** en este caso se puede suponer que el muro fue sometido a un esfuerzo cortante alto, y a diferencia del muro que fue sujeto a la flexión no representa peligro de colapso ante una repetición inmediata de otro sismo. Sin embargo, se debe de recomendar su reparación lo más pronto posible.
- **Fisuras que corren diagonalmente a lo largo del muro:** en este caso se produce un esfuerzo de tensión diagonal, generalmente ocasionado por un asentamiento de la construcción por falla del terreno. El asentamiento deberá buscarse en el punto que señale una perpendicular a la dirección de la grieta.

1.12.2. Daño en columnas

Un daño común en las columnas de concreto armado es el desprendimiento del recubrimiento y el pandeo del refuerzo longitudinal, lo cual generalmente es perceptible a la vista. Esta deformación es característica de las columnas largas, es decir, aquellas cuya altura es mayor a diez veces su ancho menor o su diámetro, ya que estas pueden estar sometidas al esfuerzo de flexión o pandeo, causa principal de este daño.

- **Grietas en forma diagonal sobre dos de las caras paralelas de la columna:** si están ubicadas en el tercio medio de su altura esta falla se puede adjudicar a la acción de esfuerzo cortante y es factible de que les suceda a las columnas cortas, o sea, aquellas cuya altura es igual o menor a diez veces su ancho menor o su diámetro.
- **Sucesión de pequeñas grietas paralelas y a todo lo largo de columna:** se puede hablar de un deslizamiento del acero refuerzo, fallando la adherencia de éste con el concreto.

En el caso del daño en las columnas la evaluación será integral y deberá considerarse el porcentaje de columnas dañadas tomando en cuenta la totalidad de ellas en el sistema estructural.

1.12.3. Daño en trabes

Al igual que en las columnas, las fallas en las trabes se pueden distinguir a partir de las grietas, observando su ubicación, dirección y la gravedad del daño que estará en función de su espesor y profundidad. De este modo se puede encontrar un primer tipo de fisuras verticales ubicadas en la parte superior de los cuartos extremos del claro que libra el elemento, o bien, en la parte baja del medio central, inducidas por el esfuerzo de flexión al que fue sujeta la trabe durante el temblor, lo que no soportó y se produjo una deformación plástica.

Cuando en los extremos de las vigas se detectan grietas diagonales, la falla se puede atribuir al esfuerzo cortante sobre la pieza estructural. También las vigas pueden presentar grietas pequeñas, ubicadas de manera paralela, correspondientes con la ubicación del acero de refuerzo estructural, lo que indicaría una falla por adherencia del acero con el concreto.

1.12.4. Daño en unión trabe-columna

Es común encontrar en la unión entre viga y columna fisuras diagonales, provocadas por esfuerzo cortante. En los sismos de 1985, este tipo de grietas fue frecuente en diversos edificios estructurados a base de marcos de concreto, la razón de este hecho se debe a que la normatividad anterior no exigía que el núcleo de la unión se reforzara para absorber el esfuerzo cortante, es decir, en la unión sólo pasaba el acero de refuerzo tanto de la trabe como de la columna y el centro del núcleo sólo era un macizo de concreto. Actualmente ya se exige que en la unión se coloque refuerzo para resistir el cortante en esa área, lo que se puede hacer prolongando los estribos al interior del nodo.

1.12.5. Daños en el sistema de piso

En una losa de concreto pueden aparecer grietas alrededor de la columna lo cual indica que hubo penetración de ésta en la losa. La penetración no sólo es frecuente en las losas macizas de concreto, sino también en las llamadas losas reticulares, es decir, en aquellas que tienen un sólo peralte y que, por tanto, no tienen trabes de borde, y que en el contacto con la columna tiene un macizo de concreto armado llamado capitel, cuyo peralte es el mismo de toda la losa.

Un tipo de grieta común a la losa maciza de concreto es la que se presenta de forma longitudinal, paralela y cercana a la trabe de apoyo. Esta falla se puede atribuir a un esfuerzo de tensión. La gravedad del daño se estima dependiendo de la dimensión del ancho y profundidad de la grieta, así como de la deformación de la losa.

1.12.6. Daño en conexiones

En la evaluación post-sísmica de un sistema estructural de acero, es importante la inspección de las conexiones entre los elementos estructurales. El mal comportamiento de estas ha sido identificado como causa de la falla del sistema estructural. Una mala soldadura, una defectuosa mano de obra, escasa resistencia de los remaches o tornillos, pueden propiciar el mal comportamiento de la conexión y como consecuencia la falla de los elementos que ésta une. Por lo anterior, es importante iniciar con la revisión de las conexiones de aquellos sistemas estructurales a base de marcos de acero.

1.13 Asentamiento diferencial

Cuando una estructura transmite sus cargas al terreno por medio de la cimentación, se producen deformaciones, conocidas como asentamientos. Estos asentamientos se deben al tipo de suelo en que se encuentra la construcción, así como al contenido de agua que se presenta.

El asentamiento diferencial es presentado en edificaciones que fueron cimentadas sobre suelos blandos, es decir, arcillas o limos de alta plasticidad. Estas son el principal factor de agrietamientos en las edificaciones, debido a que falta la sustentación del subsuelo de apoyo o el mal diseño de la cimentación, generando un movimiento no uniforme en la edificación en su nivel de desplante (Rangel, 2019).

1.14 Desplome

El desplome es generado debido a un giro respecto al eje vertical del edificio provocando la pérdida de verticalidad. Este tipo de falla puede deberse a cambios sustanciales en los materiales.

1.15 Desconchamiento del concreto

Este tipo de falla en las edificaciones después de un sismo es a consecuencia de la adherencia del bloque de unión en las conexiones viga-columna, debido a las condiciones de esfuerzos a las que están sometidas, provocando un deslizamiento entre las varillas o falla de cortante.

1.16 Medidas de rehabilitación

• Relleno de grietas

Esta técnica de rehabilitación es una de las más comunes, consiste en rellenar las grietas de los muros dañados mediante la inyección de resina epóxica o fluidos a base de polímeros o cementos hidráulicos (NTC-DM-2017). La elección del material para el relleno dependerá de la anchura de las grietas; esta técnica permite seguir teniendo en funcionamiento la estructura mientras se efectúa la acción, asimismo mantener su apariencia estética (Ruiz, 2007).

• Reestructuración mediante muros de rigidez de concreto reforzado

Este tipo de rehabilitación es uno de los métodos más utilizados, ya que permite controlar los desplazamientos laterales, reduciendo el daño en el marco, es decir eliminar rigideces excéntricas en el edificio e incrementar su capacidad de carga (Soto, 2008).

Para ello se puede utilizar concreto lanzado o paneles prefabricados, es importante mencionar que únicamente este sistema de rehabilitación puede ser ocupado para estructuras de concreto.

• Encamisado de concreto

Esta técnica de rehabilitación permite incrementar la capacidad sísmica de la estructura, es decir, aumentar la resistencia axial, flexión y cortante, así como la ductilidad y la rigidez de los elementos. Para ello, se aumentaba la sección transversal del elemento a través de un armado el cual rodeaba al mismo mediante acero longitudinal nuevo y estribos, una vez realizado esto se cubría con concreto colado por medio de cimbra o lanzado (Ascencio, 2005).

• Encamisado de acero

De igual manera que con el encamisado de concreto, para el acero se buscaba aumentar las propiedades mecánicas de los elementos estructurales, el cual se podía efectuar por medio de perfiles unidos entre sí con soleras o varillas soldadas, o bien, a base de placas.

Es importante mencionar, que este tipo de encamisado resulta ser más efectivo que al de concreto, debido a que la aplicación es directa y no se necesita una cimbra. Sin embargo, una de las dificultades resultar ser que la resistencia axial y cortante es limitada al prolongar el encamisado a través de la losa, asimismo la ductilidad en la columna se ve afectada (Soto, 2008).

• Contraventeos de acero

Consiste en agregar contraventeos de acero a la estructura existente, lo cuales trabajan como una armadura vertical. Este tipo de rehabilitación tiene como fin proporcionar resistencia lateral y ductilidad, ya que los elementos trabajan a carga axial (Alcocer, 1995). Además, presenta características importantes, algunas de ellas es que no incrementa el peso en la estructura por lo

cual no afecta a la cimentación, la instalación de ellos se hace en miembro existentes, su colocación es rápida, entre otras (Soto, 2008).

- **Conexiones entre elementos existentes**

Para este tipo de rehabilitación, es necesario que los elementos sean diseñados para que ejecuten un comportamiento monolítico y que se asegure la transmisión de fuerzas entre ellos. Para ello, se podrán utilizar anclas, fijadores o pernos adhesivos o de percusión (NTC-DM-2017).

Para el refuerzo entre la conexión losa- muro se utilizan llaves de concreto, en el cual se podría agregar como refuerzo varillas longitudinales, estribos o varillas diagonales que mejoren la transferencia de cortante en una abertura a lo largo de la losa transversal al muro cortante. Asimismo, el concreto de relleno debe de ser de alta resistencia, expansivo y tener cuidado en su compactación (Ascencio, 2005).

- **Marcos de refuerzo de concreto**

A veces es necesario construir sistemas de marcos que sean capaces de resistir fuerzas sísmicas y al mismo tiempo que restrinjan los desplazamientos que podría presentar la estructura antes esos eventos. Para ello, se crean diversas crujías que abarcan a los marcos originales, tanto en sentido vertical como horizontal.

- **Malla y recubrimiento de mortero en muros**

Esta técnica consiste en la colocación de malla de alambre tipo gallinero o electro soldada en la superficie de los muros, la cual será recubierta con mortero de cemento. Las bandas de malla deberán ser ancladas a la mampostería a modo que se alcance la fuerza de diseño (NTC-DM-2017). Esta técnica es empleada comúnmente en la práctica mexicana para la rehabilitación de muros de mampostería confinada o de adobe dañados por un sismo (Ruiz, 2007).

- **Adición de pilotes de fricción**

Los pilotes son elementos que transmiten las cargas estructurales al suelo por medio de su superficie lateral. Estos son hincados en estratos con pocas características mecánicas, evitando que la punta sea apoyada en las capas resistentes subyacentes (Fernández *et al.*, 2015).

Este tipo de método de rehabilitación, es ocupado en la zona de la Ciudad de México donde se presentan fuertes hundimientos regionales, comúnmente en la zona lacustre.

1.17 Reparación

Proceso mediante el cual se restituyen las características estructurales originales de un edificio, o de sus elementos constitutivos, que han sufrido daño durante un evento sísmico (Jumonji, 2001).

1.18 Rehabilitación

Proceso que incluye la reparación y/o refuerzo, por medio del cual una estructura dañada por un sismo recupera sus características de funcionalidad y puede volver a ser usada. En lo que respecta al proyecto de rehabilitación, además de garantizar el buen comportamiento y las características de las estructuras ante una excitación lateral, se deberá observar y analizar la funcionalidad del edificio una vez terminados los trabajos de rehabilitación, así como la factibilidad del procedimiento constructivo, tiempos de ejecución y economía (Jumonji, 2001).

1.19 Refuerzo

Proyecto que se encarga del incremento de la capacidad sismo-resistente original y del mejoramiento de la estructuración respecto a la condición original que tenían antes de la ocurrencia de dicho evento (Iglesias *et al.*, 1985).

1.20 Espectros

Es un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura y en las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento (Crisafulli y Villafañe, 2002).

- ***Espectros de respuesta elástica:*** representan parámetros de respuesta máxima para un sismo determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del sismo 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 sismo.
- ***Espectros de respuesta inelástica:*** son similares a los anteriores, 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 sismo. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en rango plástico.
- ***Espectros de diseño:*** las construcciones no pueden diseñarse para resistir un sismo en particular en una zona dada, puesto que el próximo sismo probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descriptos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismorresistente. Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios sismos, es decir, que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los

sismos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.

1.21 Modelo bayesiano de interpolación espacial y su aplicación a los datos sísmicos registrados en el Valle de México

Pérez-Rocha *et al.* (2009) describe un método para resolver un problema de interpolación espacial, donde los datos son las funciones de transferencia (FTE) empíricas que se han obtenido de los acelerogramas de varios temblores registrados en decenas de sitios en las zonas de terreno firme, transición y lago del valle de México. Además, plantea un esquema estadístico para tratar la interpolación espacial de las funciones de transferencia mediante el uso de las técnicas de regresión bayesiana. La utilidad práctica del enfoque propuesto es que permite cuantificar las amplificaciones dinámicas en sitios donde no hay instrumentos.

El método se basa en hacer una interpolación espacial de las ordenadas espectrales de las FTE descritas en términos de periodos adimensionales. Esta representación consiste en normalizar los periodos de la excitación con respecto al periodo dominante del terreno T_s . Por definición, los máximos de estas funciones se presentan en el periodo adimensional unitario. Para un sitio arbitrario se inicia con la interpolación del periodo dominante del terreno T_s . Para cada abscisa adimensional se calcula la ordenada correspondiente de una función de transferencia a priori FTP que se introduce en el esquema bayesiano para la interpolación de la función de transferencia a posteriori. La FTE objetivo se obtiene al escalar las abscisas de la función a posteriori con T_s .

II. METODOLOGÍA CONSIDERADA

La metodología consiste en analizar: i) Muestra 1 – los edificios de vivienda que presentaron daño menor después de los sismos de 1985 y no fueron rehabilitadas y ii) Muestra 2 – los edificios de vivienda que presentaron daño mayor después de los sismos de 1985 y fueron rehabilitadas en los años posteriores. Esto permitirá verificar el desempeño de esos inmuebles de vivienda durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

Para ello se realizaron las actividades siguientes:

- a) Identificación de viviendas reportadas con daño menor y daño mayor y/o demolición parcial debido a los sismos de septiembre de 1985 (GDF-SOS, 2002).
- b) Inspección de banqueta para cada uno de los 441 y 299 edificios, viviendas de 2 a 22 niveles, reportadas con daño menor y daño mayor y/o demolición parcial debido a los sismos de 1985 (GDF-SOS, 2002). En las visitas se corroboró información de los edificios, tales como número de niveles, sistema estructural, uso de suelo, entre otros. Además, se recopiló información del comportamiento de dichos edificios durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1, tales como: daños por posible golpeteo, daños por mecanismo de planta baja débil, daños por existencia de columnas cortas o por irregularidad en elevación, entre otros.
- c) Elaboración de las estadísticas que resumen los resultados del comportamiento de cada uno de los edificios de las muestras de viviendas no rehabilitadas y rehabilitadas.
- d) Asignación del estado de daño dependiendo de los daños observados durante la inspección de banqueta y de los documentos revisados para poder clasificar a cada uno de los edificios de ambas muestras y, posteriormente, lograr comparar su comportamiento ante el evento sísmico del 2017.
- e) Comparación entre muestras con base en las estadísticas obtenidas.
- f) Resultados y discusión de la comparativa.
- g) Conclusiones.

A continuación, se describe cada una de las dos muestras de vivienda en estudio.

III. MUESTRA 1: Viviendas con daño menor después de 1985

3.1. Descripción general de la Muestra 1

Después de ocurridos los sismos de 1985 se encontraron 441 edificios de vivienda reportados con daño menor (SOS, 2002). En este estudio se identificaron esos 441 edificios y posterior a esto se procedió a revisarlos. Primeramente, se identificó cada uno de estos edificios mediante la aplicación de “Google Street View”, esto se realizó únicamente con la finalidad de corroborar cuáles edificios seguían siendo viviendas, y para que solamente a estos se les realizara la inspección de banqueta. De la exploración elaborada se encontró lo siguiente (Figura 3.1):

- 92% (408 de 441) de los edificios continúan siendo viviendas que presentaron daño menor después de los sismos de 1985.
- 5% (20 de 441) de los inmuebles cambiaron su uso de suelo a lo largo de los últimos 30 años, desconociéndose el motivo y el momento en que esto sucedió. Entre los posibles cambios están principalmente a comercial y a oficinas.
- 3% (12 de 441) de los edificios eran construcciones nuevas, lo cual se pudo observar ya que el número de niveles observado era completamente diferente al reportado después de 1985, o debido a que su cambio de uso se consideró muy drástico.
- >1% (1 de 441) de las direcciones revisadas se encontraban sin construcción alguna, y en su lugar se podía observar un parque o simplemente el espacio vacío.



Figura 3.1. Estadística de 441 edificios: i) 408 viviendas (92%), ii) 20 cambios de uso de suelo (5%), iii) 12 nuevas construcciones (3%) y iv) 1 espacio sin construcción (>1%).

Este estudio se concentró básicamente en la observación de las estructuras de vivienda, más específicamente aquellas que sufrieron daño menor después de los sismos de 1985, para la Muestra 1. Debido a esto, y según lo obtenido a partir de las inspecciones de banqueta, la información detallada dentro de este capítulo es referente únicamente a los 408 edificios de vivienda.

En la Figura 3.2 se puede observar la distribución espacial georreferenciada a través de la Ciudad de México de la muestra de 408 (círculos rellenos naranja) de los 441 edificios de vivienda usados para conocer el comportamiento de viviendas que sufrieron daño menor durante 1985 ante el evento sísmico del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1. Además, en esta figura se presentan los 20 edificios con cambio de uso, los 12 que son nuevas construcciones y el edificio sin construcción de los 441 edificios. Adicionalmente, en esta Figura 3.2 también se presenta la zonificación sísmica en la que estaba dividida la Ciudad de México acorde a la norma técnica complementaria para diseño por sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1987 (NTC-DS, 1987), la cual cambió a partir del 19 de noviembre 1987. En la NTC-DS (1987), la Ciudad de México estaba dividida en 3 zonas: Zona I, Zona II y Zona III (Figura 3.3); siendo la Zona III donde el valor de coeficiente sísmico de 0.4 g, representaba el valor mayor, como más adelante se indica. Se puede observar que la muestra de 408 de 441 edificios de vivienda reportados con daño menor, reparados (reparaciones menores) durante los años posteriores a 1985, se encuentra distribuida principalmente en las zonas II y III de estas 3 zonas sísmicas, pero una mayor concentración se presenta en la Zona III con 337 de 408 (83%) de los edificios de vivienda, seguido de la Zona II con 63 de 408 (15%) edificios, mientras que en la Zona I se encuentran únicamente 8 de 408 (2%) de los edificios en estudio.

En la Figura 3.3a se presentan los espectros de diseño sísmico para cada una de las de las 3 zonas sísmicas en que estaba dividida la Ciudad de México. Los valores del coeficiente sísmico, c , son 0.16, 0.32, 0.40 para Zona I, Zona II y Zona III, respectivamente. Considerando que cada edificio de vivienda en estudio fue diseñado respecto al espectro de diseño sísmico del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1987 (NTC-DS, 1987). De la Figura 3.3b, se puede ilustrar que el 2%, 15% y 83% de las viviendas fueron diseñadas para soportar intensidades sísmicas en el intervalo elástico de $0.16g \times 2 = 0.32g$, $0.32g \times 2 = 0.64g$ y $0.40g \times 2 = 0.8g$ para Zona I, II y III, respectivamente; considerando un valor de sobrerresistencia de 2.0 que estaba implícito en la NTC-DS (1987).

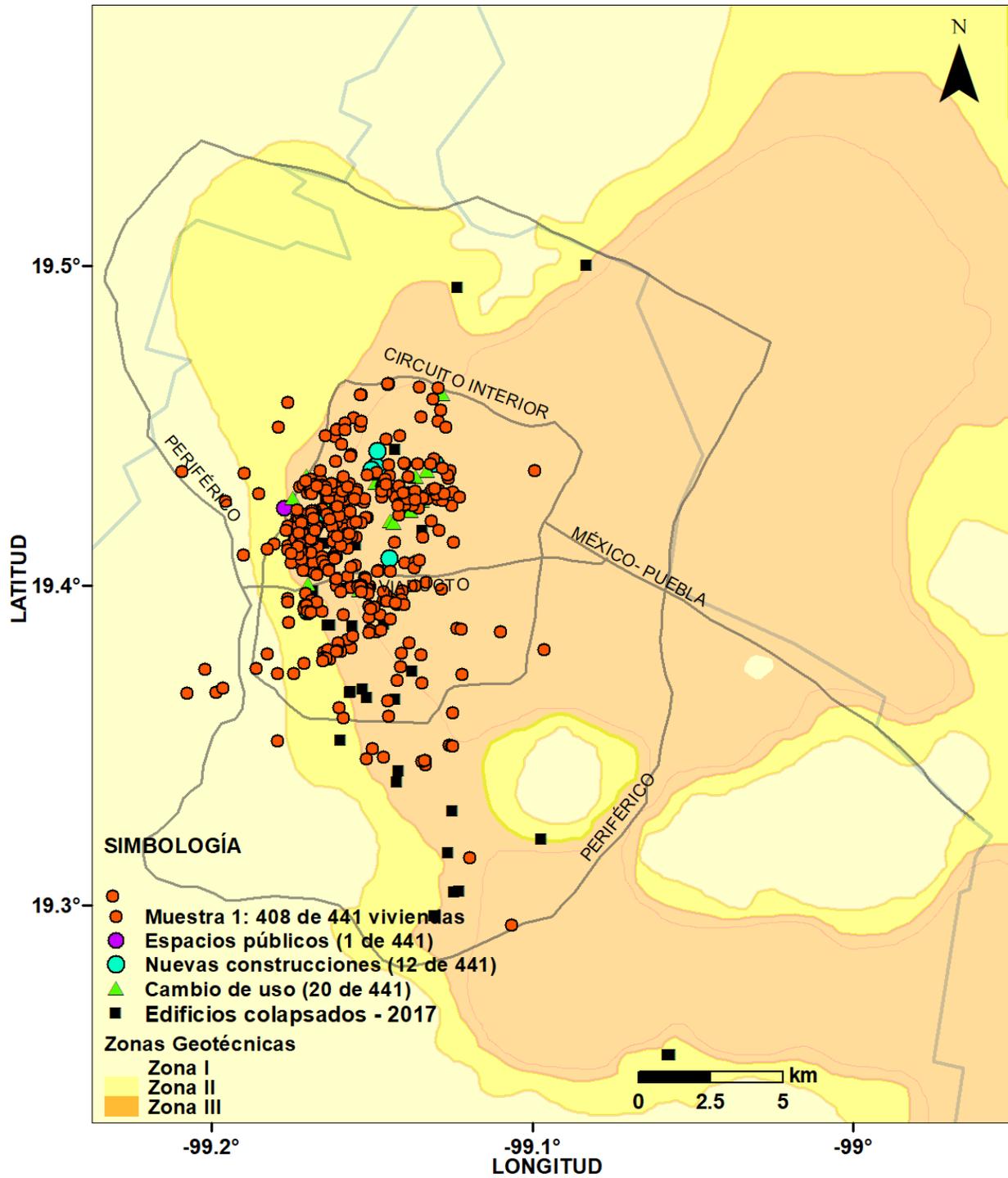


Figura 3.2. Distribución espacial ilustrativa de la Muestra 1 de los 441 edificios a través de la ciudad usadas en el estudio en función de las 3 zonas sísmicas en que estaba dividida la Ciudad de México acorde al RCDF (1987).

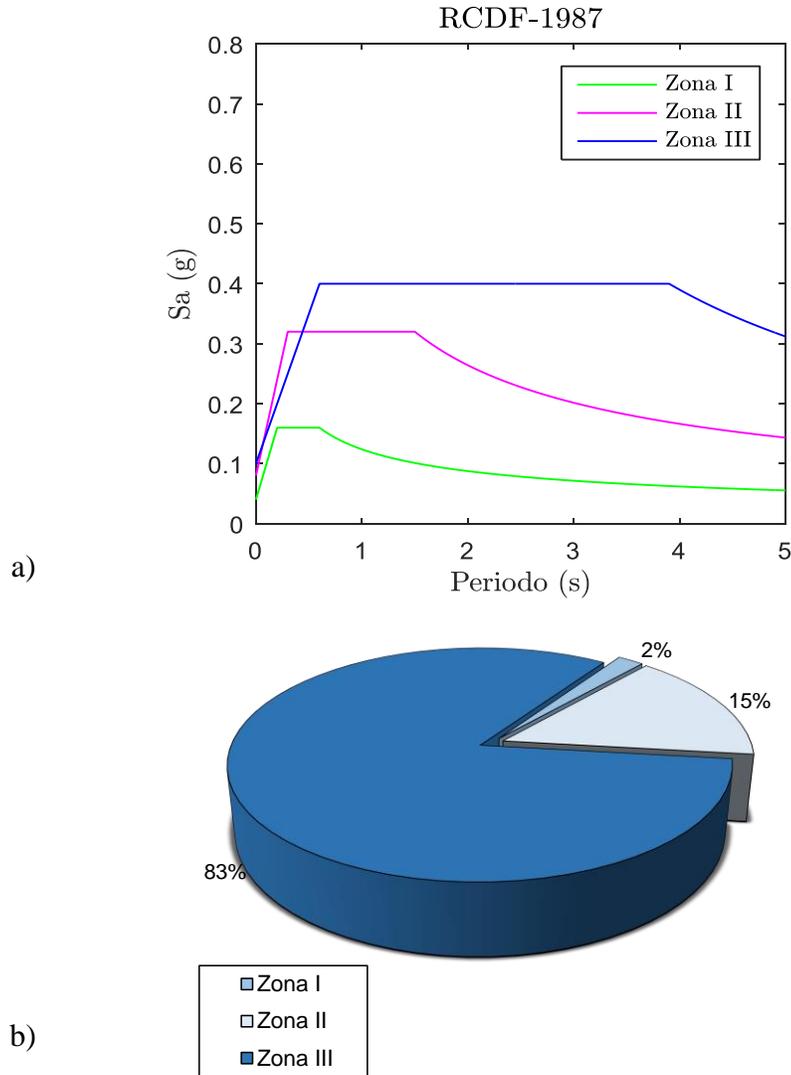


Figura 3.3. a) Espectros de diseño sísmico de la zonificación sísmica del RCDF (1987) y b) estadística de los 408 de 441 edificios de vivienda asociados a cada una de las zonas sísmicas del RCDF-1987.

3.2. Estadísticas de vivienda asociadas al periodo dominante del terreno

En la Figura 3.4 se muestra la distribución espacial de la muestra de los 408 de 441 edificios de vivienda usados a través de la Ciudad de México para conocer el comportamiento de viviendas con daño menor previo en estudio después del sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1. En esta Figura 3.4 se puede observar que la mayoría de las viviendas analizadas en esta Muestra 1 (75%, 305 de 408 edificios) se encuentran en depósitos de suelo con periodo dominante del terreno, T_s , entre 1 a 2.5 s.

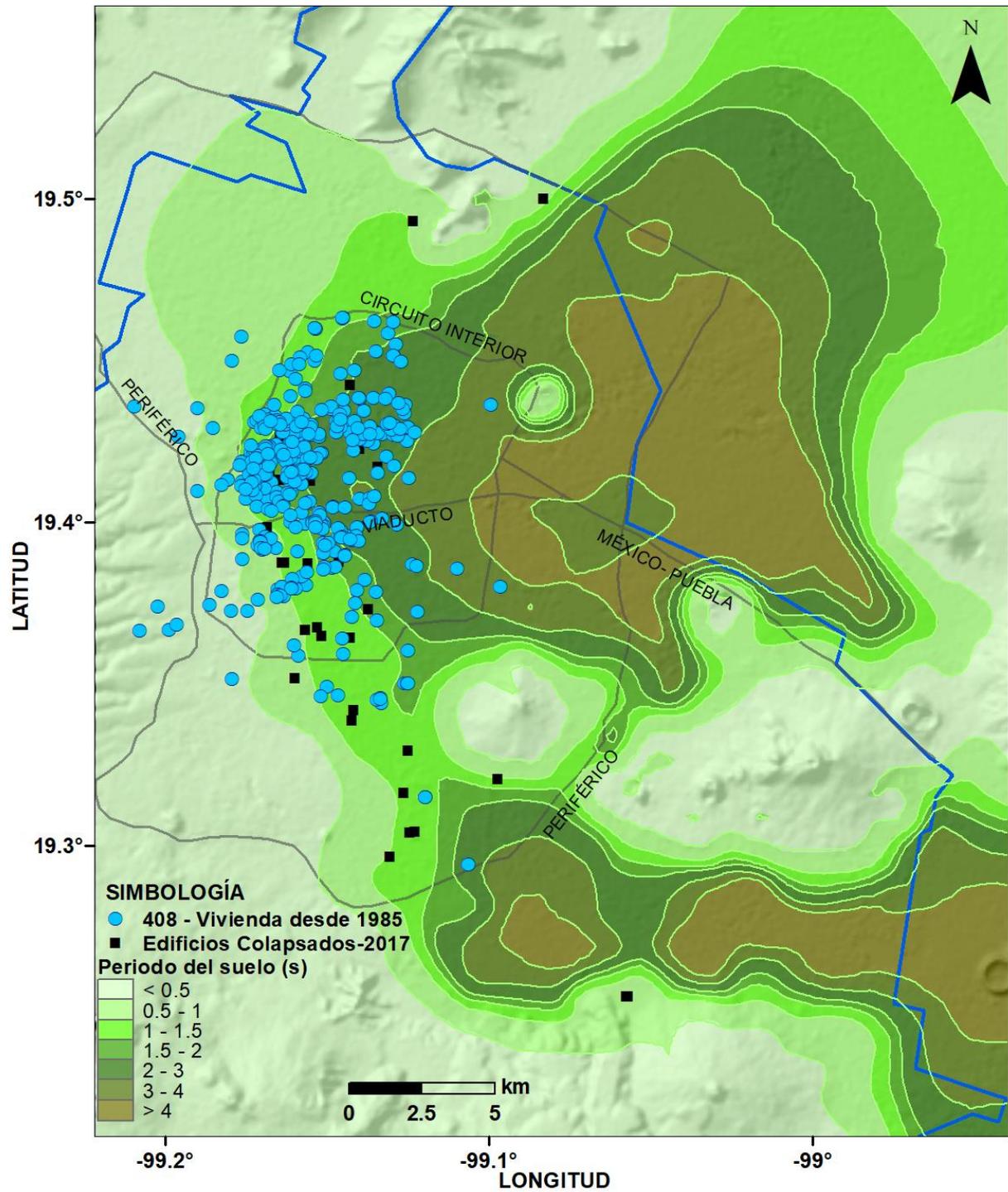


Figura 3.4. Distribución espacial a través de la ciudad de la Muestra 1 de 408 de los 441 edificios de vivienda que presentaron daño menor después del sismo del 19 de septiembre de 1985 usados en el estudio.

Una revisión más clara se observa en la Figura 3.5, donde de los 408 edificios de vivienda analizados se detalla lo siguiente:

- 17% (71 de 408) se encuentra en depósitos de suelo con T_s entre $0.5 < T_s \leq 1s$.
- 30% (121 de 408) entre $1.0 < T_s \leq 1.5s$.
- 18% (72 de 408) dentro del intervalo de $1.5 < T_s \leq 2s$.
- 27% (112 de 408) se encuentra en $2s < T_s \leq 2.5s$.
- 8% (32 de 408) en depósitos con $T_s > 2.5s$.

Como más adelante se observará, los edificios de esta Muestra 1 que presentaron un nivel de daño mayor se localizan en depósitos de suelo con T_s dentro del intervalo de $1 < T_s \leq 2.5 s$; estos depósitos de suelo coinciden con la zona de mayores intensidades sísmicas.

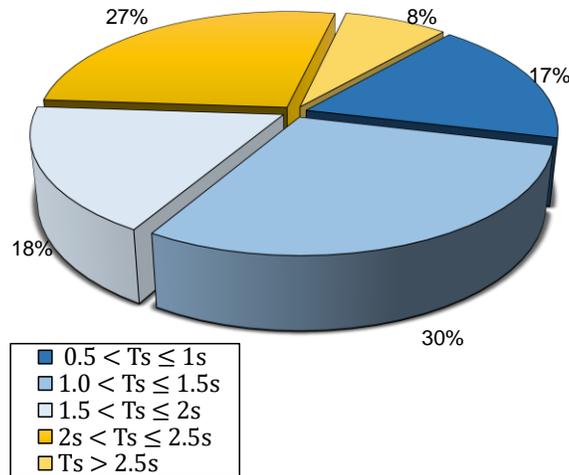


Figura 3.5. Estadísticas de la Muestra 1 de los 408 de 441 edificios de vivienda usados en el estudio asociados a intervalos del periodo dominante del terreno, T_s .

3.3. Inspección de banqueta – Características básicas de los edificios

En esta sección se presentan las características estructurales observadas durante las inspecciones de banqueta para los 408 edificios de vivienda del estudio en la Muestra 1. En estas revisiones desde el exterior de los inmuebles se revisaron las siguientes características estructurales (Figura 3.6): i) número de niveles (Figura 3.6a), ii) planta baja débil (Figura 3.6b), iii) posibilidad de golpeteo (Figura 3.6c), iv) edificio ubicado en esquina (Figura 3.6d), v) columna corta (Figura 3.6e) y vi) irregularidad en elevación (Figura 3.6f). De acuerdo a la Figura 3.6 se tiene la siguiente información de la muestra en estudio:

- *Número de niveles.* De los 408 edificios de vivienda analizados, el mayor porcentaje corresponde a los edificios que tienen un intervalo entre 3 a 5 niveles con un 46% (187 de 408), seguido de ello se encuentran los inmuebles de 6 a 10 niveles (42%, es decir 171 de 408), después están aquellos edificios que van de 11 a 15 niveles con un 8% (32 de 408), y

por último los edificios que van de 1 a 2 niveles y de 16 a 22 con 2% (9 de 408) cada uno (Figura 3.6a).

- *Planta baja débil.* Se puede apreciar que el mayor porcentaje de edificios (72%, 293 de 408) tiene planta baja débil, seguido del 28% (115 de 408) que corresponde a todos aquellos edificios que no tienen esta característica (Figura 3.6b).
- *Posible golpeteo.* De la muestra en estudio, la característica de posible golpeteo con edificios colindantes se puede presentar en un 43% (176 de 408) de estos, y un 57% (232 de 408) podría no presentar golpeteo (Figura 3.6c).
- *Edificios ubicados en esquina.* De la Figura 3.6d se ilustra que el 67% (272 de 408) de las edificaciones en estudio no están ubicadas en esquina y que solamente el 33% (136 de 408) presentan esta condición.
- *Columna corta.* De la muestra en estudio, los daños por columna corta se pueden presentar en el 7% (30 de 408) de las edificaciones y un 93% (378 de 408) no presenta columnas cortas (Figura 3.6e).
- *Irregularidad en elevación.* En la Figura 3.6f se observa que la irregularidad en elevación está presente en un 3% (12 de 408) de los edificios analizados, seguido de esto en un 97% (396 de 408) de los edificios no se presenta la irregularidad en elevación.

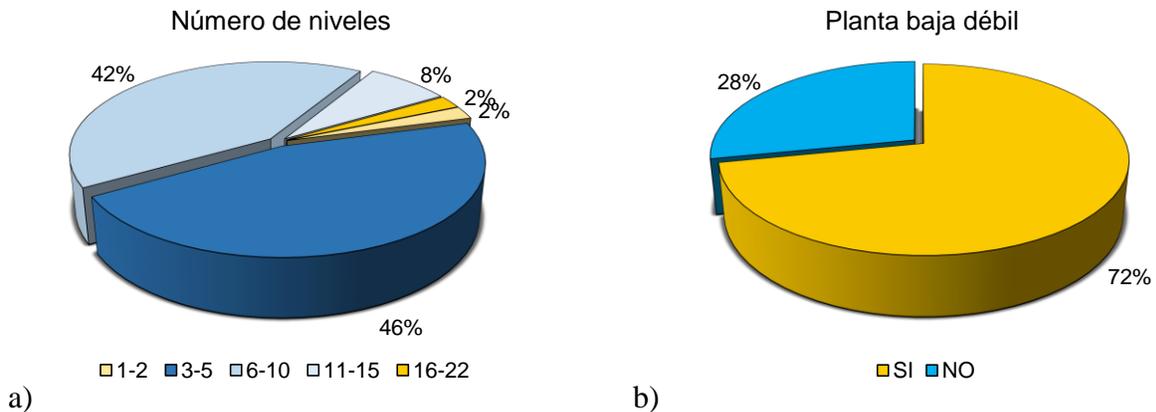


Figura 3.6. Estadísticas de la Muestra 1 de los 408 de 441 edificios de vivienda usados en el estudio asociadas a: a) número de niveles, b) planta baja débil, c) posibilidad de golpeteo, d) edificio ubicado en esquina, e) columna corta y f) irregularidad en elevación.

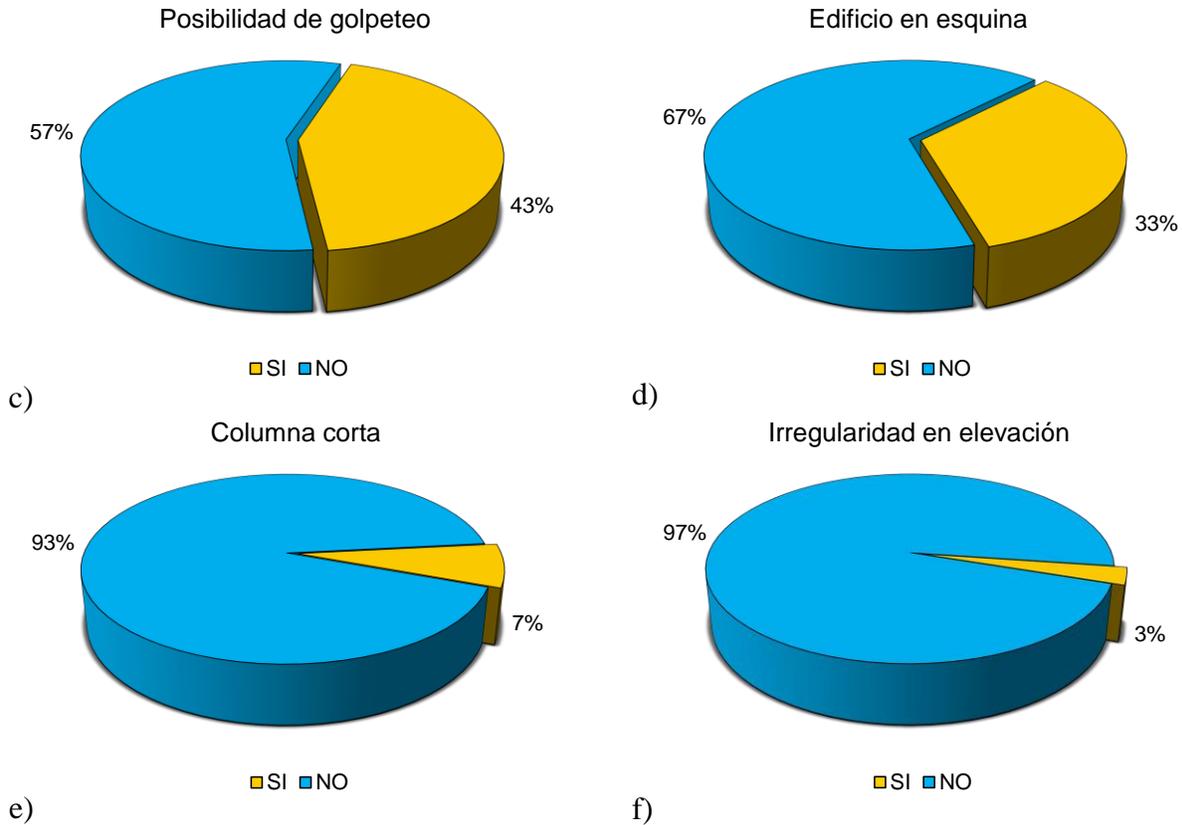


Figura 3.6. Continuación.

3.4. Inspección de banqueta – Daños observados

En esta sección se describe parte de lo que se observó durante las visitas en algunos de los edificios de la Muestra 1. Sin embargo, es importante aclarar que para esta muestra se realizaron las inspecciones de banqueta únicamente de los 408 edificios de vivienda reportados con daño menor después de los sismos de 1985 (GDF-SOS 2002). Para aquellos edificios que no se visitaron (33 edificios en total) se corroboró su uso de suelo por medio de la aplicación “Google Street View” y se observó parte de lo que se describe a continuación.

Durante la revisión se encontró que existe 1 de los 441 edificios donde hoy en día no se existe construcción alguna, asimismo, se puede observar que este edificio se localizaba en esquina. Sin embargo, no se tiene conocimiento del motivo o momento en el que fue demolido o de si antes de su demolición seguía siendo un edificio de vivienda.

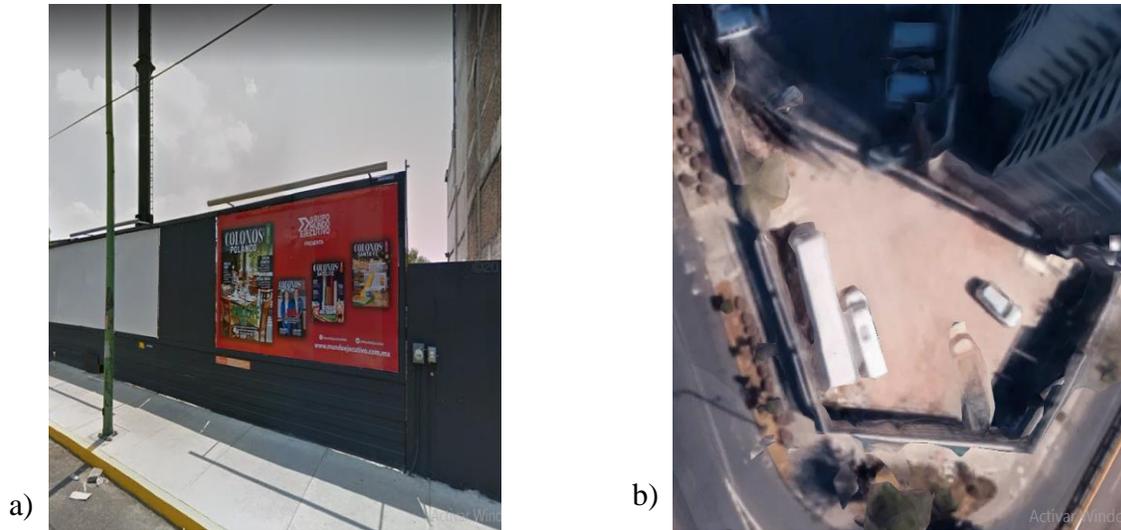


Figura 3.7. Dirección encontrada sin construcción durante la inspección de banqueta: a) Espacio sin construcción con clave MH-06 vista frontal y b) Espacio sin construcción con clave MH-06 vista en planta.

De la misma forma, durante las revisiones también fue posible identificar 20 edificios con cambios de uso y 12 nuevos edificios de diversos usos de los 441 edificios que tuvieron estos cambios posteriores a los sismos de 1985. Esto puede deberse a que las estructuras en ese entonces modificaron sus características, o fueron demolidas y se construyeron nuevas edificaciones con fines distintos al habitacional. Parte de esto se identificó por medio de “Google Street View” por los cambios en el exterior del edificio y por el aumento o la disminución del número de niveles de los mismos. Un ejemplo es el edificio CUA-93, donde actualmente se encuentra un edificio destinado a uso de oficinas (Figura 3.8a), y también el edificio CUA-152, el cual fue demolido después del sismo de 1985 y donde ahora encuentra un centro comercial (Figura 3.8b).

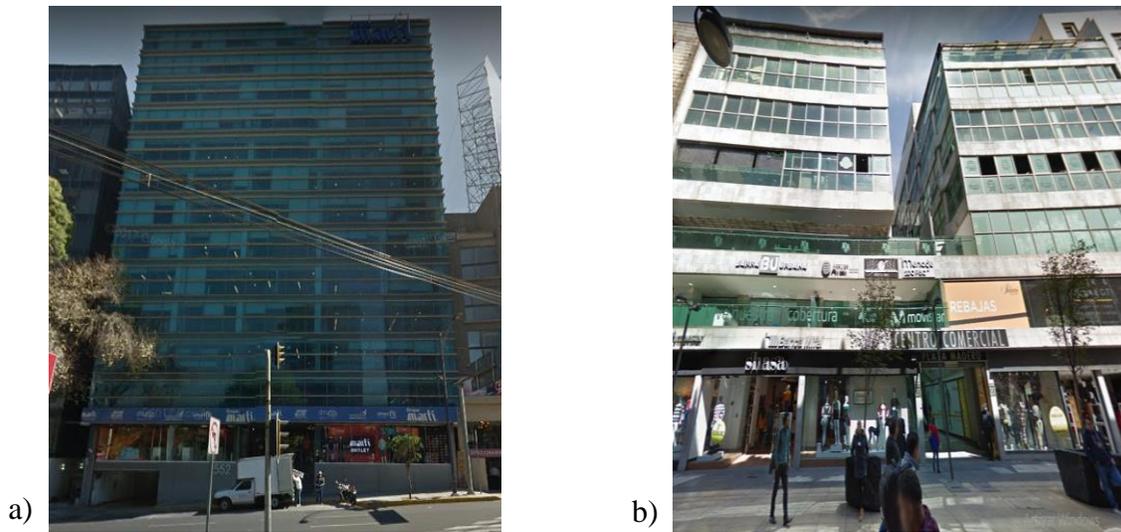


Figura 3.8. Edificios identificados con cambio de uso durante la inspección de banqueta: a) Edificio destinado a uso de oficinas con clave CUA-93 y b) Centro comercial con clave CUA-152.

En secciones posteriores se presentan las inspecciones de banqueta de los edificios con daños observados, es decir, las descripciones de algunos de los 408 de los 441 edificios de vivienda que sufrieron daño menor después del sismo de 1985. Como resultados de las inspecciones, se encontró que en el 12% (51 de 408) de las edificaciones de vivienda se observaron daños visibles en el interior del edificio pero no estructurales, en el 8% (31 de 408) se observaron daños estructurales desde el exterior e interior del inmueble, incluso daño severo, que implicó su demolición debida al sismo (3%, 11 de los 408 edificios están demolidos), y además se observó que 1 de los 408 de los inmuebles colapsó durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

En la Figura 3.9 se presenta la ubicación de los 82 de 408 (20%) edificios con daños no estructurales y estructurales observados (círculos rellenos). En los edificios restantes (326 edificios) no se percibieron daños desde la banqueta, ni se encontró registro de afectaciones dentro de alguno de los documentos expedidos en la página web destinada para la difusión de esta información.

Por otro lado, en la Figura 3.10 se muestran los histogramas de la distribución respecto al número de niveles de las viviendas, del periodo del suelo y de la aceleración espectral en la componente horizontal para los edificios de la Muestra 1. En esta figura se observa la prevalencia de las construcciones de vivienda de 6 a 10 niveles tanto para viviendas con daño no estructural, así como las de daño estructural (Figura 3.10a). Aunque más específicamente, las viviendas con daño no estructural tienen un número de niveles dentro del intervalo de 3 a 22, ubicados en sitios con periodo de suelo que van desde 0.5 a 2.5 s, pero predominando las viviendas ubicadas en sitios con periodo de suelo de 1.25 a 2.5 s (Figura 3.10b). De igual manera, se observa que las aceleraciones espectrales en la componente horizontal se distribuyen en el intervalo de 0.1 y 0.5 g (Figura 3.10c). Por otro lado, se nota que los edificios de vivienda que presentaron daño estructural en la Muestra 1 van de los 6 a los 15 niveles (Figura 3.10a), y están ubicados en periodos de suelo de 1.25 a 2.5 s (Figura 3.10b), teniendo valores de aceleración espectral horizontal de 0.25 a 0.5 g (Figura 3.10c).

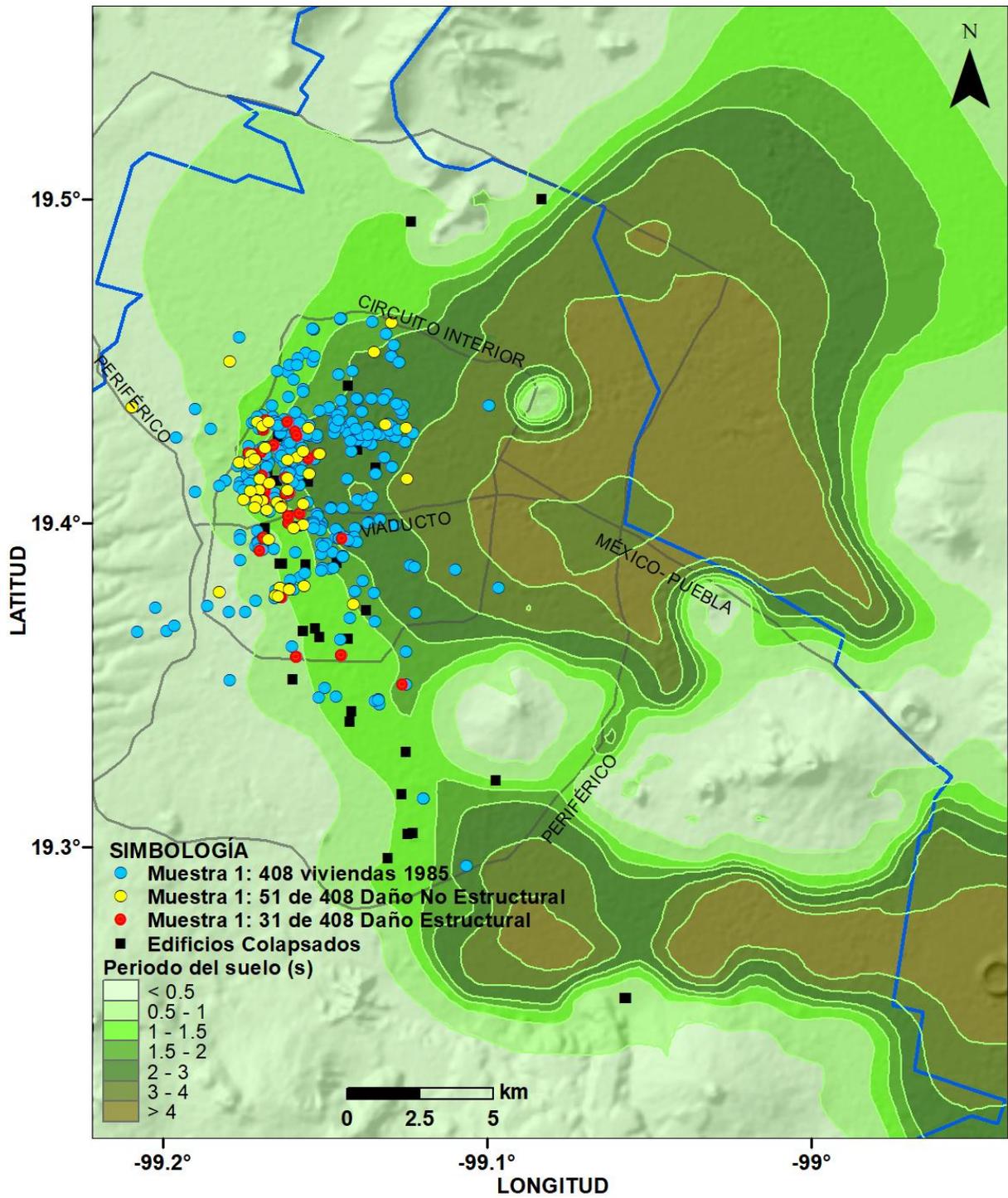


Figura 3.10. Ubicación de los 82 edificios de vivienda de 408 con daños observados (no estructurales y estructurales).

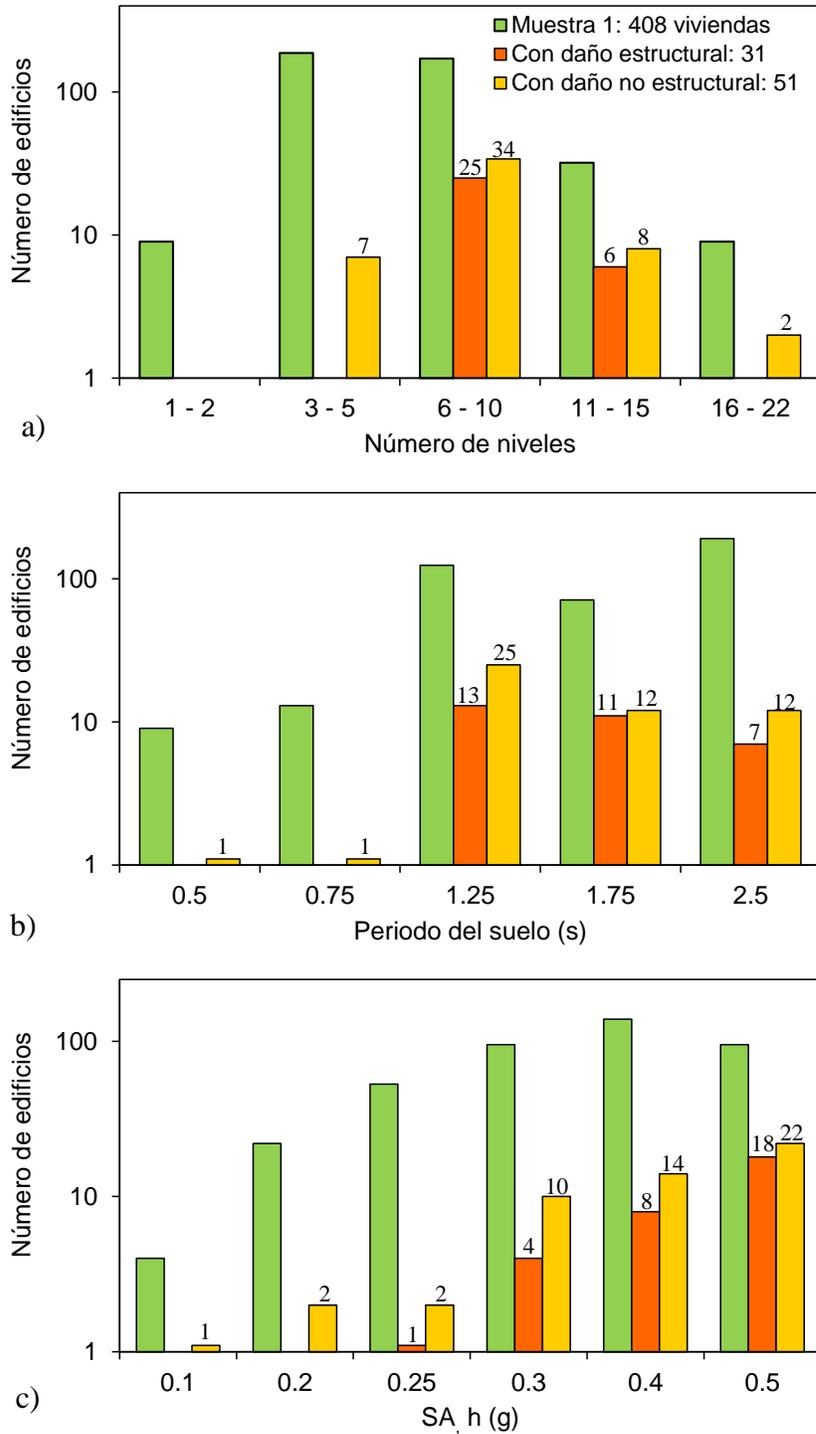


Figura 3.11. Histogramas de la distribución de la Muestra 1 en estudio: a) número de niveles, b) periodo del suelo y c) aceleración espectral en la componente horizontal. Verde: Muestra 1: con 408 edificios. Naranja: Muestra 1 con los 31 edificios que presentaron daño estructural. Amarillo: Muestra 1 con los 51 edificios que presentaron daño no estructural.

A continuación, se describen los daños en 6 de los 82 edificios representativos con daños estructurales y también se explican 4 de los 11 edificios que se encuentran actualmente demolidos a causa de los daños generados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

3.5. Descripción de daños en 10 edificios por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

Para la descripción de los 82 de 408 edificios de vivienda con daños observados se incluye la Tabla A.1 en el Anexo A, en ésta se pueden identificar los edificios que resultaron demolidos posteriormente al sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1, así como los edificios que sufrieron daño estructural y los que presentaron daño no estructural. De la misma forma, a continuación, se presenta la Tabla 3.1 mostrando únicamente los 10 edificios de vivienda que son utilizados como ejemplo para describir algunos de los daños observados debido al sismo.

En cada uno de los edificios se especifica su clave (columna 2), en la cual se indica la abreviatura de la delegación en la que se localizan; en la tercera columna se indica el número de niveles con los que cuenta cada uno de los edificios, es importante destacar que con respecto a los edificios que se encuentran actualmente demolidos (11 de 82), se coloca el número de niveles que tenía la estructura previa a su demolición. En la Tabla 3.1 también se presenta el sistema estructural de cada edificio (columna 4), remarcando que esta asignación del sistema estructural se basó prácticamente en la observación desde la banqueta y que no se contó con la ayuda de ningún plano arquitectónico o estructural para su determinación. Además, se especifica el periodo del suelo correspondiente dependiendo de su ubicación (columna 5). Por último, la sexta columna hace la aclaración de si el edificio se encontraba demolido a la fecha en la que se realizó la inspección de banqueta o si sólo se observaron daños debido a sismo (daños estructurales o no estructurales).

Tabla 3.1. 10 edificios con daños por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
1	CUA-36	9	MMC	1.152	×
2	BJ-28	9	MMC	0.978	×
3	CUA-133	10	MMC	2.043	×
4	BJ-57	9	MMC	1.605	×
5	CUA-236	7	MMC	1.229	×
6	CUA-245	12	MMC	1.287	×
7	CUA-17	8	MMC	1.230	×
8	CUA-68	15	MMC	2.402	×
9	BJ-23	13	MMC	0.960	×
10	CUA-94	7	MMC	1.207	×

*La abreviatura MMC indica un sistema estructural de Mampostería con Marcos de Concreto.

**Símbolo con × y ×× significa edificio con daño estructural y edificio demolido/en proceso de demolición debido a sismo, respectivamente.

3.5.1. Descripción de daños en edificio CUA-36 – Riesgo Alto

El edificio CUA-36 consta de 9 niveles, con su planta baja destinada para uso comercial y los siguientes niveles para uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio está estructurado por medio de marcos de concreto armado formados por columnas y trabes, teniendo como sistema de entrepiso losas macizas. Cuenta con muros de mampostería en el cubo de escaleras, en colindancias y para dividir los espacios de los departamentos. En la azotea tiene una estructura metálica de un anuncio espectacular de dimensiones considerables.

El edificio se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita no se identificaron daños desde el exterior del inmueble, a excepción del desprendimiento de acabados en uno de sus lados laterales visibles para el espectador; sin embargo, desde la vista frontal no se observó daño ni en acabados ni en ventanas (Figura 3.12a).

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, la estructura exhibió severos daños en los muros de mampostería, ocasionando fracturas y colapsos parciales en los muros de las colindancias e interiores, dejando remanentes que podían caer en las edificaciones vecinas (Figuras 3.12b, 3.12c y 3.12d). El edificio presentó grandes desplazamientos laterales y torsionales, por lo cual se recomienda ser evaluado por un especialista en estructuras. Asimismo, el anuncio de la azotea tiene que ser retirado.

El dictamen especifica que el edificio solo puede ser ocupado una vez que sea rehabilitado de acuerdo a un proyecto de rehabilitación estructural; y con base en lo anterior y lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 3.12. Descripción de daños en edificio CUA-36 – Riesgo Alto: a) vista frontal N-S del edificio posterior al sismo donde no se observó daño desde la inspección de banqueta, b) daños en muros exteriores y en acabados en vista lateral del inmueble, los cuales podrían provocar caídas de material en edificios

colindantes, c) daño en muros interiores de uno de los departamentos del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y d) daño en muros interiores con desprendimiento de acabados (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>)

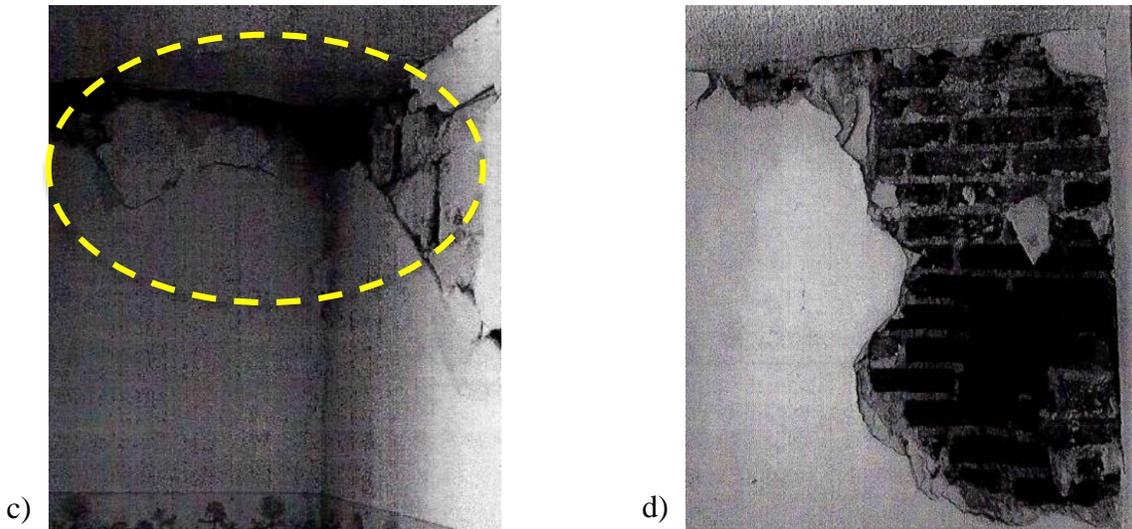


Figura 3.12. Continuación.

3.5.2. Descripción de daños en edificio BJ-28 – Riesgo Alto

El edificio BJ-28 consta de 9 niveles con aproximadamente 50 años de edad (Figura 3.13a). La planta baja está destinada para uso comercial y el sótano como estacionamiento, los niveles posteriores son de uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio tiene una forma de “L” en planta y se encuentra en esquina, por lo cual es considerado como irregular. Está estructurado por medio de marcos de concreto armado formados por columnas y losas planas como sistema de entrepiso, además, cuenta con muros diafragma y muros de carga de mampostería de tabique. Las escaleras son de concreto y se encuentran adosadas a muros y losas. Se infiere que tiene un cajón de concreto reforzado como cimentación. A pesar de que presenta un mantenimiento adecuado, se observaron asentamientos diferenciales teniendo un desplome hacia el nororiente.

El edificio se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se identificaron daños en el exterior del inmueble, tales como daños en muros y acabados; sin embargo, ya se encontraban labores de obra para la reparación del edificio.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, la estructura presentó daños en los muros de las fachadas, presentando grietas, fisuras, desprendimientos de acabados, así como pérdida de piezas, vidrios rotos y cancelos dañados (Figuras 3.13b y 3.13c). En las columnas y muros de concreto se apreciaron fisuras, grietas de los 2 a 4 mm, desconchamiento, exposición del acero de refuerzo y, en algunos casos, se observaron estribos con separaciones mayores a los 50 cm (Figura 3.13d). Las separaciones que hay con las colindancias son insuficientes, por lo cual, se

podría generar golpeteo en caso de otro evento sísmico, además, es probable que el desplome del edificio haya incrementado.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de reforzamiento y verticalización; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta y los daños en elementos estructurales, el riesgo de golpeteo con el edificio vecino y el hecho de contar con una planta baja débil, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto”.

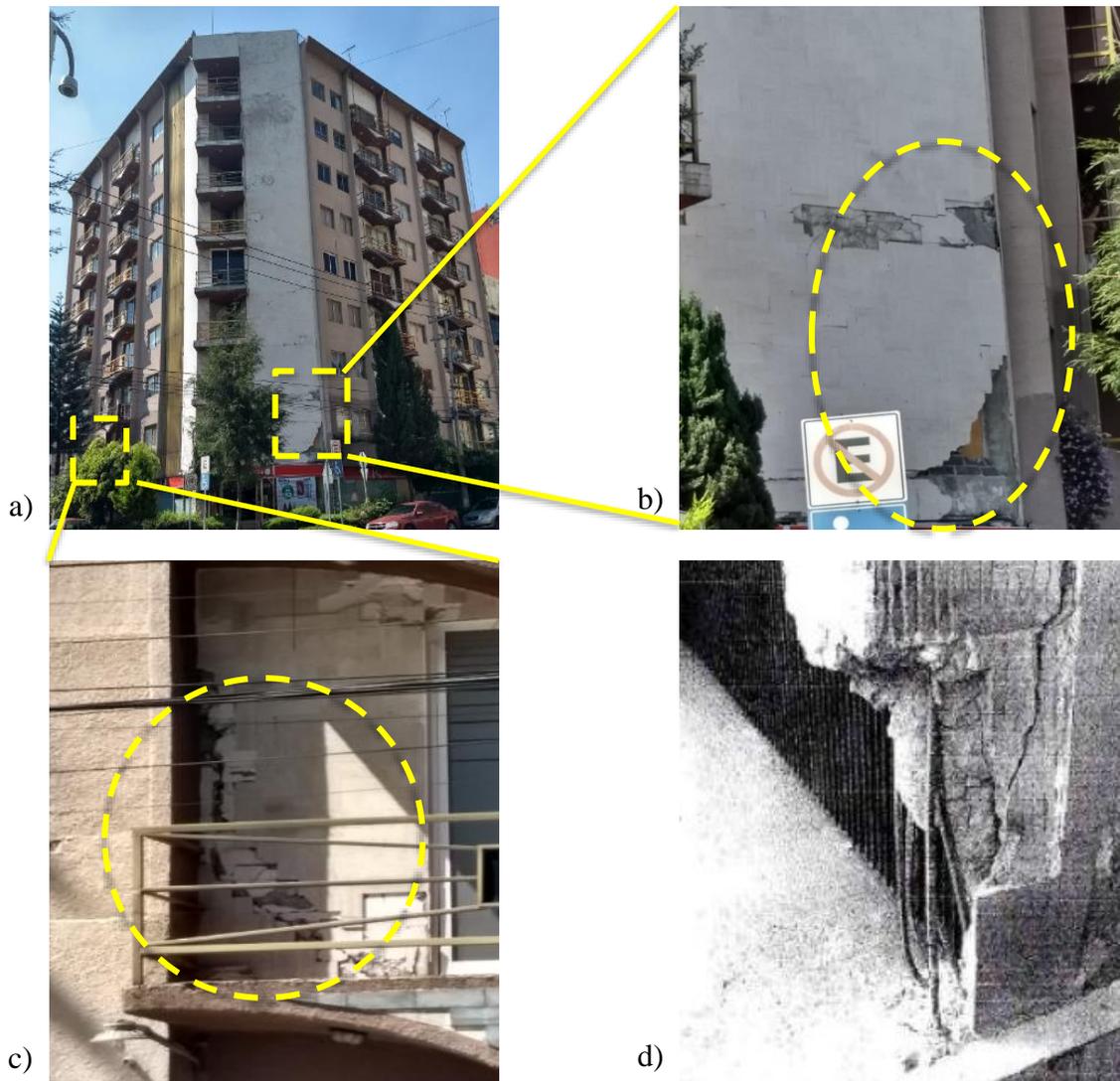


Figura 3.13. Descripción de daños en edificio BJ-28 – Riesgo Alto: a) vista exterior del edificio posterior al sismo, b) vista E-W donde se observó el desprendimiento del acabado, c) grieta en diagonal en muro exterior de uno de los departamentos del segundo nivel con desprendimiento de acabado y d) exposición del acero de refuerzo en una columna de la planta baja a un lado de la entrada (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

3.5.3. Descripción de daños en edificio CUA-133 – Riesgo Alto

El edificio CUA-133 es de 10 niveles y cuenta con aproximadamente 38 años de antigüedad. El uso de la planta baja es para estacionamiento y el resto de los niveles para uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio es irregular en planta y está estructurado mediante marcos de concreto armado formados por columnas y una losa plana aligerada con casetones, cuenta con muros de mampostería de block hueco con refuerzos horizontales y con algunos verticales. Se infiere que tiene una cimentación de cajón de concreto usado como estacionamiento.

El edificio se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se identificaron daños en el exterior del inmueble, así como la inexistencia de algunos de sus muros divisorios (Figuras 3.14a y 3.14b), además era notorio el hecho de que se estaban llevando a cabo trabajos de obra en el edificio.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, la columna del lado sur falló, presentando varillas que perdieron continuidad y otras flexionadas, los estribos también fallaron (Figuras 3.14c y 3.14d). De igual manera, se presentó daño estructural entre el nodo de una columna y trabe en la rampa de acceso al estacionamiento en la colindancia sur; se presentaron daños en muros y recubrimientos, por lo cual era urgente reforzar los primeros y eliminar los segundos (Figuras 3.14e y 3.14f). Asimismo, el inmueble presentó asentamientos diferenciales e inclinaciones que posiblemente aumentaron con el sismo.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de reforzamiento y verticalización; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 3.14. Descripción de daños en edificio CUA-133 – Riesgo Alto: a) vista exterior N-S del edificio posterior al sismo donde se observó la inexistencia de algunos muros exteriores, lo que indicó que en el inmueble ya se estaban realizando trabajos de obra, b) vista del detalle de fachada del edificio posterior al

sismo, donde se observó más claramente la ausencia de muros divisorios, c) daño en columna de la planta baja (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), d) detalle del acero expuesto en la columna de la planta baja (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), e) y f) daño en muros y acabados exteriores en vista E-W del edificio (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

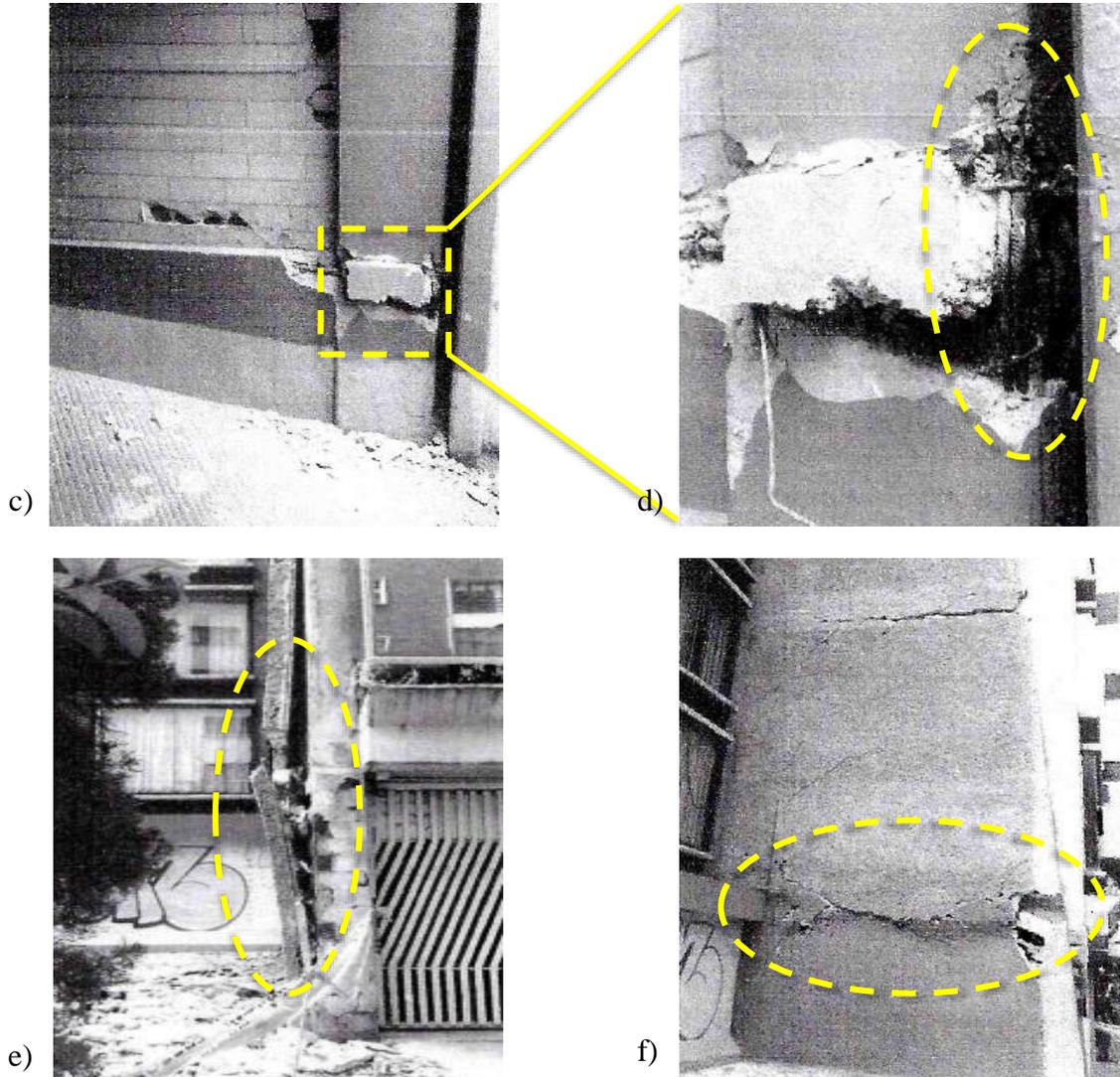


Figura 3.14. Continuación.

3.5.4. Descripción de daños en edificio BJ-57 – Riesgo Alto

El edificio BJ-57 es un conjunto habitacional que está constituido por cuatro torres de 9 niveles (Figura 3.15a) cada una. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, todas las torres comparten un semisótano destinado para estacionamiento; se encuentran unidas por una plazoleta en la planta baja y los demás niveles son de uso habitacional. Además, las torres cuentan con una forma irregular en planta, su estructuración es análoga en todos los niveles, a excepción del superior, y

consiste en marcos de concreto armado formados por columnas y losas planas como entrepiso (Figura 3.15b).

Las estructuras tienen muros divisorios y fachadas de bloque hueco sin refuerzo interior. Dado que los edificios fueron construidos antes de 1985, estos no presentan ningún tipo de refuerzo; se infiere que la cimentación es un cajón con pilotes de punta. Es probable que contaran con cierto desplome desde antes del sismo de 2017.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se identificaron daños en el exterior de las torres en muros principalmente (Figuras 3.15a y 3.15b), así como la inexistencia algunos de los muros debido a su retiro (Figuras 3.15c y 3.15d). También se observó que el edificio ya se encontraba acordonado y aparentemente con trabajos de obra propios de la rehabilitación del inmueble.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, en todas las torres existieron fallas estructurales en las columnas de los primeros niveles por cortante y tensión. En la mayoría de los muros existían fisuras y grietas, en otras grietas diagonales en “X”, teniendo derrumbes parciales. De igual manera, se apreciaron deformaciones y grietas en los muros de los cubos de elevadores. Se observaron también afectaciones en las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

El dictamen especifica que las torres deben ser sometidas a un proyecto de reestructuración y verticalización; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta y los daños en columnas y muros de mampostería, así como el desplome que se presentó en las torres, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 3.15. Descripción de daños en edificio BJ-57 – Riesgo Alto: a) vista exterior E-W de una de las torres del edificio posterior al sismo donde se pudo observar el daño en muros exteriores en la mayoría de sus niveles, b) detalle del daño en algunos de los muros exteriores del edificio en los que se presentaron grietas en diagonal y en forma de “X”, c) vista exterior E-W de otra de las torres del edificio en las que se

observó la ausencia de la mayoría de los muros exteriores y d) vista N-S donde se observó también el retiro de muros.



Figura 3.15. Continuación.

3.5.5. Descripción de daños en edificio CUA-236 – Riesgo Alto

El edificio CUA-236 es un inmueble de 2 cuerpos unidos por traveses de acoplamiento, cada cuerpo cuenta con 7 niveles y un sótano ocupado para estacionamiento (Figura 3.16a). La planta baja del inmueble es destinada para uso comercial y los demás niveles para uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, su estructuración es a base de marcos de concreto formados por columnas y una losa plana. Es importante mencionar que las columnas disminuyen de sección conforme se sube de nivel; tiene muros de mampostería adosados a la estructura y divisorios. Se infiere que la cimentación es semi-compensada con un cajón de concreto reforzado.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se identificaron daños en el exterior del inmueble, tales como fisuras y grietas en diagonal y forma de “X” en los muros exteriores. Por otro lado, algunos de estos daños ya habían sido reparados y algunas grietas rellenadas (Figura 3.16b).

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, en todos los muros de mampostería se presentaron daños, que van desde agrietamiento en forma de “X”, boquetes y hasta su colapso total (Figuras 3.16c, 3.16d y 3.16e). La estructura mostró grietas diagonales de 3 a 5 mm de abertura y hasta 0.80 m de longitud en diversas columnas de distintos niveles (Figura 3.16f), por lo cual la estructura quedó vulnerable ante otro sismo. Se infiere que la estructura tiene alrededor de 50 años, por lo cual fue construida con reglamentos anteriores al de 1985, mostrando que no cumple con la normatividad técnica de RCDF-2017.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de reestructuración; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta y los daños en

gran parte de los muros, dado que el edificio presenta una planta baja débil y losas planas, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.

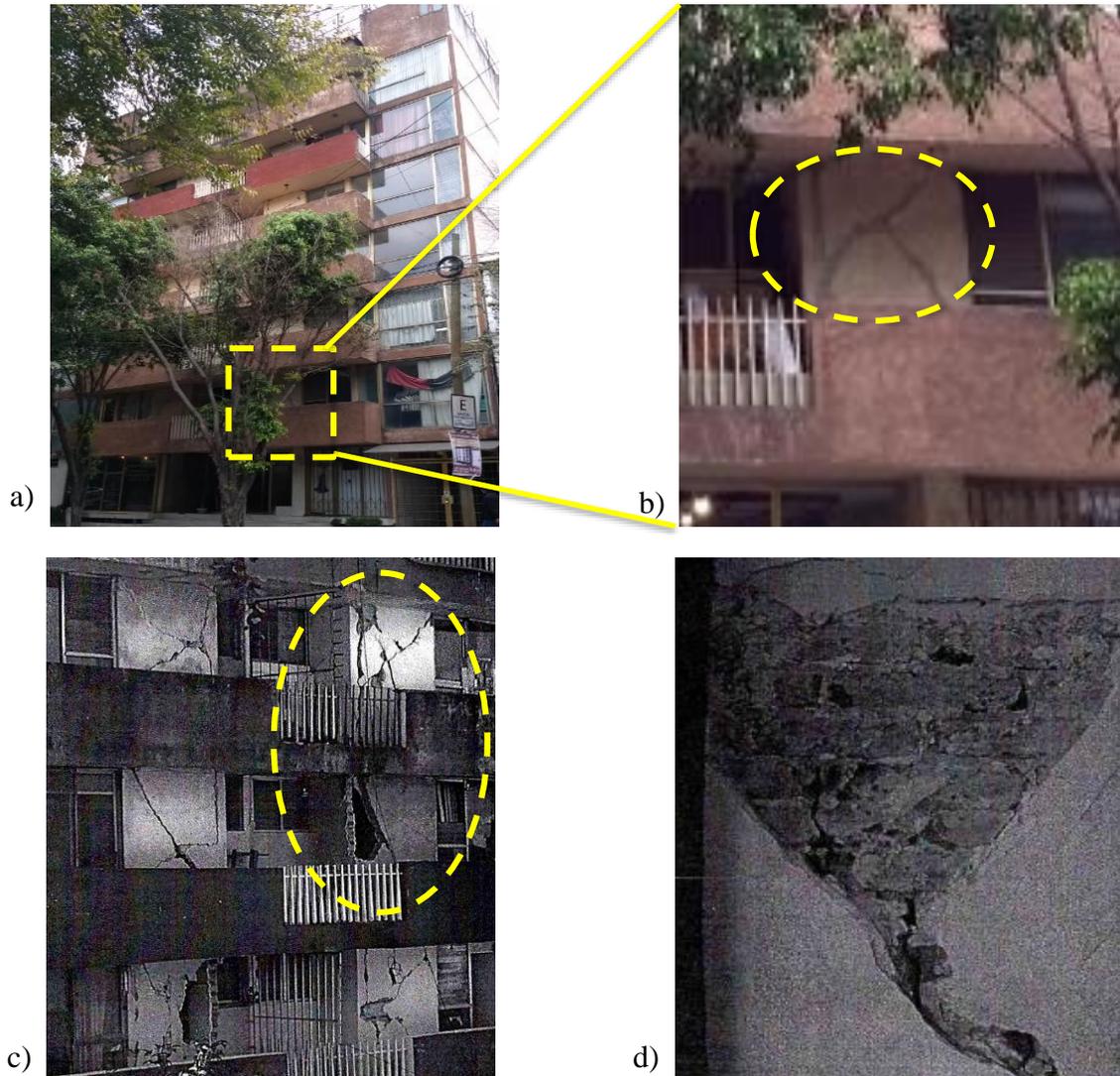


Figura 3.16. Descripción de daños en edificio CUA-236 – Riesgo Alto: a) vista exterior N-S del edificio posterior al sismo en donde se pudieron observar algunas reparaciones al momento de la inspección de banqueta, b) detalle del daño en muro exterior del segundo nivel en el que se apreció el relleno de la grieta, c) daño observable en la vista frontal a modo de grietas diagonales y en forma de “X”, fracturas y colapsos parciales en muros exteriores del inmueble (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), d) y e) daños en muros interiores, donde se apreciaron grietas con aberturas considerables, así como el desprendimiento del acabado (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y f) daño en muro interior del edificio con colapso parcial del mismo, además se indica el daño en una de las columnas (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

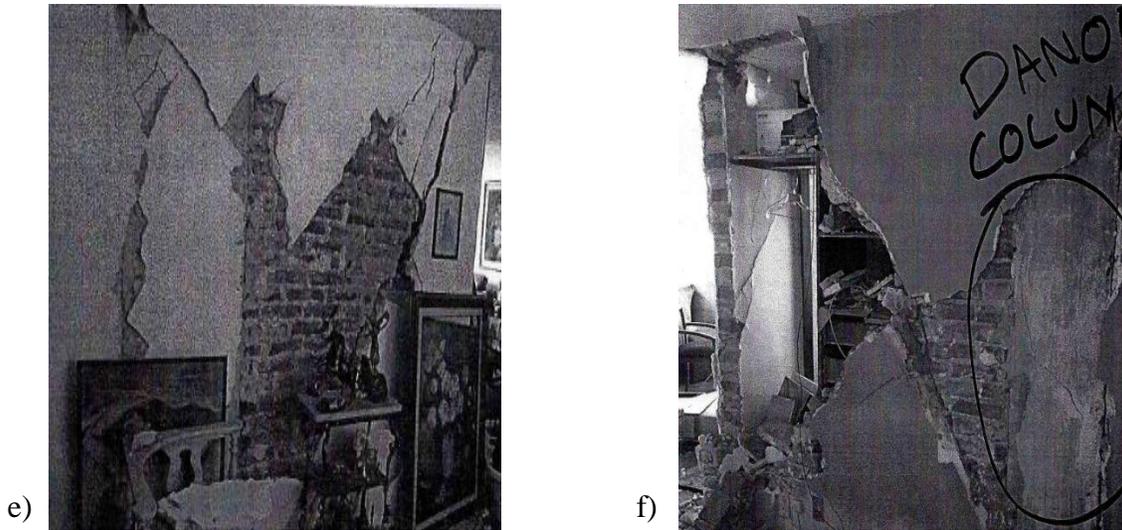


Figura 3.16. Continuación.

3.5.6. Descripción de daños en edificio CUA-245 – Riesgo Alto

El edificio CUA-245 consta de 12 niveles, es de uso habitacional y comercio en la planta baja y cuenta con 3 sótanos que son destinados para estacionamiento (Figura 3.17a). De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio es una estructura irregular, ya que adopta en planta la forma de “I”, sin embargo, tiene cubos de iluminación a los costados de un pasillo de comunicación angosto que conecta la parte frontal con la parte posterior. Está estructurado a base de marcos de concreto armado, formado por columnas y trabes, teniendo como sistema de entrepiso losas macizas. Cuenta con muros de mampostería en el cubo de escaleras, cubo de elevador, colindancias y para dividir los espacios de los departamentos.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita no se identificaron daños en el exterior del inmueble, ya que los daños en realidad son visibles en el interior de él. Tampoco se observaron trabajos de obra o que pareciera que el edificio estuviera deshabitado.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, el inmueble presentó severos daños en los muros de mampostería (Figura 3.17b), ocasionando fracturas e incluso colapsos parciales en el cubo del elevador, escalera e iluminación, dañando los elementos de confinamiento con la pérdida de concreto y el corte de varillas (Figura 3.17c). En el sexto y séptimo nivel, las escaleras se encontraban colapsadas y en los niveles inferiores estas quedaron muy dañadas (Figura 3.17d). Asimismo, presentó considerables desplazamientos laterales y torsionales dada la irregularidad que tiene, por lo cual, tiene que ser evaluado por un especialista en estructuras para poder ser reforzado.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de reforzamiento; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 3.17. Descripción de daños en edificio CUA-245 – Riesgo Alto: a) vista exterior E-W del edificio posterior al sismo, b) daños en muros interiores con desprendimiento de acabados (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), c) daño en cubo de escaleras dejando expuesto el acero de refuerzo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y d) daño en las escaleras de niveles inferiores, imposibilitando su uso (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

3.5.7. Descripción de daños en edificio CUA-17 – Riesgo Alto de Colapso

El edificio CUA-17 es un inmueble con 50 años de antigüedad aproximadamente, el cual consta de un sótano usado como estacionamiento, 8 niveles con una planta baja de uso comercial y estacionamiento y los restantes destinados a uso habitacional (Figura 3.18a). De acuerdo a lo

descrito en el dictamen, el edificio es una estructura irregular, ya que adopta en planta la forma de un cuarto de círculo, con una saliente en la parte posterior la cual aloja dos cubos de iluminación, por lo cual no cumple con las condiciones de regularidad que establece el RCDF-2017.

La edificación es a base de marcos de concreto reforzado, formado por columnas de sección rectangular y una losa plana reticular como sistema de entrepiso y techo. Tiene muros diafragma en las colindancias, así como muros divisorios en fachadas y al interior de los departamentos a base de block hueco. Las rampas de escaleras de servicio son de concreto armado que se empotran en las nervaduras del sistema de piso. El cubo del elevador y de las escaleras se ubica al centro de la edificación hacia la parte posterior y está constituido por muros diafragma de mampostería confinada. La cimentación es un cajón de concreto reforzado constituido por muros perimetrales de contención y una losa de fondo rigidizada con contratabes.

El edificio presentó un desplome ligero hacia la colindancia norponiente, así como la falta de mantenimiento durante varios años. De igual manera, la separación entre las colindancias era insuficiente o nula, lo cual podría provocar el golpeteo entre los inmuebles.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se identificó el desprendimiento de acabados (Figura 3.18b), así como algunos daños visibles desde el exterior, principalmente en muros (Figura 3.18c). Además, fue posible visualizar que, en la planta baja del edificio, donde se encuentra un restaurante, a la fecha de la visita se observaban aún labores normales en él, sin embargo, el edificio en los demás niveles estaba deshabitado y en la puerta de acceso a éste se observaba el dictamen que recomendaba no permanecer dentro de él.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, presentó grandes desplazamientos y distorsiones de entrepiso debido a la estructuración irregular, la losa plana y la planta baja débil, generando severos esfuerzos de torsión en los elementos estructurales, que ocasionaron que los muros de mampostería tuvieran fracturas diagonales en “X” (Figura 3.18d), verticales y horizontales, las cuales en algunos casos produjeron boquetes y colapsos parciales en el interior de la edificación (Figuras 3.18e, 3.18f y 3.18g). De igual manera, se produjeron severos desprendimientos de acabados en todos los niveles del edificio. La columna de la planta baja presentó una fisura diagonal por los efectos de cortante con abertura de 1 mm, por lo cual se tendrían que revisar las demás columnas retirando los acabados (Figura 3.18h).

El dictamen especifica que el edificio se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad, por su planta baja débil, la losa plana, su baja resistencia a la compresión en columnas y por ser una estructura irregular en planta, así como el golpeteo que pudo tener con los inmuebles colindantes. Debido a lo anterior, junto con lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.



Figura 3.18. Descripción de daños en edificio CUA-17 – Riesgo Alto de Colapso: a) vista exterior N-S del edificio posterior al sismo, b) desprendimiento del acabado en muros exteriores, c) desprendimiento de acabados en muros de la entrada del edificio, d) fracturas en muro interior de uno de los departamentos (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), e) y f) colapso parcial en muros interiores del edificio (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), g) grieta diagonal con abertura considerable en muro interior (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y h) fisura diagonal en columna de la planta baja, además se observó muro interior con desprendimiento de acabado (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).



Figura 3.18. Continuación.

3.5.8. Descripción de daños en edificio CUA-68 – Riesgo Alto de Colapso

El edificio CUA-68 se trata de un inmueble conformado por 2 torres de 15 niveles cada una y de uso habitacional (Figura 3.19a), que de acuerdo con el dictamen cuenta con irregularidad en planta en forma de “L”, con junta de construcción en el cubo de escaleras y su relación altura base es mayor a 5, por lo cual es considerada una estructura esbelta. La edificación está estructurada a base de marcos de concreto armado formados por columnas y trabes, con muros de rigidez del mismo material y muros de mampostería.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita no fue posible observar los daños en el edificio debido a que toda la calle se encontraba cerrada y cubierta, muy posiblemente ya se estaban realizando trabajos de demolición, ya que se alcanzó a observar maquinaria dentro del área cercada.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, se presentaron daños estructurales en una columna de la planta baja y en diversas traveses en casi toda la altura del edificio, además de generar daños severos en los muros de mampostería (Figura 3.19b, 3.19c, 3.19d, 3.19e y 3.19f), con el riesgo de caídas a la vía pública. En cuanto a la cimentación, se observaron levantamientos en cajón de cimentación con respecto al nivel de banqueteta y fracturas en extremos de los muros de rigidez con varillas expuestas.

Los dos cuerpos presentaron un desplome superior al límite permisible establecido en el reglamento ($31 \text{ cm} > 18 \text{ cm}$). El desplome era más visible en el cuerpo sur en dirección sur y en el cuerpo norte hacia el oriente.

El dictamen especifica que el edificio se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad. Debido a lo anterior, junto con lo observado durante la inspección de banqueteta, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.

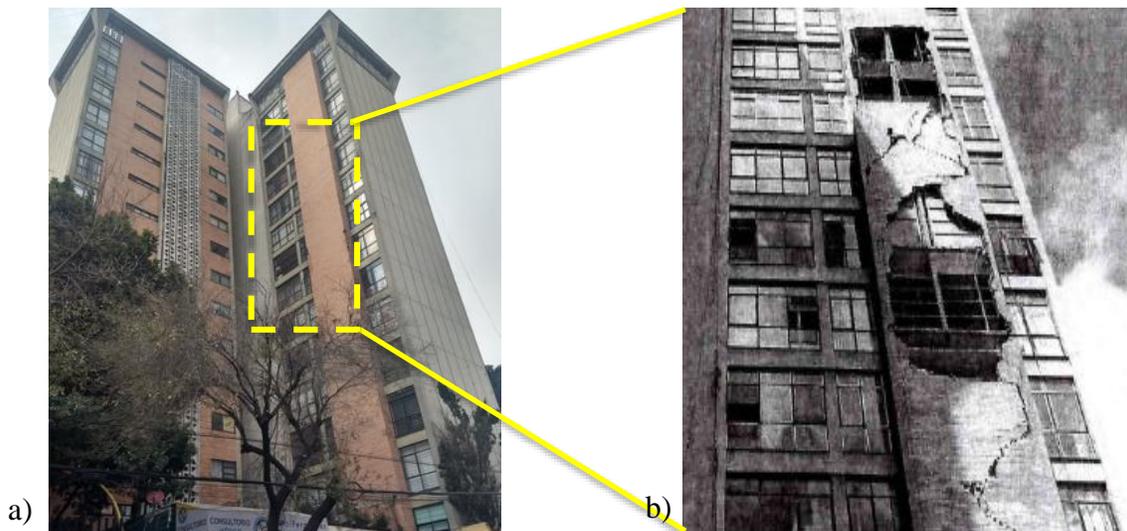


Figura 3.19. Descripción de daños en edificio CUA-68 – Riesgo Alto de Colapso: a) vista exterior N-S del edificio previo al sismo, b) detalle del daño en muros exteriores, con posible caída a la vía pública (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), c) grieta en forma de “X” en muro interior de uno de los departamentos (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), d) grietas en traveses al interior de los departamentos (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), e) fracturas en muros interiores de edificio, dejando expuesto el acero de refuerzo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y f) daño en los extremos de los muros exteriores, dejando expuesto el acero de refuerzo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

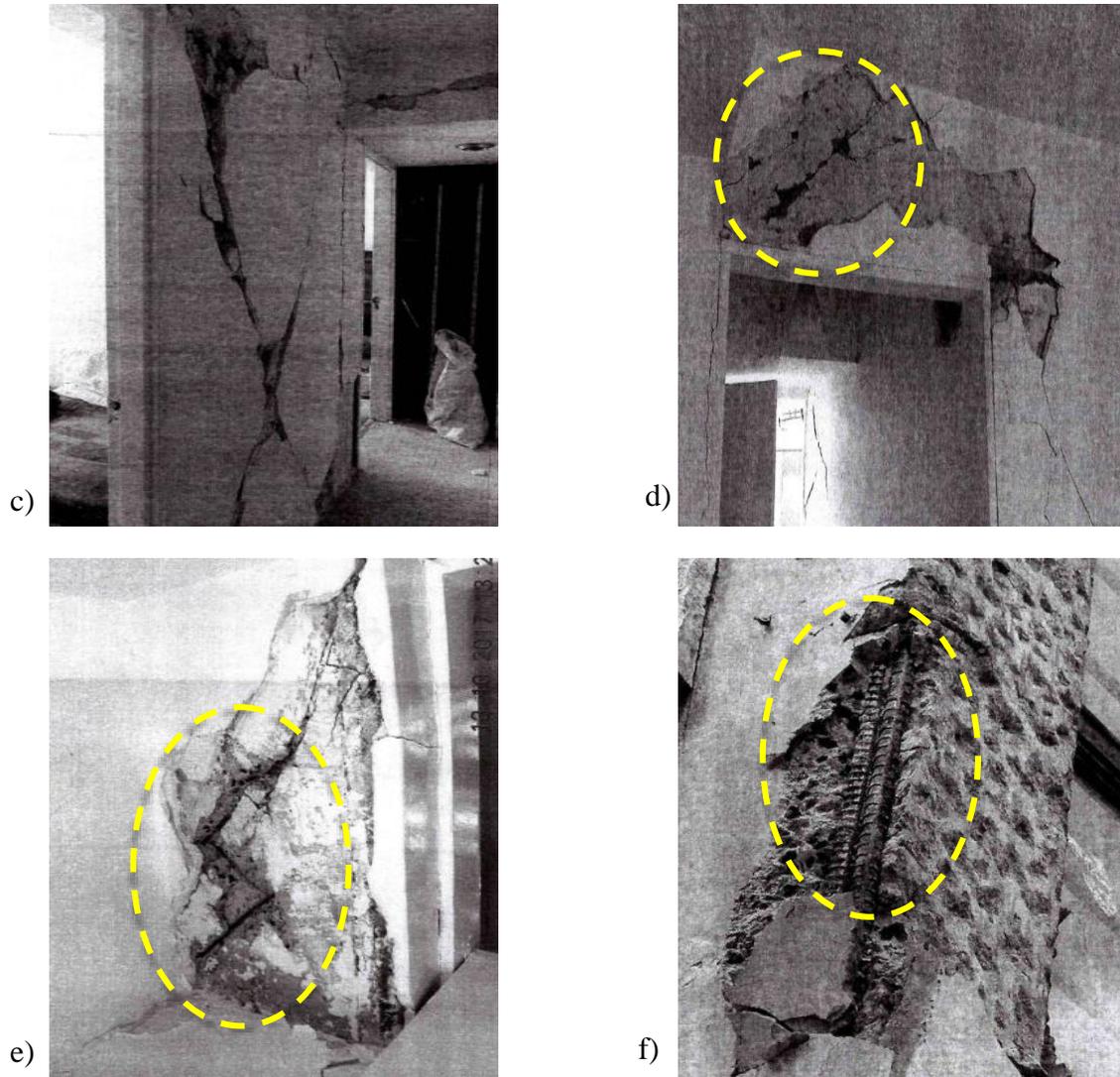


Figura 3.19. Continuación.

3.5.9. Descripción de daños en edificio BJ-23 – Riesgo Alto de Colapso

El edificio BJ-23 se trata de un inmueble con aproximadamente 45 años de edad, conformado por 13 niveles y de uso habitacional (Figura 3.20a). De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio está estructurado con marcos de concreto armado formados por columnas y losas reticulares, muros divisorios de tabicón y arcilla, muros de contención para transmitir los esfuerzos a una cimentación compensada y pilotes de fricción.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita ya no se logró identificar daños desde el exterior, ya que el edificio se encontraba cubierto con una malla y se observaban ya trabajos de demolición avanzados, incluso con algunos niveles ya demolidos y el retiro de varios muros (Figura 3.20b).

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, se presentaron daños importantes, dado que se observaron fisuras y grietas en columnas, nervaduras principales, losas, rampa de escaleras y en muros (Figuras 3.20c, 3.20d, 3.20e y 3.20f). Asimismo, la edificación presentó un desplome de 25 cm, mientras que la altura total del edificio es de aproximadamente de 33 m; por lo que de acuerdo a las NTC el desplome que presentó el inmueble no cumple, ya que el desplome permitido por las normas para el estado límite de servicio es de 16.58 cm.

El dictamen especifica que el edificio se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad, ya que cuenta con una planta baja débil, losa plana, una estructura irregular en planta y daños severos en los elementos estructurales, así como el hundimiento diferencial y la pérdida de verticalidad. Debido a lo anterior, junto con lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.



Figura 3.20. Descripción de daños en edificio BJ-23 – Riesgo Alto de Colapso: a) vista exterior N-S del edificio posterior al sismo, donde se observaron labores de demolición al momento de la inspección, b) algunos de los muros fueron retirados en varios niveles de todo el edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), c) desprendimiento de acabados exteriores en la vista frontal del inmueble (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), d) grietas en diagonal en muros del interior del inmueble (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), e) desprendimiento de acabados en muros en el interior del edificio, presentando fisuras y grietas (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y f) colapso parcial de muros interiores (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).



Figura 3.20. Continuación.

3.5.10. Descripción de daños en edificio CUA-94 – Riesgo Alto de Colapso

El edificio CUA-94 parece haber sido construido en 1960, consta de 7 niveles, donde la planta baja es de uso comercial y los demás niveles para uso habitacional (Figura 3.21a). De acuerdo a lo descrito en el dictamen, la estructura la conforman marcos de concreto armado formados por columnas y trabes, losas de entrepiso aligeradas y los muros son a base de mampostería, con refuerzo de tipo vertical.

El conjunto se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita se observó que el edificio ya no estaba habitado y se observaron daños en muros exteriores, así como en ventanas y acabados.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, se presentaron daños en muros de mampostería, con refuerzos verticales en mal estado, algunos muros colapsados (Figura 3.21b),

grietas en forma de “X” en colindancias (Figura 3.21c) y otras más en muros al interior del edificio (Figura 3.21d). Las losas se encontraban con deflexiones, traveses con grietas transversales y existía el riesgo de desplome y asentamiento del inmueble.

El dictamen detalla que el edificio se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad, ya que los muros de mampostería en su mayoría tenían daños irreversibles y muchos con riesgo de colapso, su comportamiento no era aceptable en términos de su cimentación y de su estructura como lo son: columnas, traveses y losas de entrepiso con deflexiones. Debido a lo anterior, junto con lo observado durante la inspección, se consideró que el edificio se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.



Figura 3.21. Descripción de daños en edificio CUA-94 – Riesgo Alto de Colapso: a) vista exterior E-W del edificio posterior al sismo, b) vista de uno de los departamentos donde se pudo observar el colapso parcial de un muro (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>), c) grietas en diagonal observables desde el exterior en vista N-S del inmueble (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>) y d) grietas en muros interiores del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ZYf3hU>).

3.6. Descripción edificio colapsado durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

Por último, en la Figura 3.22 se puede observar el edificio que colapsó durante el evento sísmico. Se tiene registro de que su año de construcción fue en 1957 (MCCI, 2018) y estaba constituido por 6 niveles, destinado y construido para uso habitacional, sin embargo, el uso del inmueble no era el adecuado, dado que los niveles superiores eran utilizados como oficinas y consultorios (Figura 3.22a). Asimismo, el inmueble tenía un espectacular en su último nivel que no cumplía con las normas. Su posible causa de colapso, se infiere que fue debido al menos a dos factores: 1) planta baja débil y el peso de un anuncio espectacular que no fue retirado de su azotea pese a estar fuera de norma desde 2010 y 2) que se encontraba ubicado en esquina.

No se tiene mayor conocimiento sobre lo ocurrido en el edificio, excepto a que su colapso provocó que el número total de víctimas fueran 11 y que el edificio colindante quedara inhabitable.

La dirección del edificio se visitó durante el mes de diciembre de 2018 (a un año tres meses del sismo del 19 de septiembre de 2017). Durante la visita sólo se observó el espacio del lugar vacío (Figura 3.22b).



Figura 3.22. Descripción del edificio BJ-84 – Colapso: a) Vista del edificio antes del sismo del 2017 y b) Vista del edificio posterior al sismo y a los trabajos de obra.

IV. MUESTRA 2: Viviendas con daño mayor después de 1985

4.1. Descripción general de la Muestra 2

De la misma forma que la muestra anterior, después de los sismos de 1985 se encontraron 299 edificios de vivienda reportados con daño mayor (SOS, 2002). En este estudio se identificaron esos 299 edificios y posteriormente, se procedió a revisar cada uno de ellos a través de inspecciones de banqueta para actualizar su uso, ya que, desde antes de 1985, se suponía que todos eran edificios de vivienda. Sin embargo, a diferencia de la Muestra 1, estos edificios eran más propensos a haber sufrido cambios de uso, o incluso demoliciones, en los años posteriores debido a que eran estructuras que se determinaron con daño mayor después de los sismos de 1985. Por esta razón, se consideró más importante verificar personalmente cuáles de todos estos edificios seguían siendo los mismos de vivienda que fueron reportados hace más de 30 años. De estas inspecciones de banqueta se encontró lo siguiente (Figura 4.1):

- 56% (167 de 299) de los edificios siguen siendo las viviendas que sufrieron daño mayor después de los sismos de 1985, y se considera que fueron rehabilitadas posteriormente.
- 7% (21 de 299) son espacios de estacionamientos. Estos espacios se encuentran en esta situación principalmente a que los edificios de vivienda de ese entonces fueron demolidos después de los sismos del 1985 debido a su estado de daño; esto significa, que no ha existido construcción desde esa fecha.
- 6% (19 de 299) de los inmuebles cambiaron su uso de suelo a lo largo de los últimos 30 años, desconociéndose el motivo y el momento en que esto sucedió. Entre los posibles cambios están el comercial, oficinas, escuelas e incluso hospitales.
- 29% (85 de 299) de los edificios eran construcciones nuevas, lo cual se pudo observar ya que el número de niveles observado era completamente diferente al reportado después de 1985, o debido a que su cambio de uso se consideró muy drástico.
- 1% (3 de 299) son inmuebles abandonados, donde se observó construcción, incluso de vivienda, pero sumamente deteriorada.
- 1% (4 de 299) de las direcciones revisadas se encontraban sin construcción alguna, y en su lugar se podía observar un parque, jardines, explanadas o simplemente el espacio vacío.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, este estudio se concentró únicamente en la observación de las estructuras de vivienda, más específicamente para la Muestra 2, aquellas que sufrieron daño mayor después de los sismos de 1985 y que se consideró que fueron rehabilitadas y/o reforzadas estructuralmente debido a los graves daños que sufrieron hace más de 30 años. Debido a esto, y según lo obtenido a partir de las inspecciones de banqueta, la información detallada dentro de este capítulo es referente únicamente a los 167 edificios de vivienda.

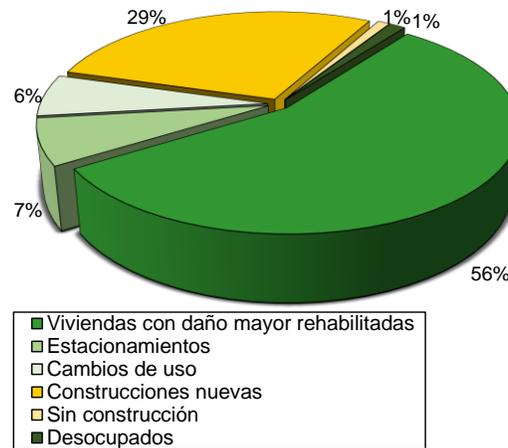


Figura 4.1. Estadística de 299 edificios: i) 167 corresponden viviendas rehabilitados (56%), ii) 21 estacionamientos (7%), iii) 19 cambios de uso (6%), iv) 85 nuevas construcciones (29%), v) edificios desocupados (1%) y vi) sin construcción o espacios públicos (1%).

En la Figura 4.2 se puede observar la distribución espacial georreferenciada a través de la Ciudad de México de la muestra de 167 (círculos rellenos naranja) de los 299 edificios de vivienda usados para conocer el comportamiento de viviendas que sufrieron daño mayor y que fueron rehabilitadas estructuralmente posterior a los sismos de 1985 ante el evento sísmico del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1. Además, en esta figura se presentan los 21 edificios que actualmente son espacios de estacionamiento, los 19 que presentaron cambios de uso, los 85 que se consideraron como construcciones nuevas, los 3 edificios abandonados y los 4 sin construcción o como espacios públicos de los 299 edificios. Adicionalmente, en esta Figura 4.2 también se presenta la zonificación sísmica en la que estaba dividida la Ciudad de México acorde a la norma técnica complementaria para diseño por sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1987 (NTC-DS, 1987), la cual cambió a partir del 19 de noviembre 1987. En la NTC-DS (1987), la Ciudad de México estaba dividida en 3 zonas: Zona I, Zona II y Zona III (Figura 4.3); siendo la zona III donde el valor de coeficiente sísmico de 0.4 g, representaba el valor mayor, como más adelante se indica. Se puede observar que la muestra de 167 de 299 edificios de vivienda reportados con daño mayor, rehabilitados (mediante un proyecto estructural) durante los años posteriores a 1985, se encuentra distribuida principalmente en las zonas II y III de estas 3 zonas sísmicas, pero una mayor concentración se presenta en las Zona III con 144 de 167 (86%) de los edificios de vivienda, seguido de la Zona II con 22 de 167 (13%), mientras que en la Zona I se encuentra solamente 1 de 167 (1%) de los edificios en estudio.

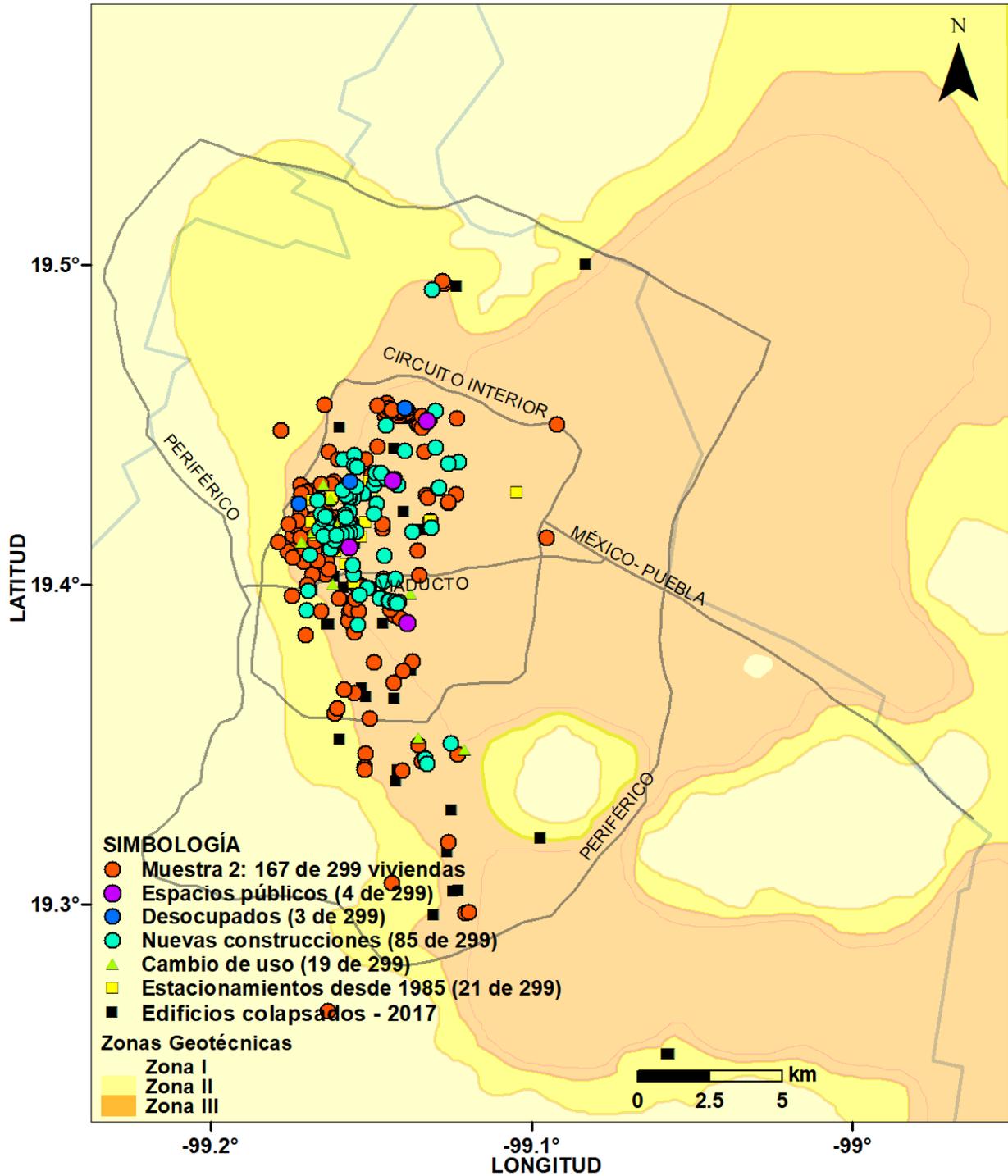


Figura 4.2. Distribución espacial ilustrativa de la Muestra 2 de los 299 edificios a través de la ciudad usadas en el estudio en función de las 3 zonas sísmicas en que estaba dividida la Ciudad de México acorde al RCDF (1987).

En la Figura 4.3a se presentan los espectros de diseño sísmico para cada una de las de las 3 zonas sísmicas en que estaba dividida la Ciudad de México. Los valores del coeficiente sísmico, c ,

son 0.16, 0.32, 0.40 para Zona I, Zona II y Zona III, respectivamente. Considerando que cada edificio de vivienda en estudio fue diseñado respecto al espectro de diseño sísmico del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1987 (NTC-DS, 1987), de la Figura 4.3b, se puede ilustrar que el 1% , 13% y 86% de las viviendas fueron diseñadas para soportar intensidades sísmicas en el intervalo elástico de $0.16g \times 2 = 0.32g$, $0.32g \times 2 = 0.64g$ y $0.40g \times 2 = 0.8g$ para Zona I, II y III, respectivamente; considerando un valor de sobrerresistencia de 2.0 que estaba implícito en la NTC-DS (1987).

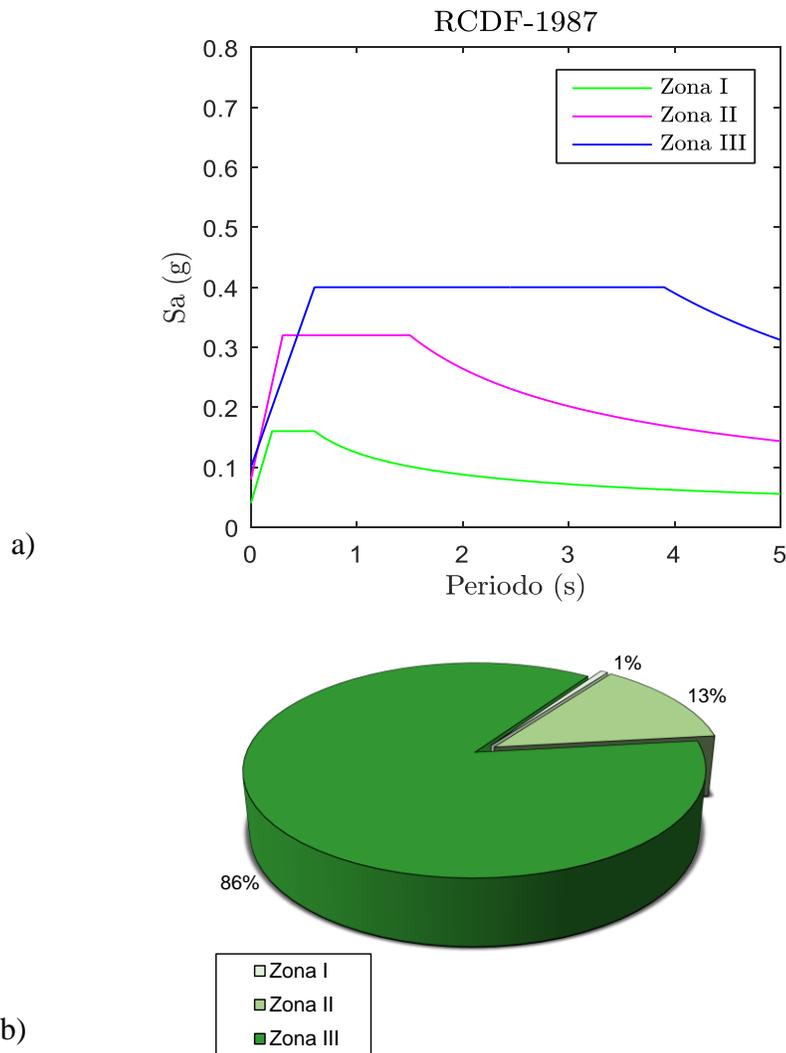


Figura 4.3. a) Espectros de diseño sísmico de la zonificación sísmica del RCDF (1987) y b) estadística de los 167 de 299 edificios de vivienda asociados a cada una de las zonas sísmicas del RCDF-1987.

4.2. Estadísticas de vivienda asociadas al periodo dominante del terreno

En la Figura 4.4 se muestra la distribución espacial de la muestra de los 167 de 299 edificios de vivienda usados a través de la Ciudad de México para conocer el comportamiento de viviendas rehabilitadas en estudio después del sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1. En esta Figura

4.4 se puede observar que la mayoría de las viviendas analizadas en esta Muestra 2 (80%) se encuentran en depósitos de suelo con periodo dominante del terreno, T_s , entre 1.0 a 2.5 s.

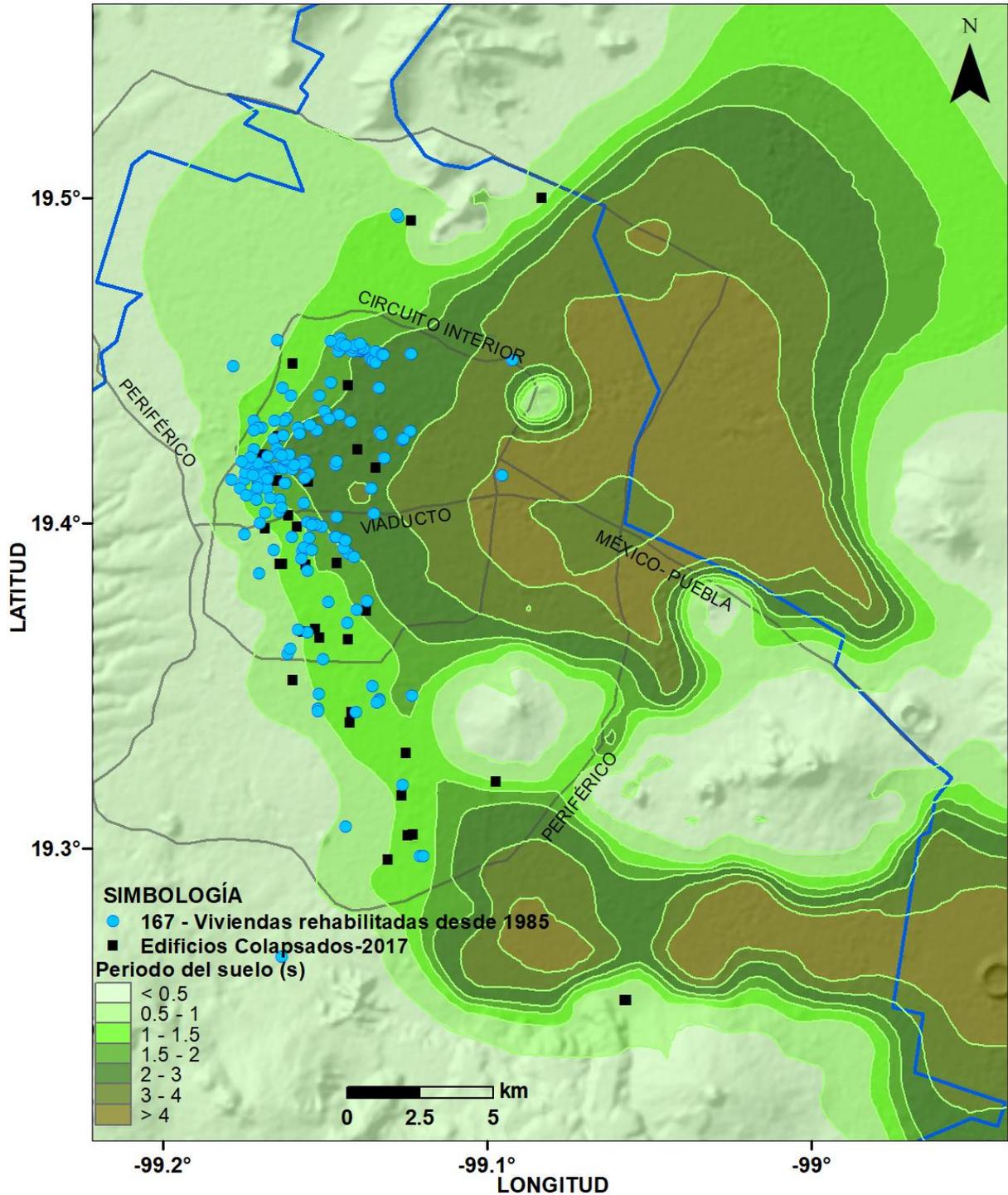


Figura 4.4. Distribución espacial a través de la ciudad de la Muestra 2 de 167 de los 299 edificios de vivienda rehabilitados que presentaron daño mayor después del sismo del 19 de septiembre de 1985 usados en el estudio.

Una revisión más clara se observa en la Figura 3.5, donde de los 408 edificios de vivienda analizados se detalla lo siguiente:

- 14% (23 de 167) se encuentra en depósitos de suelo con T_s entre $0.5 < T_s \leq 1s$.
- 37% (61 de 167) entre $1.0 < T_s \leq 1.5s$.
- 26% (44 de 167) dentro del intervalo de $1.5 < T_s \leq 2s$.
- 17% (29 de 167) se encuentra en $2s < T_s \leq 2.5s$.
- 6% (10 de 167) en depósitos con $T_s > 2.5s$.

Como más adelante se observará, los edificios de esta Muestra 2 que presentaron nivel de daño mayor se localizan en depósitos de suelo con de T_s de intervalo $1.0 < T_s \leq 2.5s$; estos depósitos de suelo coinciden con la zona de mayores intensidades sísmicas.

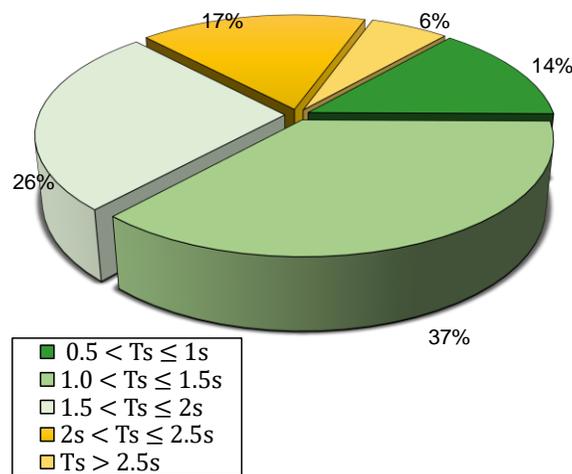


Figura 4.5. Estadísticas de la Muestra 2 de los 167 de 299 edificios de vivienda, usados en el estudio, asociados a intervalos de periodo dominante del terreno, T_s .

4.3. Inspección de banqueta – Características básicas de los edificios

En esta sección se presentan las características estructurales observadas durante las inspecciones de banqueta para los 167 edificios de vivienda del estudio en la Muestra 2. En estas revisiones desde el exterior de los inmuebles se revisaron las características estructurales siguientes (Figura 4.6): i) número de niveles (Figura 4.6a), ii) planta baja débil (Figura 4.6b), iii) posibilidad de golpeteo (Figura 4.6c), iv) edificio ubicado en esquina (Figura 4.6d), v) columna corta (Figura 4.6e) y vi) irregularidad en elevación (Figura 4.6f). De acuerdo a la Figura 4.6 se tienen la siguiente información de la muestra en estudio:

- *Número de niveles.* De los 167 edificios de vivienda analizados, el mayor porcentaje corresponde a los edificios que tienen un intervalo de entre 6 a 10 niveles con un 47% (79 de 167), seguido de ello se encuentran los inmuebles de 3 a 5 niveles (36%, es decir 60 de 167), después están aquellos edificios que van de 11 a 15 niveles con un 10% (17 de 167),

luego los edificios que van de 16 a 22 con 4% (7 de 167) y en último lugar los que van de 1 a 2 (4 de 167) niveles con un 3% (Figura 4.6a).

- *Planta baja débil.* Se puede apreciar que un porcentaje considerable de edificios (54%, 90 de 167) tiene esta particularidad, seguido del 46% (77 de 167) que corresponde a todos aquellos edificios que no tienen esta característica (Figura 4.6b).
- *Posibilidad de golpeteo.* De la muestra en estudio, la característica de posible golpeteo entre edificios colindantes se puede presentar en un 55% (92 de 167) de estos, y un 45% (75 de 167) podría no presentar golpeteo (Figura 4.6c).
- *Edificio ubicado en esquina.* De la Figura 4.6d se ilustra que el 63% (106 de 167) de las edificaciones en estudio no están ubicadas en esquina y solamente el 37% (61 de 167) presentan esta condición.
- *Columna corta.* De la muestra, los daños por columna corta se pueden presentar en el 19% (31 de 167) de las edificaciones bajo estudio y un 81% (136 de 167) no presenta columnas cortas (Figura 4.6e).
- Finalmente, en la Figura 4.6f se observa que la irregularidad en elevación está presente en un 4% (7 de 167) de los edificios analizados, seguido de esto con un 96% (160 de 167) en los cuales no hay irregularidad en elevación.

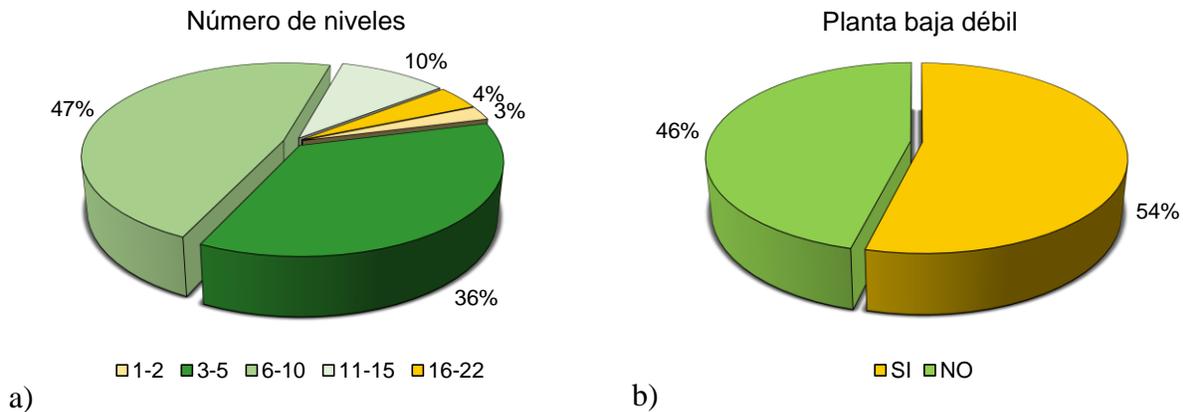


Figura 4.6. Estadísticas de la Muestra 2 de los 167 de 299 edificios de vivienda usados en el estudio asociadas a: a) número de niveles, b) planta baja débil, c) posibilidad de golpeteo, d) edificio ubicado en esquina, e) columna corta y f) irregularidad en elevación.

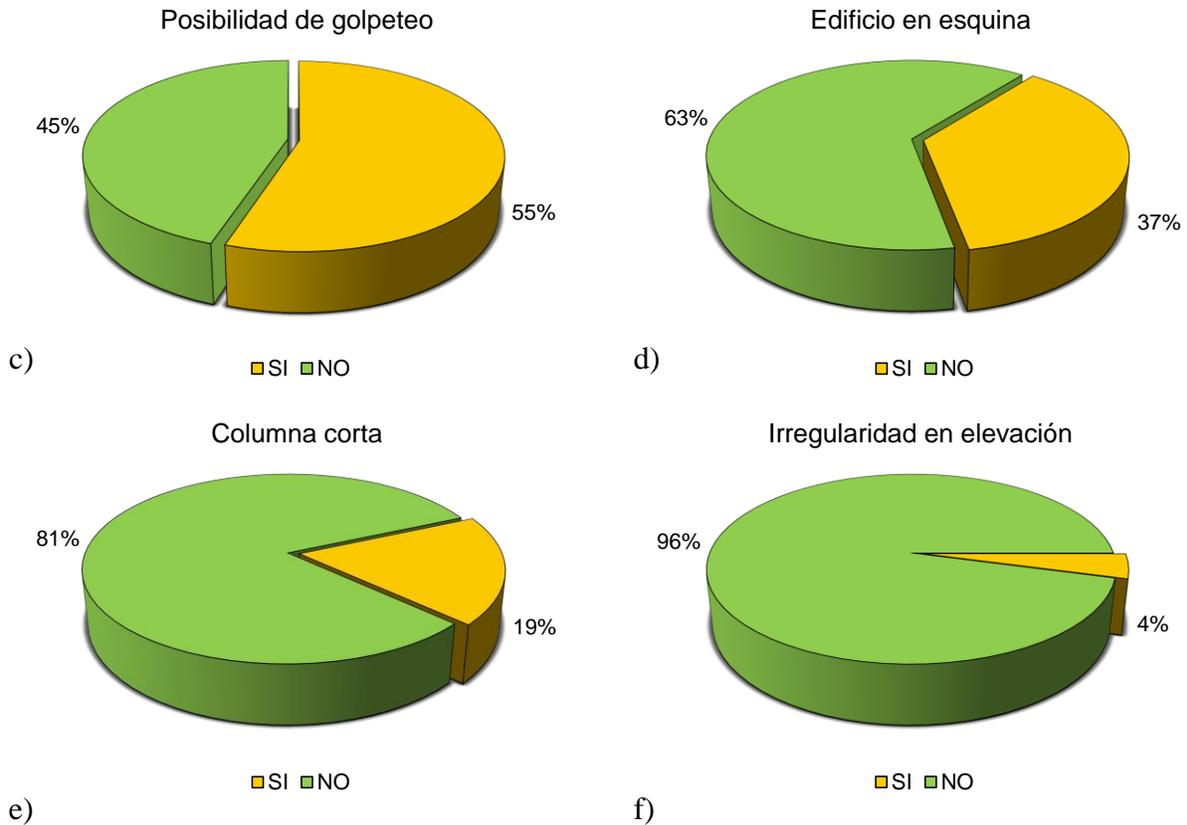


Figura 4.6. Continuación.

4.4. Inspección de banqueta – Daños observados

En esta sección se describirá parte de lo que se observó durante las visitas en algunos de los edificios de la Muestra 2. Sin embargo, es importante aclarar que para esta muestra sí se realizó la inspección de banqueta en los 299 edificios de vivienda reportados después del sismo de 1985 con daño mayor y/o demolición parcial (GDF-SOS 2002). Lo anterior se debe a que, como ya se mencionó, se consideró importante verificar el estado actual de estos edificios debido a que sufrieron daños más graves y una rehabilitación estructural después de 1985. Para tener más información acerca de las medidas de rehabilitación observadas e identificadas en los documentos expedidos revisados (es decir, formatos de evaluación post-sísmica y dictámenes), se puede referir a la Tabla B.1 del Anexo B.

Durante la revisión se encontró que existen 21 de 299 edificios de vivienda visitados que son estacionamientos, por lo que se puede intuir que del total de las viviendas que fueron reportadas con daño mayor hace más de 30 años se demolieron durante los años posteriores y ya no se realizó ninguna otra construcción en ese lugar, simplemente su adecuación y modificación a espacios de estacionamiento. Un claro ejemplo de esto, es el edificio CUA-141 donde antes se encontraba un inmueble que fue demolido debido a la inclinación que presentó después del sismo de 1985, y

donde ahora se localiza un estacionamiento (Figura 4.7a), o el caso del edificio CUA-121 que se derrumbó y donde actualmente también se encuentra un espacio de estacionamiento (Figura 4.7b).



Figura 4.7. Estacionamientos encontrados durante la inspección de banqueta: a) Estacionamiento con clave CUA-141 y b) Estacionamiento con clave CUA-121.

Por otro lado, se encontraron 4 de los 299 edificios reportados en 1985 con daño mayor y/o demolición parcial, donde hoy en día no existe construcción alguna, estos son espacios públicos. Tal es el caso de los edificios CUA-73 y CUA-30, donde el primero hace referencia a la ubicación donde se localizaba el Edificio Nuevo León en Tlatelolco y ahora se encuentra una explanada (Figura 4.8a), y el segundo es actualmente un parque, donde en 1985 cayeron varios de los edificios más altos un conjunto multifamiliar que ocupaban parte del lugar (Figura 4.8b).

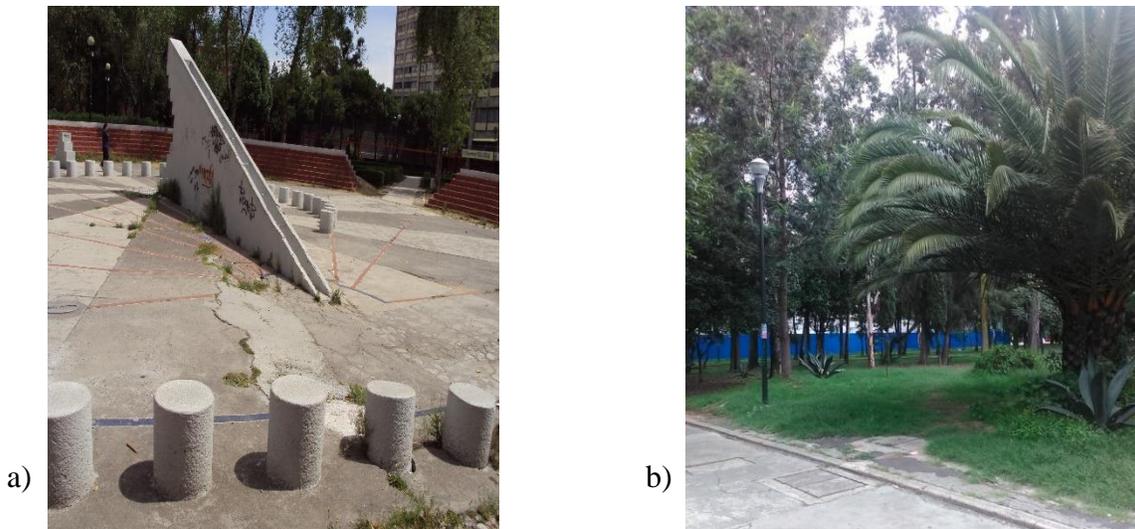


Figura 4.8. Direcciones encontradas sin construcción de ningún tipo durante la inspección de banqueta: a) Explanada con clave CUA-73 y b) Parque con clave CUA-30.

Durante la revisión también fue posible identificar 19 edificios con cambio de uso y 85 nuevos edificios de los 299 edificios que tuvieron un cambio posterior a los sismos de 1985, esto puede deberse a que las estructuras con daños en ese entonces modificaron sus características, o a que se derrumbaron o se demolieron los edificios y se construyeron nuevas edificaciones con fines distintos al habitacional. Esto se observó en el edificio CUA-116, donde actualmente se encuentra una escuela privada (Figura 4.9a), y en el edificio COY-03, el cual fue demolido debido a los daños por los sismos de 1985 y donde ahora se puede encontrar un taller mecánico (Figura 4.9b).

Se realizó la inspección de banqueta a otros edificios, de los cuales 3 de los 299 visitados se encontraron abandonados, tal es el caso del edificio CUA-166, donde se pudo observar un inmueble en situación desfavorable y que además cambió su uso a comercial (Figuras 4.10a y 4.10b).



a)



b)

Figura 4.9. Edificios identificados con cambio de uso y construcción nueva durante la inspección de banqueta: a) Escuela privada con clave CUA-116 (nuevo edificio) y b) Taller mecánico con clave COY-03.



a)



b)

Figura 4.10. Edificio deshabitado identificado durante la inspección de banqueta: a) Inmueble con clave CUA-166 y que además cambió de uso y b) Se muestra el desmonte de la parte frontal del edificio.

En secciones posteriores se presentarán las inspecciones de banqueta de los edificios con daños observados, es decir, las descripciones de algunos de los 167 de los 299 edificios de vivienda que sufrieron daño mayor después del sismo de 1985 y que fueron rehabilitadas mediante un proyecto estructural. Como resultados de las inspecciones, se encontró que en el 17% (28 de 167) de las edificaciones de vivienda se observan daños visibles desde el interior del edificio, pero no estructurales, en el 12% (20 de 167) se observaron daños estructurales desde el exterior e interior del inmueble, incluso daño severo, que implicó su demolición debida al sismo (5%, 9 de los 167 edificios están demolidos). En la Figura 4.11 se presenta la ubicación de los 48 de 167 (29%) edificios con daños observados, así como los 9 de 48 edificios que están demolidos o en proceso de demolición. En los edificios restantes (119 edificios) no se observaron daños desde la banqueta, ni se encontró registro de daños dentro de alguno de los documentos expedidos en la página web destinada para la difusión de esta información.

Por otro lado, en la Figura 4.12 se muestran los histogramas de la distribución respecto al número de niveles de las viviendas, del periodo del suelo y las aceleraciones espectrales en la componente horizontal para los edificios de la Muestra 2. En esta figura se observa la prevalencia de las construcciones de vivienda de 6 a 10 niveles (Figura 4.12a) tanto para edificios con daño estructural, así como para los que presentaron únicamente daño no estructural. Más específicamente, se puede notar que aquellos con daño no estructural van de los 3 a los 22 niveles (Figura 4.12a), se encuentran en sitios con periodos de suelo de entre 1.25 a 2.5 s (Figura 4.12b) y valores de aceleración espectral horizontal de 0.25 a 0.5 g (Figura 4.12c). Por otro lado, se observa que los edificios de vivienda que presentaron daño estructural tienen un número de niveles de entre 2 y 15 (Figura 4.12a) y están ubicados en periodos de suelo de 1.25 a 2.5 s (Figura 4.12b), teniendo de aceleración espectral horizontal valores en el intervalo de 0.25 a 0.5 g (Figura 4.12c).

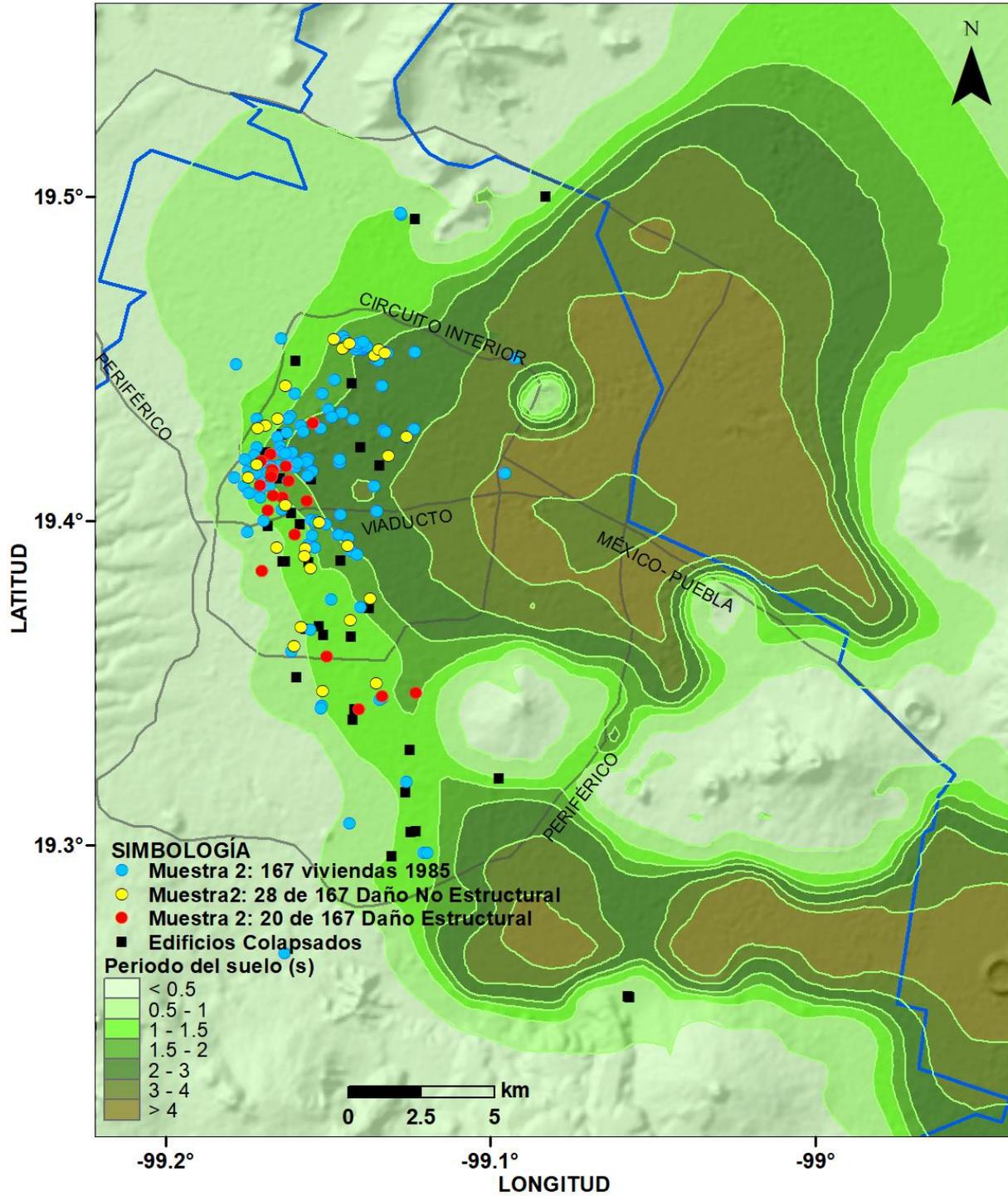


Figura 4.11. Ubicación de los 48 edificios de vivienda de 167 con daños observados.

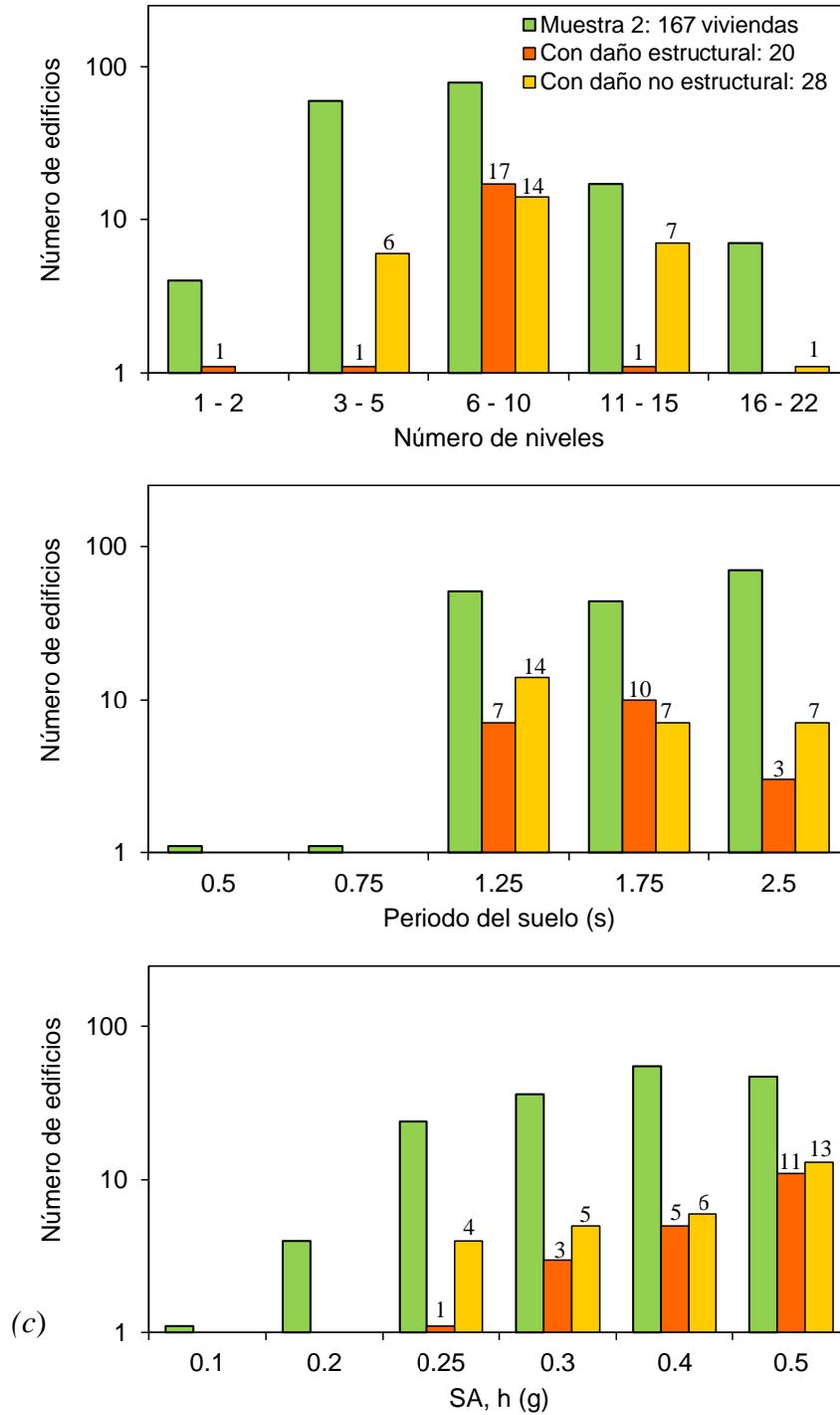


Figura 4.12. Histogramas de la distribución de la Muestra 2 en estudio: a) número de niveles, b) periodo del suelo y c) aceleración espectral en la componente horizontal. Verde: Muestra 2: con 167 edificios. Naranja: Muestra 2 con los 20 edificios que presentaron daño estructural. Amarillo: Muestra 2 con los 28 edificios que presentaron daño no estructural.

A continuación, se describen los daños en 6 de los 48 edificios representativos con daños y también se explican los 4 de los 9 edificios que se encuentran actualmente demolidos a causa de los daños generados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

4.5. Descripción de daños en 10 edificios por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

Para la descripción de los 48 de 167 edificios de vivienda con daños observados se incluye la Tabla B.2 en el Anexo B, en ésta se pueden identificar los edificios que resultaron demolidos posteriormente al sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1, así como los edificios que sufrieron daño estructural y los que presentaron daño no estructural. De la misma forma, a continuación, se presenta la Tabla 4.1 mostrando únicamente los 10 edificios de vivienda que serán utilizados como ejemplo para describir algunos de los daños observados debido al sismo.

En cada uno de los edificios se especifica su clave (columna 2), en la cual se indica la abreviatura de la delegación en la que se localizan; en la tercera columna se indica el número de niveles con los que cuenta cada uno de los edificios, es importante destacar que con respecto a los edificios que se encuentran actualmente demolidos (9 de 48), se coloca el número de niveles que tenía la estructura previa a su demolición. En la Tabla 4.1 también se presenta el sistema estructural de cada edificio (columna 4), remarcando que esta asignación del sistema estructural se basó prácticamente en la observación desde la banqueta y que no se contó con la ayuda de ningún plano arquitectónico o estructural para su determinación. Además, se especifica el periodo del suelo correspondiente dependiendo de su ubicación (columna 5). Y, por último, la sexta columna hace la aclaración de si el edificio se encontraba demolido a la fecha en la que se realizó la inspección de banqueta o si sólo se observaron daños debido a sismo (daños estructurales o no estructurales).

Tabla 4.1. 10 edificios con daños por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
1	CUA-22	8	MMC	1.433	×
2	CUA-59	10	MMC	1.240	×
3	CUA-135	8	MMC	1.163	×
4	CUA-136	9	MMC	1.371	×
5	BJ-42	11	MMC	1.194	€
6	CUA-202	9	MMC	2.058	×
7	CUA-19	11	MMC	1.444	××
8	CUA-142	8	MMC	1.447	××
9	BJ-33	7	MMC	1.010	××
10	COY-12	7	MMC	1.328	××

*Las abreviaturas MMC indica un sistema estructural de Mampostería con Marcos de Concreto.

**Símbolo con ×, € y ×× significa edificio con daño estructural, con daño no estructural y demolido/en proceso de demolición debido a sismo, respectivamente.

4.5.1. Descripción de daños en edificio CUA-22 – Riesgo Alto

El edificio CUA-22 es de 8 niveles, siendo su uso en planta baja para estacionamiento y el resto de los niveles para uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, la estructuración del inmueble está resuelta mediante marcos de concreto armado formados por columnas y losas planas aligeradas que funcionan como sistema de entrepiso. Además, presenta muros diafragma de mampostería en colindancias y muros divisorios al interior de los departamentos. La edad del inmueble es de aproximadamente 40 años, su forma de planta es irregular y se infiere que, dadas sus características estructurales, la cimentación es compensada.

El edificio se visitó durante el mes de mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después). Durante la primera visita no se identificaron daños debido a que el edificio se encontraba con trabajos de obra (Figura 4.13a), pero durante la segunda inspección se pudo observar al edificio prácticamente diferente debido a que estaba remodelado, aunque aún se notó que seguían trabajando en él. Por otro lado, es evidente que durante el sismo el edificio sufrió daños en su interior.

Según la información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, la estructura principal del edificio experimentó grandes deformaciones laterales ocasionando el desprendimiento del acabado (Figura 4.13b), el agrietamiento y fractura de algunos muros de mampostería en la mayoría de sus niveles (Figuras 4.13c, 4.13d, 4.13e, 4.13f y 4.13g), así como fisuras de forma superficial en algunas columnas de concreto aunque en las fotografías se observa daño severo en algunas columnas dentro de los departamentos (Figuras 4.13h, 4.13i y 4.13j). Lo anterior fue debido a una estructuración de planta baja flexible, una forma en planta irregular y un sistema de piso a base de losas planas aligeradas, por lo que deberán de revisarse de forma analítica sus desplazamientos laterales ante cargas sísmicas, verificando que se encuentren dentro de los límites permisibles del RCDF-2017. Asimismo, el inmueble presenta mantenimiento regular, se percibe un asentamiento diferencial y una inclinación.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de rigidización y reforzamiento estructural debido al excesivo desplazamiento horizontal experimentado durante el citado evento sísmico; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 4.13. Descripción de daños en edificio CUA-22 – Riesgo Alto: a) vista exterior N-S del edificio posterior al sismo, b) vista N-S de la fachada del edificio posterior al sismo y previo a trabajos de obra donde se observa el desprendimiento del acabado (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), c) daño en muro interior de uno de los departamentos del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), d) daño en muro de ventana (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), e) grieta en muro interior (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), f) grieta en muro interior y desprendimiento del acabado (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), g) daño en muros y acabados (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), h) daños observados en columnas desde el interior (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>), i) daño en muro interior y en columna donde se puede observar el acero de refuerzo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>) y j) daño en columna donde se observa el acero de refuerzo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NH2Iva>).



Figura 4.13. Continuación.

4.5.2. Descripción de daños en edificio CUA-59 – Riesgo Alto

El edificio CUA-59 es de uso habitacional, éste tiene 10 niveles con un semi-sótano, su tipo de cimentación es a base de pilotes. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, su estructura está conformada por marcos de concreto armado formados por columnas y trabes, muros de concreto y mampostería, y casetones en los entrepisos.

Este inmueble también se visitó durante el mismo mes de mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después), a la fecha de la primera inspección el edificio se encontraba deshabitado y con labores de trabajo, tenía vigilancia y su exterior estaba cubierto con una malla (Figura 4.14a), lo que impidió visualizar de forma adecuada los daños desde la banqueta. Entre los daños se observó daño en losas, así como carencia de muros exteriores (Figura 4.14c). En las Figuras 4.14b y 4.14d se ilustran algunos de los daños en muros y acabados que sufrió el inmueble debido al sismo. Durante la segunda visita, se siguió observado al edificio cubierto y vigilado, en la parte frontal se podían revisar todos los documentos que se habían sido emitidos a la fecha y en uno de ellos se pudo verificar que el edificio estaba siendo “reparado”, por lo que se entendió que sería rehabilitado y que se llevarían a cabo las obras necesarias para que pudiera ser utilizado posteriormente.

En cuanto a daños estructurales, según información del dictamen, se encontraron trabajos de remoción de acabados pudiendo detectar fisuras en columnas y huecos en losas en los primeros niveles en la esquina sur-oeste del edificio (Figuras 4.14e y 4.14f). Se retiraron acabados en muros divisorios que fueron dañados en el sismo. De la misma manera, se detectaron fracturas en uniones de muros mal estructurados y amarres de varillas mal realizadas.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de rehabilitación estructural; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.

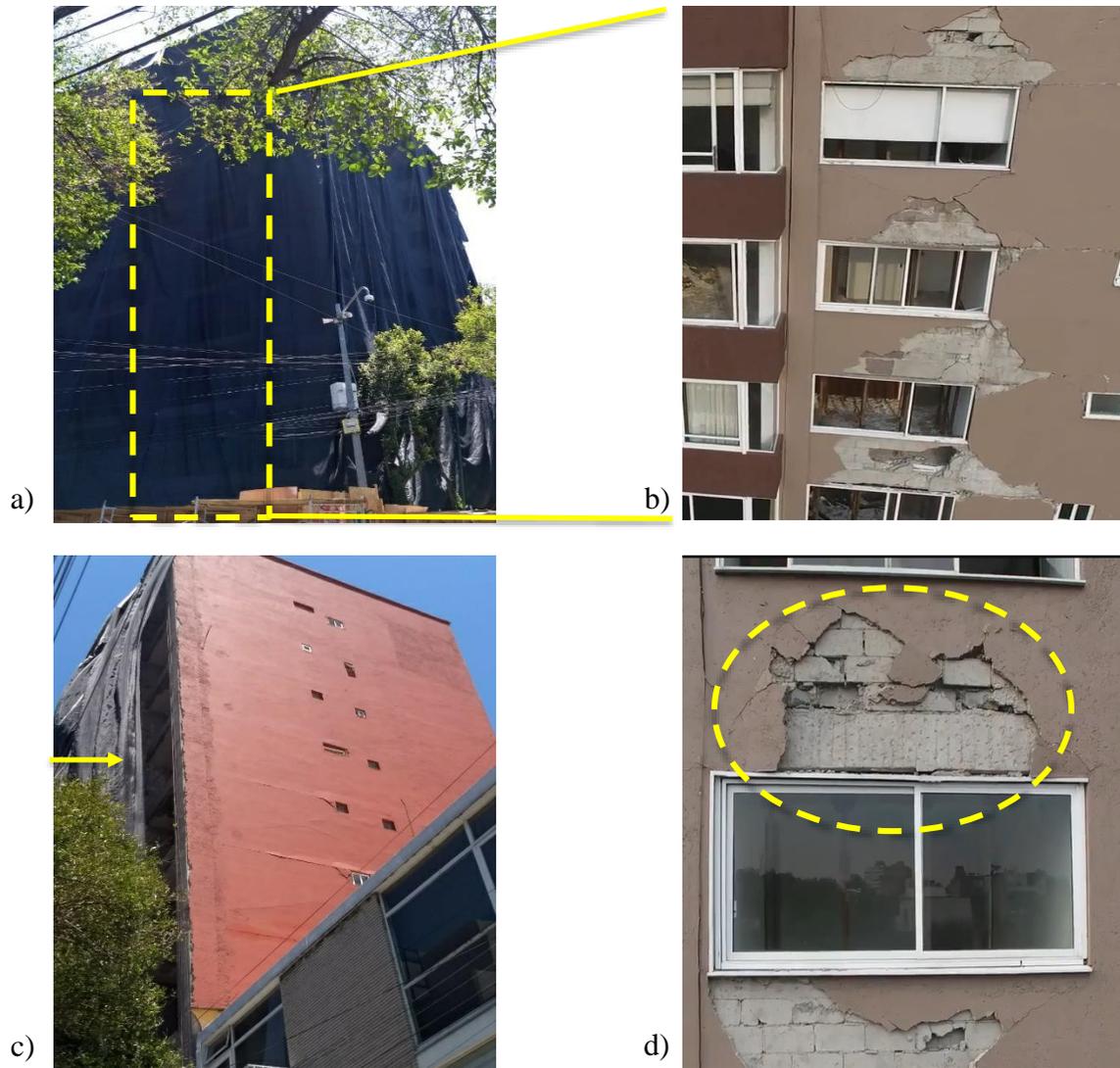


Figura 4.14. Descripción de daños en edificio CUA-59 – Riesgo Alto: a) vista frontal exterior de la estructura cubierta con una malla, b) acercamiento a la vista exterior de la estructura antes de ser cubierta con la malla donde se pueden observar daños en muros y acabados ([Edificios de México]. (2018, febrero 16). Dañado Edificio Cozumel, #19S | www.edemx.com [Archivo de video]. Obtenido de: <https://bit.ly/2MZrEKb>), c) vista lateral del edificio la cual se encontraba sin muros, d) detalles en el acabado y muros frontales ([Edificios de México]. (2018, febrero 16). Dañado Edificio Cozumel, #19S | www.edemx.com [Archivo de video]. Obtenido de: <https://bit.ly/2MZrEKb>), e) daños en muros interiores y f) daños en muros interiores se muestra el apuntalamiento (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CSbYbA>).

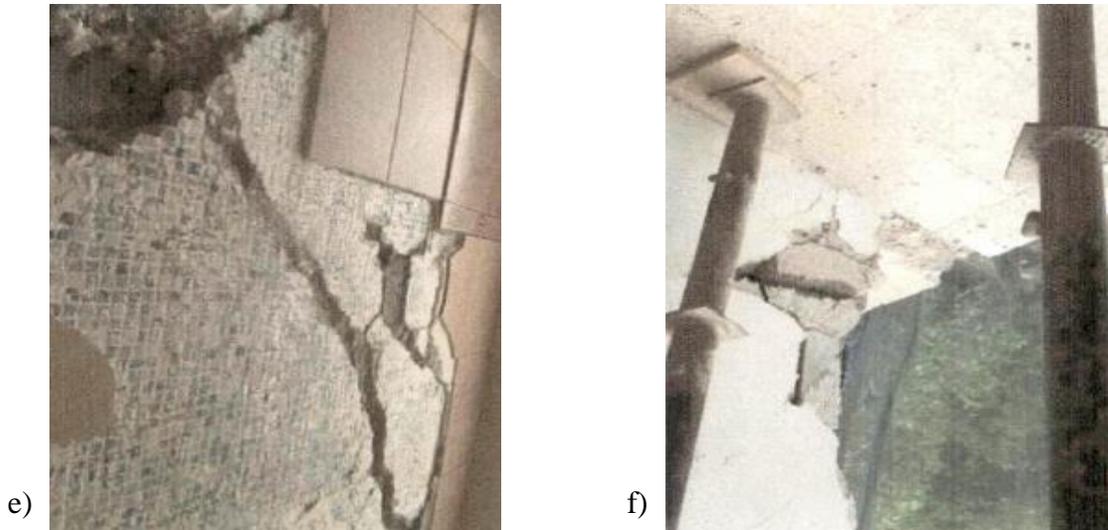


Figura 4.14. Continuación.

4.5.3. Descripción de daños en edificio CUA-135 – Riesgo Alto

El edificio CUA-135 consta de 8 niveles con cuartos en la azotea y, de acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio está estructurado a base de marcos de concreto armado constituidos por columnas de concreto y losa plana (Figuras 4.15a).

Este inmueble también se visitó durante el mismo mes de mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después). En cuanto, a la segunda inspección aún no se observan trabajos para rehabilitación, sin embargo, el inmueble sigue habitado. Se tiene conocimiento de que el edificio tiene daños en su interior.

Según la información del dictamen, debido al sismo, los muros de los niveles inferiores presentan grietas diagonales (Figuras 4.15b, 4.15c y 4.15d), las dalas y castillos también están agrietados y muchos sufrieron caída de aplanados. Se observaron también algunas fisuras en columnas con desconchamiento del concreto en niveles superiores debido al golpeteo que se generó con el edificio colindante dejando al descubierto el acero de refuerzo (Figuras 4.15e y 4.15f). Las juntas de colindancias con construcciones vecinas no cumplen con la separación mínima que establece el reglamento.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de reforzamiento debido a los daños en elementos secundarios y al riesgo de golpeteo con los edificios vecinos en caso de un sismo intenso; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 4.15. Descripción de daños en edificio CUA-135 – Riesgo Alto: a) vista exterior E-W del edificio posterior al sismo, b), desprendimiento de acabados en muro longitudinal en colindancia norte, c) fisuras en muros de colindancia norte en uno de los departamentos (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CUlpHB>), d) grietas a 45° en muros divisorios (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CUlpHB>), e) columna de concreto dañada por golpeteo de edificio contiguo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CUlpHB>) y f) desprendimiento de recubrimiento en columna de concreto debido a golpeteo del edificio colindante (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CUlpHB>).

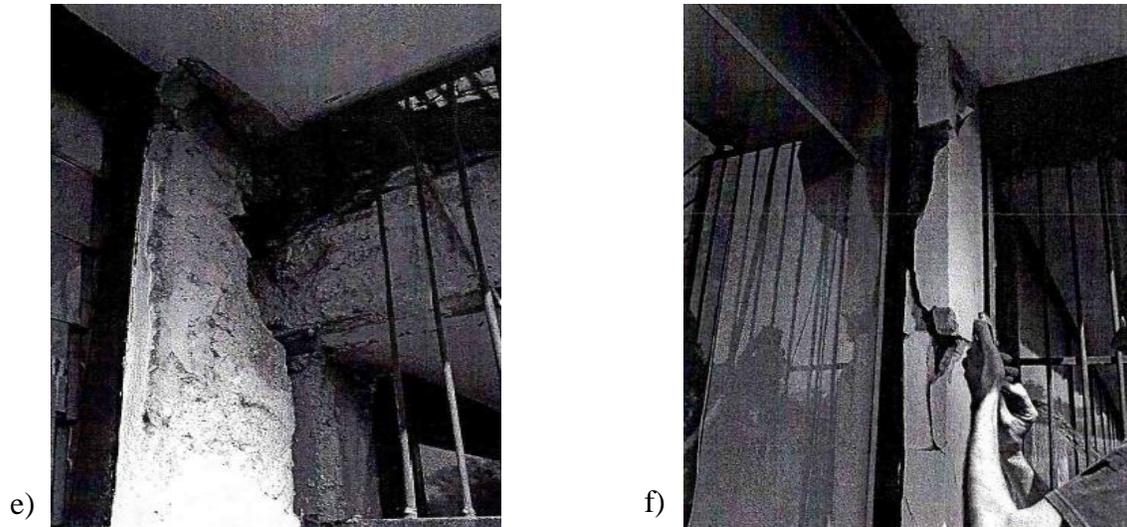


Figura 4.15. Continuación.

4.5.4. Descripción de daños en edificio CUA-136 – Riesgo Alto

El edificio CUA-136 es de uso habitacional y se conforma de 9 niveles. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el edificio está estructurado a base marcos de concreto armado formados por columnas y trabes, además fue reforzado en alguna época con placas y pernos de acero, con muros diafragma en algunas zonas y con un sistema de piso a base de losa maciza de concreto reforzado. La cimentación del edificio se infiere que es de tipo profunda.

El inmueble se visitó en junio de 2018 (a nueve meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después), el edificio durante la primera inspección se encontraba deshabitado y con labores de trabajo, también contaba con vigilancia y estaba rodeado por una cinta de advertencia (Figura 4.16a). Durante la segunda visita se pudo observar que el edificio ya no se contaba con trabajadores realizando labores, pero seguía rodeado por la cinta.

De acuerdo con información del dictamen, a raíz de los fenómenos sísmicos recientes, el edificio sufrió daños en su estructura principal, encontrando grietas por cortante en algunas trabes en varios de sus niveles. De igual manera, la mayoría de sus muros diafragma y divisorios de mampostería mostraban agrietamientos por cortante. La edificación mostró un ligero desplome hacia su costado norte. En este edificio se observaron daños por tensión diagonal en muros frontales (Figuras 4.16b, 4.16c y 4.16d), y entre otras afectaciones el desprendimiento del acabado. Asimismo, se sabía que el edificio tenía daños en su interior (Figuras 4.16e, 4.16f y 4.16g). Además, se encontraron daños en los muros exteriores del edificio (Figura 4.16h).

La edificación muestra un relativo desplome hacia su costado norte. Los daños referidos son atribuibles a grandes deformaciones laterales debido a una estructuración de planta flexible y una forma irregular en planta y elevación, por lo que deberán de revisarse sus desplazamientos laterales

ante cargas sísmicas, con el fin de corroborar que se encuentren dentro de los límites permisibles por el RCDF-2017.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de rigidización y reforzamiento estructural, por lo que no podrá ser ocupado en razón de la magnitud de los daños reportados; y con base en lo anterior, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 4.16. Descripción de daños en edificio CUA-136 – Riesgo Alto: a) vista frontal E-W del exterior del edificio, b) daños en muros exteriores frontales, c) daños en muros de la entrada al inmueble, d) detalle de daños en acabados en vista frontal y grietas en diagonal en muros, e) daños en muros interiores del edificio, se observan grietas a 45° (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2x98bkQ>), f) daños en muros interiores con grietas (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2x98bkQ>), g) daños en muros interiores con grietas a 45° (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2x98bkQ>) y h) daños en los muros exteriores del edificio en dirección N-S (2018) (Imágenes obtenidas de: <https://bit.ly/2x98bkQ>).

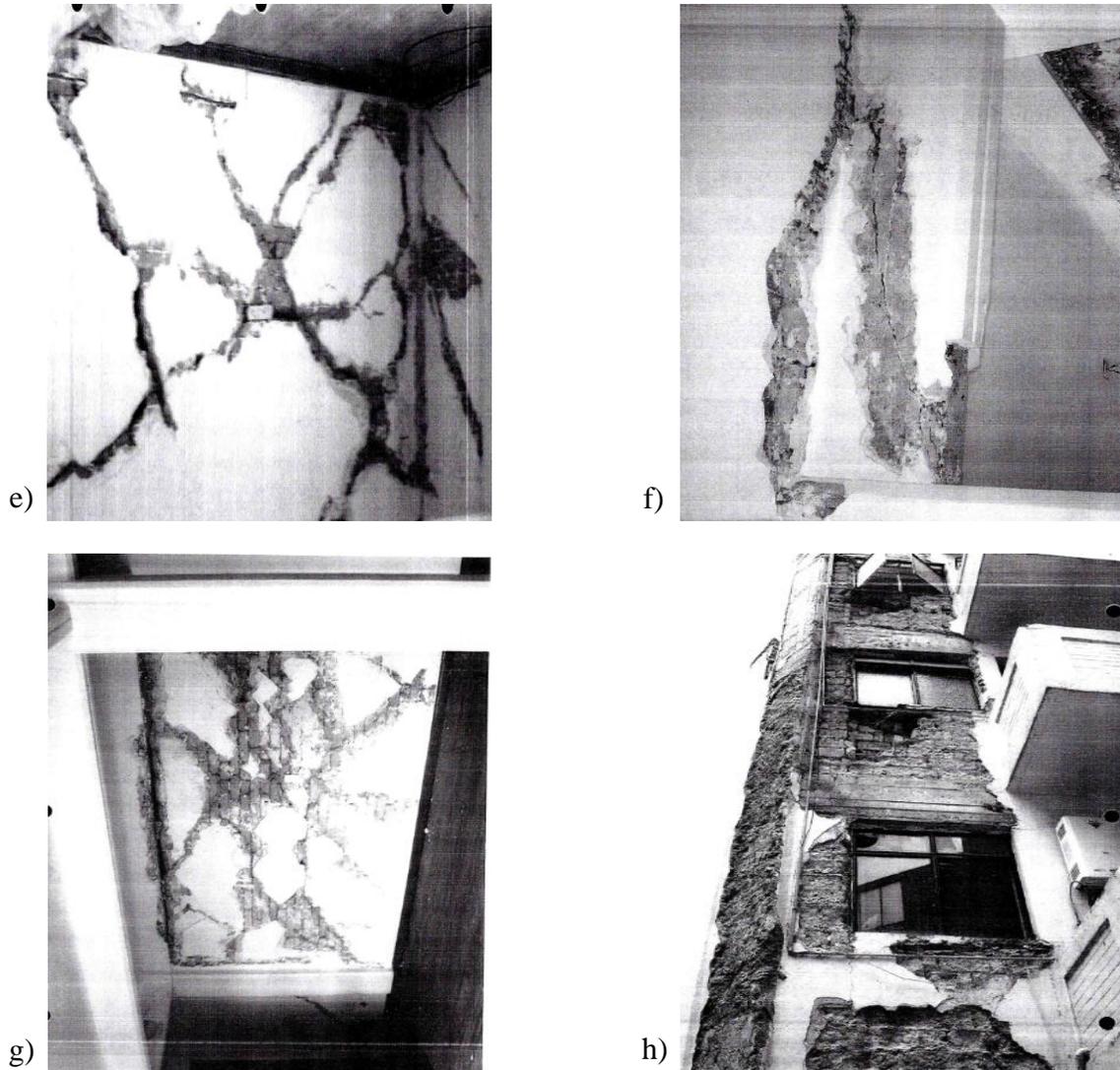


Figura 4.16. Continuación.

4.5.5. Descripción de daños en edificio BJ-42 – Riesgo Medio

El edificio BJ-42 es de uso habitacional, cuenta con 11 niveles y está conformado por dos torres iguales. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, está estructurado con marcos de concreto armado y losas planas; en el sentido corto cuenta con muros diafragma en las colindancias y en el módulo del elevador, además se infiere que su cimentación está constituida por un cajón de concreto.

El inmueble fue visitado también en el mes de mayo de 2018 y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después), y hasta la primera fecha se encontraba deshabitado y con un aviso respecto a la situación del inmueble para los dueños. Además, estaba rodeado con una cinta de advertencia (Figura 4.17a).

Según información del dictamen, a raíz del sismo, el inmueble presentó grietas principalmente en elementos no estructurales, desprendimiento con exposición del acero de refuerzo. Los muros de mampostería presentaron grietas diagonales en “X” en todos los niveles y el colapso de algunos de ellos (Figuras 4.17b, 4.17c y 4.17d). Se observó la separación de varios muros de mampostería en la estructura principal. Asimismo, dado el desplome existente, es posible que con el sismo se haya incrementado dicha separación. Se trata de una estructura de planta baja débil, por lo que se recomendó realizar la revisión de los desplazamientos laterales ante cargas sísmicas para ver si cumplían con los valores vigentes del reglamento. De igual manera, se reportó la caída de los acabados de la estructura principal y muros de mampostería (Figuras 4.17e, 4.17f y 4.17g). Los daños se observaban en ambas torres (Figura 4.17h).

Durante la segunda visita el edificio ya no se encontraba rodeado por una cinta de advertencia y se observaron reparaciones de los daños, debido a que era notorio que se realizaron trabajos en muros y acabados en algunas zonas. Se observó que se habían colocado contraventeos entre las dos torres (Figura 4.18i), así como acero de refuerzo en la planta baja del estacionamiento (Figura 4.17j).

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de verticalización y reforzamiento estructural; además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Medio”.



Figura 4.17. Descripción de daños en edificio BJ-42 – Riesgo Medio: a) entrada del edificio con cinta de advertencia, b) daños en muros y acabados observados en vista frontal E-W, c) daños en el interior del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2p5aPDP>), d) daño en muro interior (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2p5aPDP>), e) daños en acabados en vista lateral del edificio dirección N-S, f) daño en columna y desprendimiento del acabado (2018) Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2p5aPDP>), g) desprendimiento del acabado en muro al interior del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2p5aPDP>), h) daños en muros de torre contigua, i) colocación de contraventeos entre las dos torres, vista N-S y j) visualización de colocación de acero de refuerzo en la planta baja, dirección E-W.

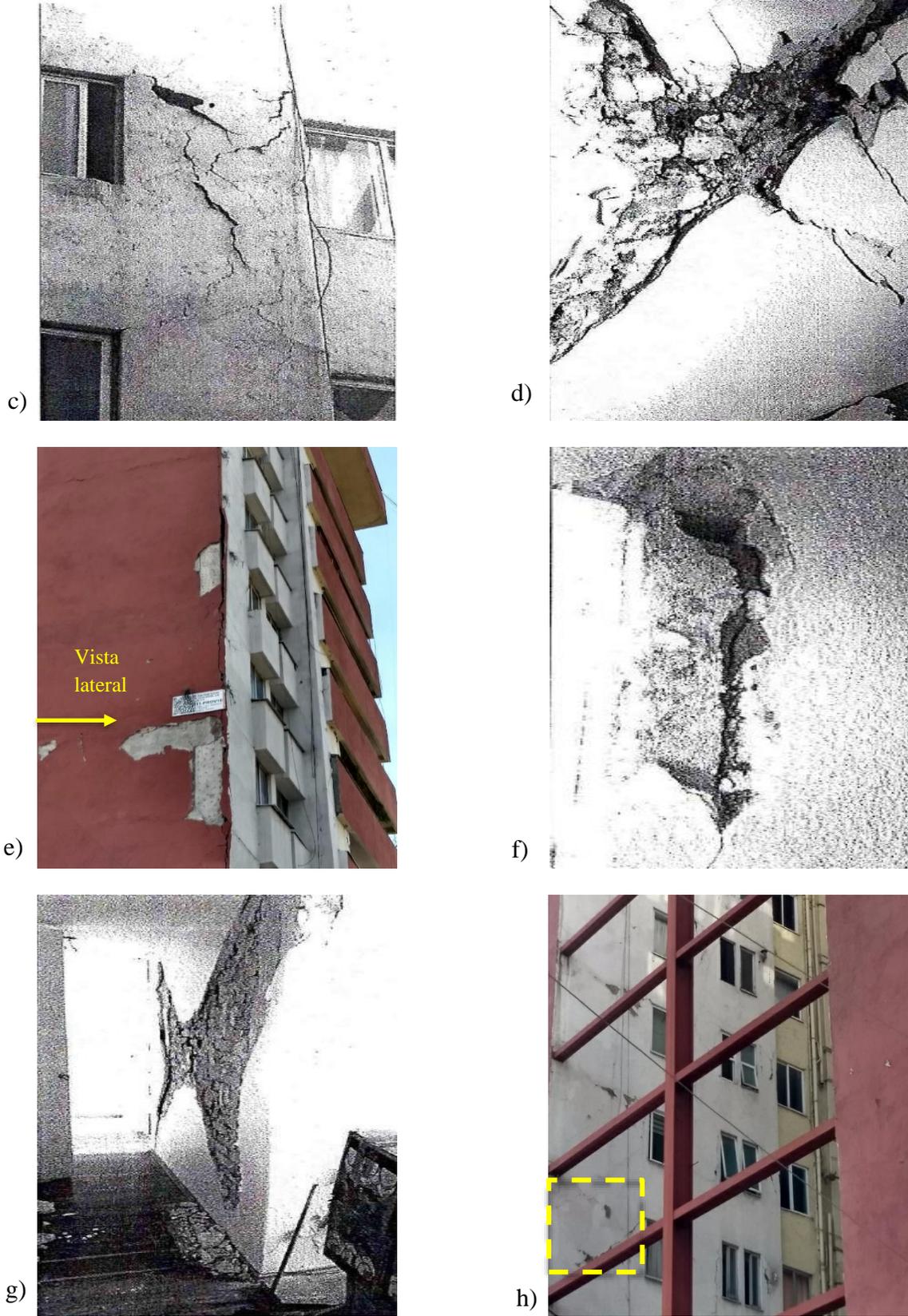


Figura 4.17. Continuación.



Figura 4.17. Continuación.

4.5.6. Descripción de daños en edificio CUA-202 - Riesgo Alto

El edificio CUA-202 consta de 9 niveles y cuenta con un nivel de sótano (Figura 4.18a). De acuerdo a lo descrito en el dictamen, el inmueble tiene una estructuración a base de marcos de concreto armado formados por columnas y losas planas aligeradas que funcionan como sistema de entrepiso, con muros diafragma de mampostería en algunas zonas y muros divisorios en los departamentos, infiriendo que cuenta con una cimentación profunda.

El inmueble se visitó en mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después). Durante ambas visitas se pudieron observar solamente daños en los muros frontales del edificio, y además se pudieron percibir trabajos de obra dentro del mismo.

Según información del dictamen, a raíz del sismo, el edificio mostró contar con un mantenimiento adecuado, dado que no se encontraron afectaciones por humedad, salitre o fugas del sistema hidrosanitario. No se observaron daños en la estructura principal, sin embargo, se observaron agrietamientos diagonales severos y fracturas en algunos muros divisorios y muros diafragma (Figuras 4.18b y 4.18c). Así también, se reportó la caída de los acabados de la estructura principal y muros de mampostería (Figura 4.18d). Al interior, el edificio presentó agrietamientos en los muros divisorios (Figuras 4.18e, 4.18f y 4.18g), así como el desprendimiento de los acabados (Figura 4.18h y 4.18i). Se observó también el agrietamiento en un muro colindante.

El dictamen especifica que el edificio debe ser sometido a un proyecto de rigidización estructural, ya que experimentó grandes deformaciones laterales debido a una estructuración de planta baja flexible y al sistema de piso a base de losas aligeradas; además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto”.



Figura 4.18. Descripción de daños en edificio CUA-202 – Riesgo Alto: a) vista E-W del exterior del edificio, posterior al sismo, b) daños en muros observados en la vista frontal, c) daños en acabados en vista lateral del edificio, d) daños en los acabados de la entrada del estacionamiento, e) daño en muro con grieta a 45° (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2x8mshW>), f) grieta a 45° en muro interior (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2x8mshW>), g) daños en muros divisorios (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2x8mshW>) y h) desprendimiento de acabado en muro divisorio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2x8mshW>).



Figura 4.16. Continuación.

4.5.7. Descripción de daños en edificio CUA-19 – Demolición

El edificio CUA-19 cuenta con 11 niveles y fue construido para uso habitacional a finales de la década de los 60's, por lo que cuenta con una antigüedad aproximada de 50 años. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, la edificación es irregular en planta, ya que adopta la forma de "H" y no cumple con las condiciones de regularidad que establece el RCDF-2017. La estructuración fue resuelta a base de marcos de concreto armado formados por columnas y losa plana aligerada con bloques de cemento-arena de 30 cm de espesor, como sistema de entrepiso. Al centro de la planta del edificio se localiza el núcleo del elevador formado por muros de concreto de 15 cm de espesor.

A raíz del sismo de 1985, se realizaron trabajos de reparación y reforzamiento en la estructura, sobre las colindancias oriente y poniente, en la zona de los cubos de iluminación se colocaron diagonales de concreto que llegan hasta el nivel 5 y contraventeos metálicos que fueron fijados a

la estructura original de concreto mediante pernos desde el nivel 6 hasta la azotea. También en sentido transversal se colocaron contraventeos metálicos hasta el nivel 7. La cimentación se basa en un cajón de concreto con muros perimetrales de contención y una losa de fondo, la cual considerando la zonificación geotécnica en que se desplanta el edificio, zona lacustre, se infiere que está apoyado en pilotes de fricción. A la fecha de las inspecciones, existía la evidencia de una emersión importante del edificio de 70 cm aproximadamente, respecto a las edificaciones vecinas.

El edificio se visitó durante el mes de mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después). Durante las dos visitas se encontró vigilancia en la entrada del edificio, aunque en ese momento no se tenía conocimiento de si éste seguía siendo habitado o no. Se observó un desplome considerable en el edificio (Figura 4.19a), otros daños se observaron en la rampa de la entrada del edificio (Figura 4.19b) y además la entrada se encontraba abierta por lo que se pudo observar que el primer nivel estaba apuntalado (Figura 4.19c). Además, se tenía conocimiento de daños en su interior como lo era el desprendimiento del elemento de contraventeo, falla en conexión de contraventeo (Figuras 4.19d y 4.19) y falla en columna (Figura 4.19e).

Según información del dictamen, como consecuencia del sismo de septiembre de 2017 y por el tipo de estructuración y la irregularidad de la estructura, el edificio presentó grandes desplazamientos y distorsiones de entrepiso, lo que ocasionó severos esfuerzos de torsión en los elementos estructurales, ocasionando que las conexiones de los contraventeos metálicos se desprendieran de la estructura de concreto generándose fuerzas excesivas en los nodos (puntos de unión losa-columna) toda vez que se encontraron grietas en las columnas con el acero expuesto en niveles inferiores, y que en los muros de los primeros niveles presentaran fallas por cortante, con grietas diagonales con aberturas de más de 3 mm, que generaron severos desprendimientos en acabados.

En las uniones columnas-trabes se apreciaron grietas diagonales, síntomas de grandes esfuerzos en estos elementos, de los cuales algunas causaron fuertes desconchamientos de concreto dejando ver el acero longitudinal y estribos (Figura 4.19g). En los niveles superiores se observaron las mismas fallas y en los mismos sitios, pero con la diferencia de que eran menos pronunciadas. En general, en todos los niveles había una pronunciada distorsión de entrepiso, señal de la pérdida de verticalidad de la estructura, además de un desplome y emergimiento visible (Figura 4.19h).

Debido a los daños que presentan los elementos estructurales, a la irregularidad en planta de la estructura, así como contar con una planta baja débil, se concluyó que la edificación se encontraba en un estado de alta vulnerabilidad ante cualquier evento sísmico de magnitud importante, es decir, podría sufrir algún colapso parcial o total afectando su entorno.

El dictamen especifica que el edificio no podía ser ocupado en razón de las condiciones de inestabilidad que presentó, ya que ponía en riesgo la vida de los ocupantes, vecinos, peatones y automovilistas, asimismo, comprometía la seguridad y estabilidad de edificaciones colindantes a

él; además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Alto Riesgo de Colapso”.

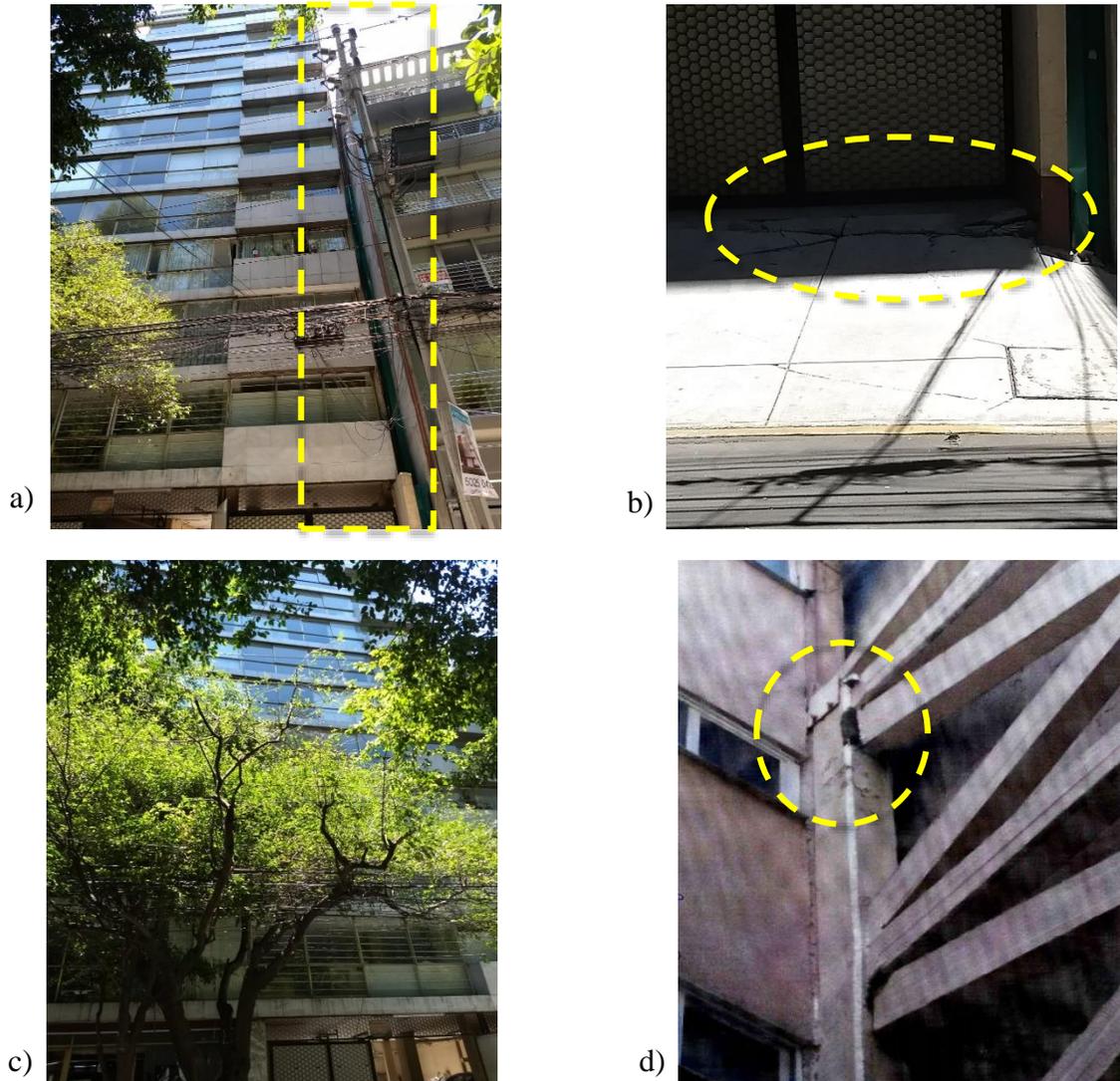


Figura 4.19. Descripción de daños en edificio CUA-19 – Demolición: a) vista exterior N-S del edificio después del sismo, donde se pudo observar el desplome que presentó el inmueble, b) detalle del exterior del edificio donde se pudieron observar daños en rampa de entrada, c) vista frontal N-S del edificio posterior al sismo, d) desprendimiento del elemento del contraventeo observado desde el interior del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OiSHBA>), e) falla en columna y desprendimiento del acabado (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OiSHBA>), f) falla de conexión del contraventeo (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OiSHBA>), g) vista del daño en columna de uno de los departamentos (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OiSHBA>) y h) vista del asentamiento de la losa de estacionamiento en la frontera con la cimentación del edificio (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OiSHBA>).



Figura 4.19. Continuación.

4.5.8. Descripción de daños en edificio CUA-142 - Demolición

El edificio CUA-142 antes del sismo de 2017, era de uso habitacional, contando con 8 niveles (Figura 4.20a). El inmueble fue visitado en agosto de 2018, y actualmente se encuentra demolido (Figura 4.20b). De igual manera, se obtuvo la vista de este edificio del “Google Street View”, desde la cual se podía observar que existía la posibilidad de golpeteo con las edificaciones colindantes. En las Figuras 4.20c y 4.20d se pueden visualizar algunos de los daños que sufrió el edificio debido al sismo y antes de que fuera demolido.

Según información del dictamen, después de realizar una nueva evaluación post-sísmica, se lograron corroborar las afectaciones en los muros divisorios de mampostería, así como los daños en los muros de rigidez de concreto, en los cuales se observaron fracturas y agrietamientos en forma diagonal en todos los niveles. De igual forma, se pudo determinar con precisión que el edificio

contaba con una inclinación o desplome hacia el norte de 38 cm y al poniente de 26 cm, excediendo los límites permisibles establecidos en las Normas Técnicas Complementarias.

El dictamen especifica que, aunque se realizó un estudio de la posibilidad de reforzar y verticalizar el edificio, debido a la inclinación, esto no sería posible ya que implicaría un riesgo para los trabajadores. Por lo tanto, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.



Figura 4.20. Descripción de daños en edificio CUA-142 – Demolición: a) Vista frontal E-W del edificio antes del sismo, b) Vista actual después del sismo y posterior a la demolición, c) Daños en columnas y ventanas rotas observados en la vista frontal, previo a la demolición. (Colonia Roma Sur. (24, septiembre, 2017). ¡Vecinos mucha PRECAUCIÓN! Edificio Nautla XX. Con daño estructural ya catalogado para derribar. [Tuit]. Recuperado de: <https://bit.ly/2OwFmVJ>) y d) Daños en el interior del edificio después del sismo y previo a la demolición, se observa apuntalamiento. (Obras CDMX. (30, mayo, 2018). En Nautla

XX, Colonia Roma Norte en la Delegación Cuauhtémoc se realiza el apuntalamiento del tercer y cuarto nivel. [Tuit]. Recuperado de: <https://bit.ly/2skHnfg>).

4.5.9. Descripción de daños en edificio BJ-33 – Demolición

Este edificio BJ-33 era de uso habitacional y contaba con 7 niveles y dos torres. La visita de este inmueble se llevó a cabo durante el mes de mayo de 2018 (a ocho meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después).

Durante la primera visita se encontraba deshabitado y con aviso respecto a la situación del inmueble para los propietarios. En este edificio se percibieron daños por compresión en columnas (Figura 4.21a), así como daños por golpeteo entre estructuras vecinas (Figura 4.21b) y daños por tensión en contraventeos (Figura 4.21c). También se observaron daños por tensión diagonal en muros frontales, así como el desprendimiento del acabado (Figura 4.21d). Durante la segunda visita se pudo corroborar que el edificio ya había finalizado su demolición (Figuras 4.21e y 4.21f).

Según información del dictamen, se observaron afectaciones en una columna de la planta baja, además de que los contraventeos instalados en el edificio presentaron desprendimiento en sus conexiones con la estructura principal, desde la planta baja hasta el quinto nivel. También se tuvieron fracturas en la mayoría de los muros de rigidez y divisorios de mampostería.

El dictamen especifica que, dado que la resistencia del edificio era escasa, no existía la posibilidad de reforzar y rigidizarlo, de igual manera debido al gran porcentaje de afectaciones en elementos estructurales en la planta baja, implicaría un costo elevado el querer hacer una rehabilitación. Por lo tanto, además de lo observado durante la inspección de banqueta, se consideró que el inmueble se encontraba en “Riesgo Alto de Colapso”.

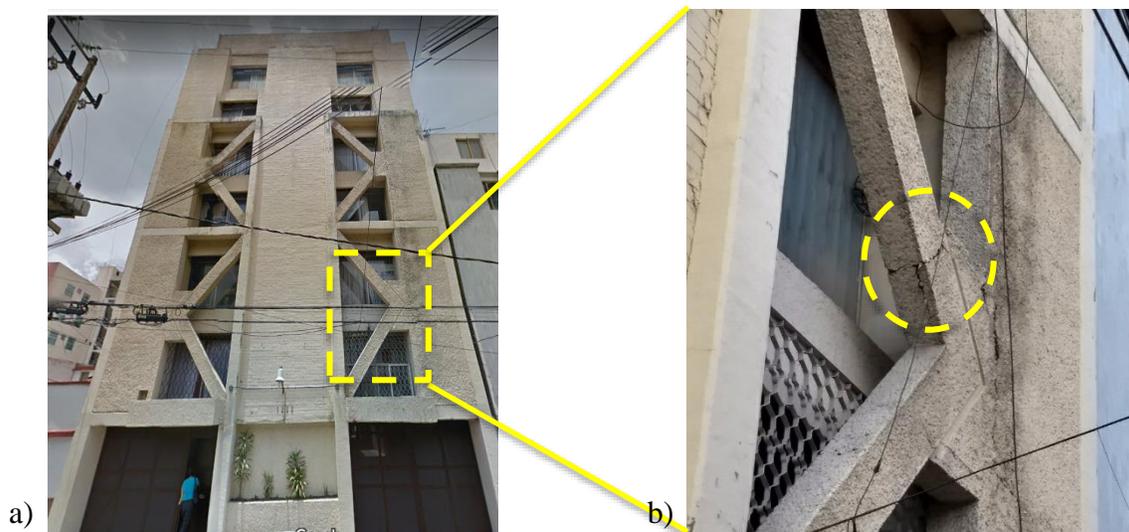


Figura 4.21. Descripción de daños en edificio BJ-33 – Demolición: a) vista frontal E-W del edificio obtenida del “Street view” antes del sismo, b) daños en contraventeo del segundo nivel observados en el

exterior de la vista frontal, c) vista frontal del edificio posterior al sismo en dirección E-W, d) daños por golpeteo con edificio colindante, e) vista del edificio posterior a su demolición en dirección E-W y f) vista del edificio posterior a la demolición a 45°.



Figura 4.21. Continuación.

4.5.10. Descripción de daños en edificio COY-12 –Demolición

El edificio COY-12 contaba con 7 niveles (Figura 4.22a), en donde en cada nivel existía un departamento de uso habitacional. De acuerdo a lo descrito en el dictamen, la estructura del edificio se encontraba constituida por marcos de concreto armado formados por columnas y losas planas, contaba con muros de mampostería de tabique rojo recocido y escaleras de concreto armado.

El inmueble se visitó en junio de 2018 (a nueve meses del sismo del 19 de septiembre de 2017) y se realizó una segunda visita en octubre de 2018 (cinco meses después). En la primera inspección

que se realizó, solo se había observado la inclinación que presentaba el edificio donde se obtuvo que de norte a sur se tuvo un desplome de 34 cm hacia el sur, y en dirección este-oeste un desplome de 33 cm hacia el oriente (Figura 4.22b), así como daños en la entrada y parte de la banqueta (Figuras 4.22c y 4.22d), por lo que en un principio el edificio se consideró como en estado de Riesgo Alto. Sin embargo, con la segunda inspección que se realizó se encontró que ya se estaban realizando labores para demolerlo, por lo que, no se pudo tomar evidencia fotográfica, debido a que los guardias de seguridad no nos lo permitieron, evitando el paso. Se logró observar que ya no se contaba con los muros frontales, ni con muros divisorios dentro del inmueble.

Según información del dictamen, a raíz del fenómeno sísmico, el edificio presentó daños menores, es decir, solo en acabados en los niveles superiores. Sin embargo, en lo que se refiere a los niveles inferiores, los muros de mampostería presentaban daños severos, que iban desde fisuras hasta grietas en forma de “X” (Figuras 4.22e y 4.22f). Los elementos estructurales, como columnas y trabes presentaban fisuras. Presentó golpeteo con el edificio colindante y en la parte frontal del inmueble se presenta una separación entre el suelo y la estructura de alrededor de unos 10 cm.

El edificio se consideró para Demolición debido a los altos costos para regresarlo a su verticalidad y el reforzamiento estructural necesario, además del riesgo que contraía para los ocupantes, vecinos, peatones, automovilistas y edificios colindantes.

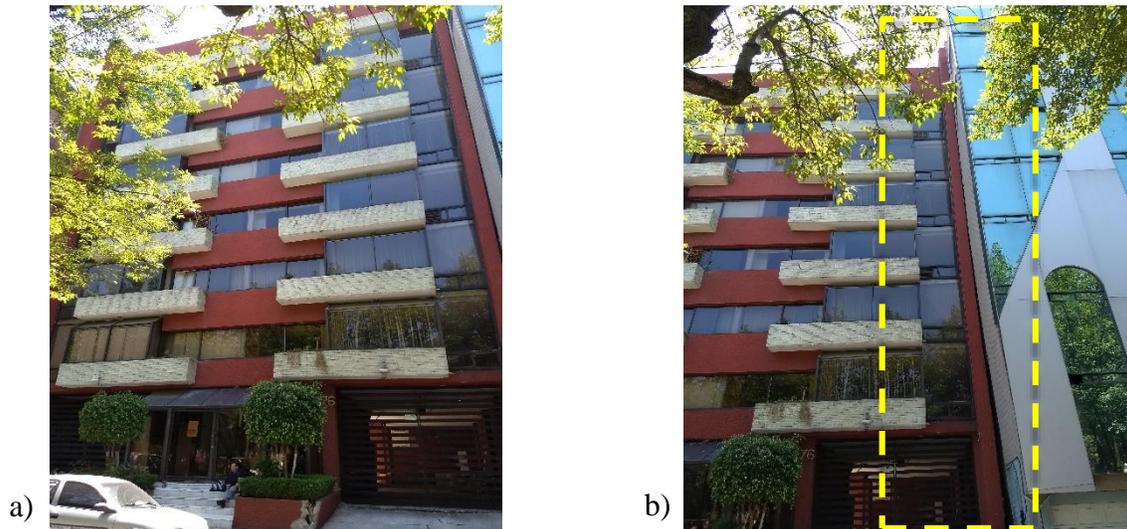


Figura 4.22. Descripción de daños en edificio COY-12 – Demolición: a) vista frontal E-W del exterior del edificio posterior al sismo, b) vista del edificio E-W donde se observa desplome y posible golpeteo con edificio colindante, c) daños observados en la rampa de entrada al estacionamiento, d) daños observados en la entrada del edificio, e) fisuras en muros interiores (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2N9LzLo>) y f) desprendimiento del acabado en columnas (2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2N9LzLo>)



c)



d)



e)



f)

Figura 4.22. Continuación.

V. COMPARACIÓN ENTRE MUESTRAS 1 Y 2

Una vez descritas ambas muestras, en este capítulo se busca comparar las estadísticas ya mencionadas en los capítulos anteriores y algunas otras que se consideraron oportunas para poder deliberar cuál de las dos muestras resultó ser más vulnerable con base en los daños observados debido al sismo del 19 de septiembre del 2017 Mw7.1. Primero se enlistan las estadísticas necesarias para, posteriormente, poder presentar las curvas de fragilidad de ambas muestras.

Para comenzar, en la Figura 5.1 se observa la distribución espacial a través de la Ciudad de México de los 441 edificios de la Muestra 1 (triángulos blancos) y los 299 edificios de la Muestra 2 (cuadrados blancos). De la misma forma, los edificios de vivienda de las muestras quedan delimitados con los triángulos y cuadrados negros para la Muestra 1 y 2, respectivamente.

5.1. Tamaño de las muestras

Antes de empezar con los resultados obtenidos a partir de la comparación entre muestras, es necesario aclarar que el número de edificios que se inspeccionaron, y se consideraron únicamente como edificios de vivienda, fueron 408 (Muestra 1) y 167 (Muestra 2) edificios, dando, así como consecuencia el tamaño final de cada muestra. Sin embargo, estos números fueron resultado simplemente de la cantidad de viviendas de 1985 que seguían teniendo uso habitacional en la actualidad, por lo que es necesario verificar si las muestras finales de viviendas usadas pueden considerarse como representativas.

Como ya se mencionó en un principio, las muestras estaban constituidas por 441 y 299 edificios, para la muestra 1 y 2, respectivamente; sin embargo, con la revisión del uso de suelo, estas muestras se redujeron a 408 y 167 edificios, respectivamente. Debido a esto, y para determinar si estos números eran representativos para las muestras seleccionadas, se utilizó la siguiente ecuación de Krejcie y Morgan (1970):

$$n = \frac{\chi^2 \cdot N \cdot P \cdot (1 - P)}{(ME^2 \cdot (N - 1)) + \chi^2 \cdot P \cdot (1 - P)}$$

donde:

n es el tamaño de la muestra

χ^2 es el chi-square para el nivel especificado de un grado de libertad

N es el tamaño de la población

P es la porción de la población (asumida como 0.5 ya que esto daría el máximo tamaño de muestra)

ME es el margen de error deseado (asumido como 6%)

Los resultados del mínimo número de edificios obtenidos para ambas muestras son 167 y 142 edificios, para la muestra 1 y 2, respectivamente. Como se puede ver, el tamaño final de las

muestras seleccionadas (408 y 167 edificios) excede un nivel de confianza del 94% y pueden ser consideradas como representativas.

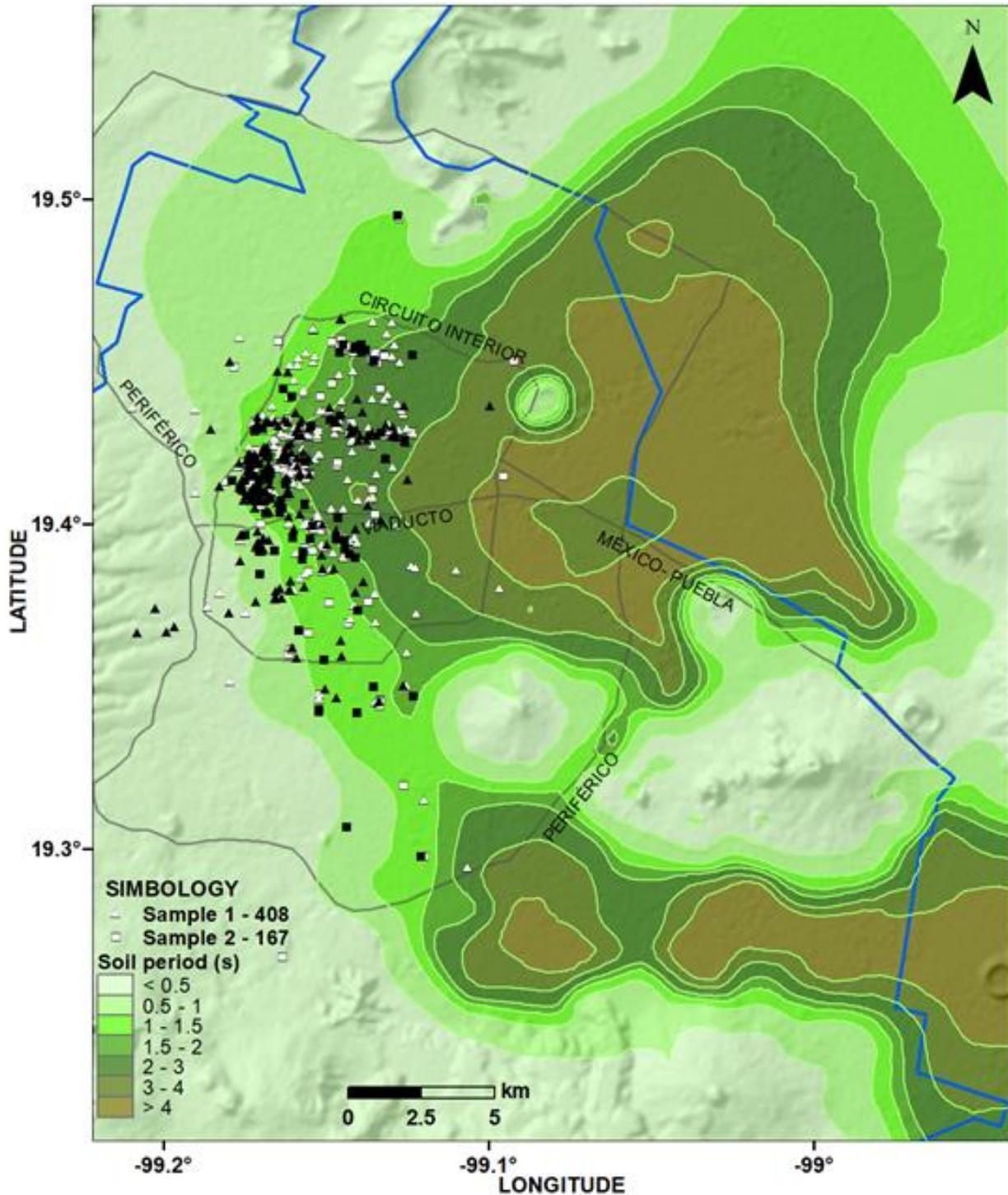


Figura 5.1. Distribución espacial de edificios por muestra: a) Muestra 1 – viviendas que sufrieron daño menor previo al sismo de 1985 (triángulos) y b) Muestra 2 – viviendas que presentaron daño severo después del sismo de 1985 (cuadrados). Los triángulos y cuadrados blancos representan los 408 y 167 edificios que fueron estudiados para la muestra 1 y 2, respectivamente.

5.2. Caracterización de entrada sísmica

Se utilizaron los registros de fuertes movimientos del terreno del sismo del 19 de septiembre del 2017 (Mw7.1) asentados en 75 estaciones para estimar los valores espectrales de pseudo-aceleración (SA) para cada vivienda georreferenciada analizada en este estudio. Para calcular los valores de SA para los otros sitios alrededor de toda la Ciudad de México, se hizo uso de un esquema de interpolación bayesiana. Los detalles son dados por Pérez-Rocha (1999) y Pérez-Rocha *et al.* (2009).

En la Figura 5.2 se presenta la distribución espacial en toda la ciudad considerando el evento sísmico del 19 de septiembre de 2017, así como la aceleración máxima del terreno y las 75 estaciones acelerométricas (triángulos) y en la Figura 5.3 se observa esa misma distribución espacial considerando las intensidades espectrales para el período estructural de $T = 1$ s. En la Figura 5.3 también se muestran los 38 edificios colapsados durante este evento del 19 de septiembre del 2017 (cuadrados). Hay que tener en cuenta que las intensidades más altas se presentaron en SA ($T = 1$ s), lo cual está muy bien correlacionado con el daño en las construcciones de la Ciudad de México. De la misma manera, se puede observar en la Figura 5.3, que donde se ubican los 38 edificios colapsados (cuadrados) las intensidades fueron mayores de 0.6 g.

Para relacionar el valor de SA correspondiente al período dominante de una estructura T dada, utilizamos la expresión empírica comúnmente utilizada en la Ciudad de México:

$$T = 0.1 \cdot N$$

donde, N es el número de niveles del edificio.

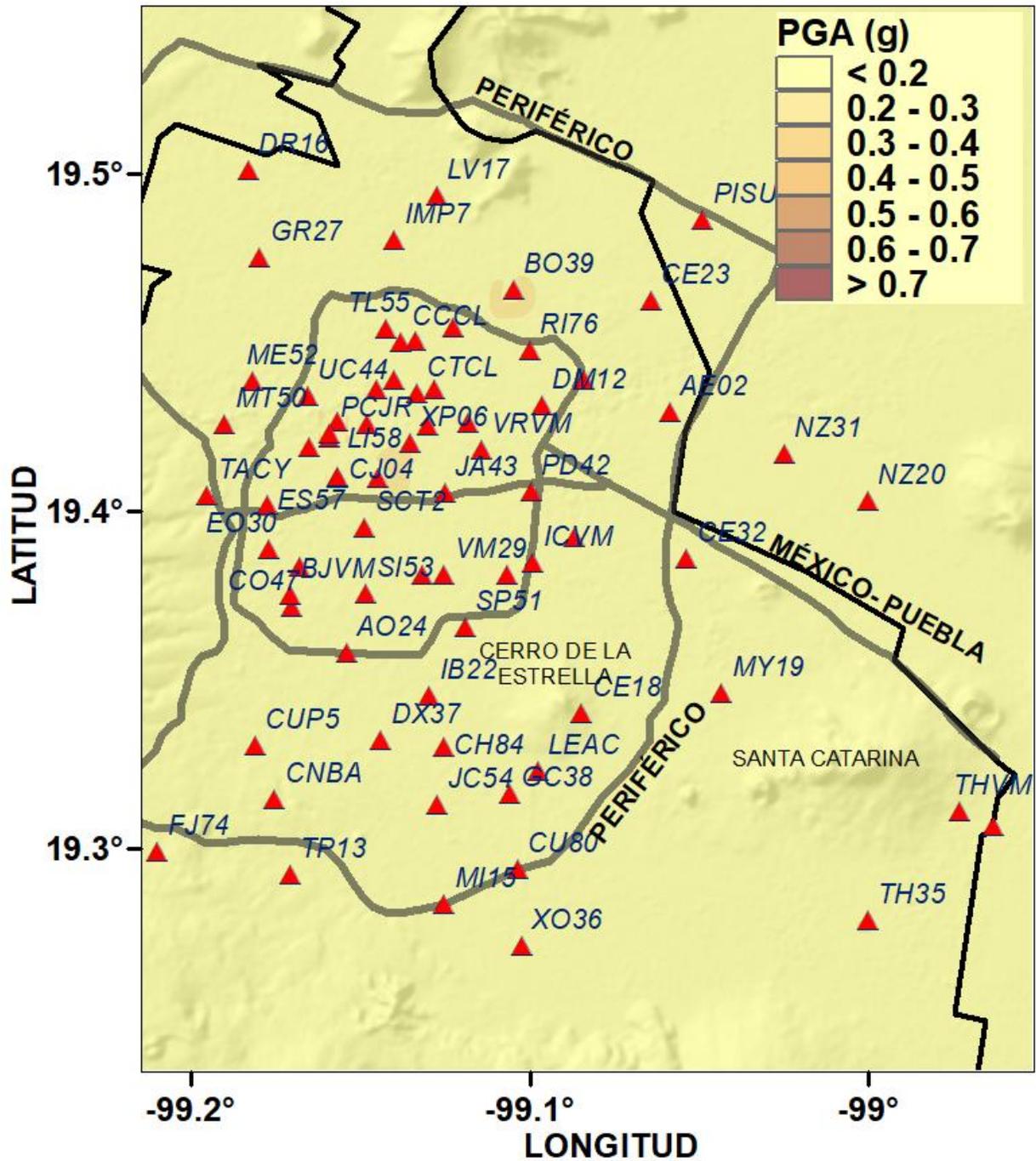


Figura 5.2. Distribución espacial en toda la ciudad considerando el sismo del 19 de septiembre de 2017: aceleración máxima del terreno y 75 estaciones acelerométricas (triángulos).

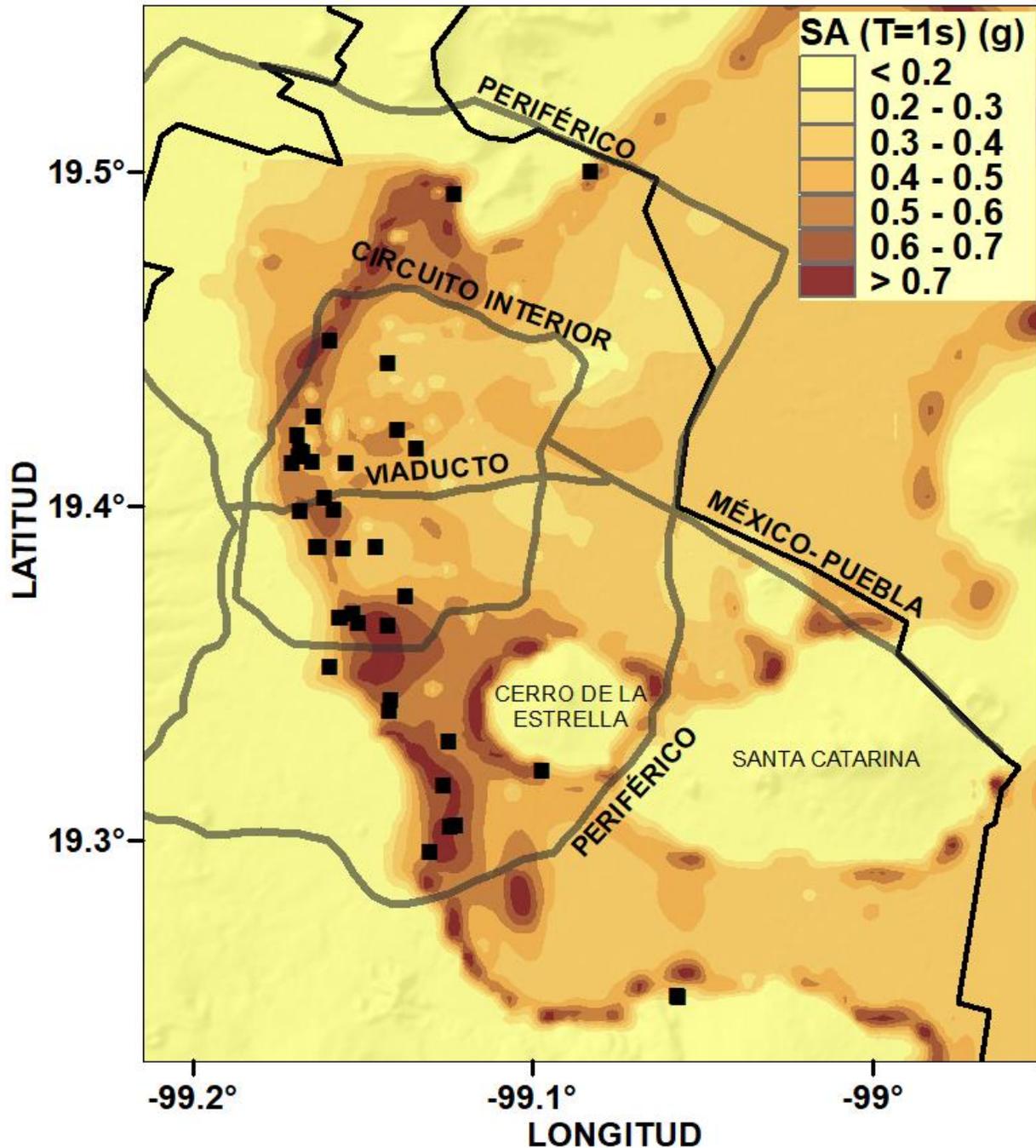


Figura 5.3. Distribución espacial en toda la ciudad considerando el sismo del 19 de septiembre de 2017: intensidad espectral para el período estructural de $T = 0.1$ s; los edificios colapsados se muestran en cuadrados.

5.3. Estadísticas de intensidades obtenidas

La Figura 5.4 muestra los histogramas de frecuencia relativa de los edificios de vivienda en función de la medida de intensidad para la Muestra 1 (Figura 5.4a) y la Muestra 2 (Figura 5.4b)

considerando todos los niveles. Sin embargo, se decidió construir los histogramas considerando los daños de la siguiente manera: a) sin daño (*DS0*), b) con daño no estructural (*DS1* a *DS2*) y c) con daño estructural (*DS3* a *DS5*). Esto con el fin de poder observar más claramente el comportamiento de las muestras en función de las intensidades.

En la Figura 5.4a se observa que en la Muestra 1, los edificios que presentaron daño no estructural (*DS1* a *DS2*) estuvieron sometidos a valores de SA en el intervalo de 0.075 a 0.625 g. Si bien, se observa una mayor distribución de edificios con este tipo de daño dentro del intervalo de 0.275 a 0.575 g.

Para los edificios que presentaron daño estructural, los valores de SA van desde 0.225 hasta 0.675 g, observando una mayor distribución de los edificios dentro del intervalo de 0.275 a 0.475 g. Por otro lado, para la Muestra 2, en la Figura 5.4b se percibe que tanto para los edificios con daño no estructural como para los que tienen daño estructural, los valores de SA se encuentran dentro del intervalo de 0.225 a 0.625 g, teniendo una distribución más uniforme.

Además, se obtuvieron los valores promedio de SA para cada uno de los estados de daño (*DS0*, *DS1*, *DS2*, *DS3* y *DS4*) y para ambas muestras, teniendo lo que se visualiza en la Tabla 5.1. Donde se puede apreciar que los valores de SA aumentan en función del estado de daño (esto es, para el *DS0* se tienen valores de SA menores que los que se tienen para *DS1*, y así sucesivamente). La única excepción de esto se observa en la Muestra 2 para el estado de daño *DS4*. Sin embargo, los valores de SA también tienden a tener valores promedio parecidos en ambas muestras, lo que disminuye el sesgo y permite que pueda considerarse como válida la idea de que ambas muestras se sometieron a valores similares de SA durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.

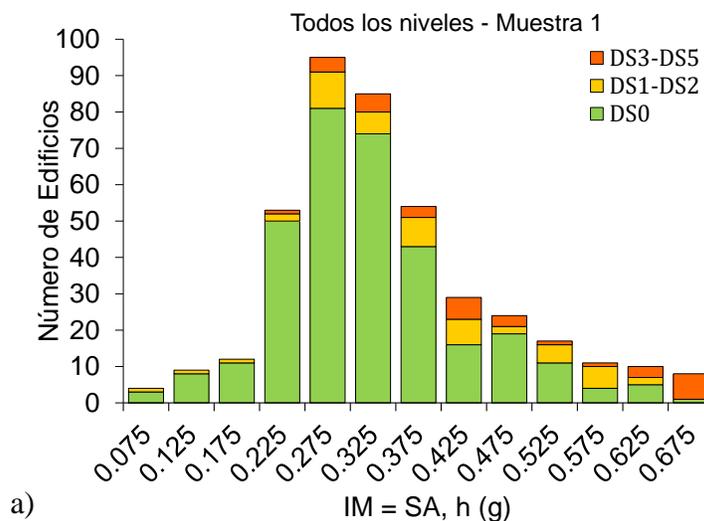


Figura 5.4. Distribución de los edificios como una función de la intensidad: a) Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985 y b) Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

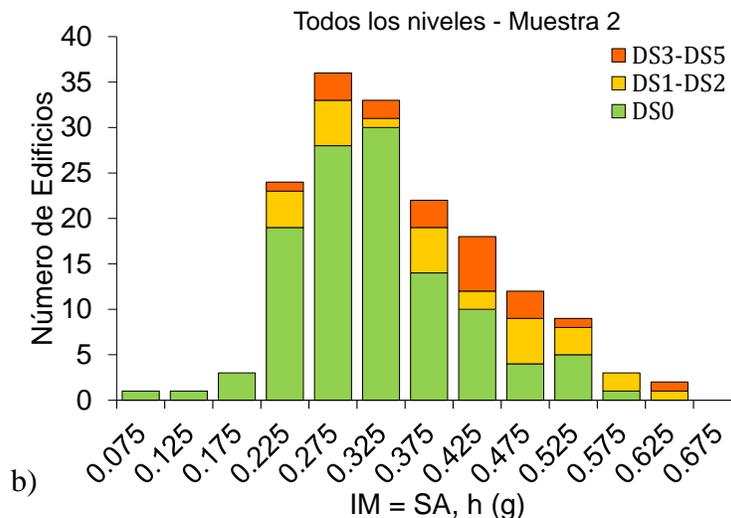


Figura 5.4. Continuación.

Tabla 5.1. Valores promedio de SA en g, en función de los estados de daño

Estado de daño	Muestra 1	Muestra 2
DS0	0.321	0.330
DS1	0.349	0.331
DS2	0.411	0.420
DS3	0.441	0.430
DS4	0.484	0.358

5.4. Estadística y definición de clases

Dividimos ambas muestras en cinco clases dependiendo su número de niveles (Ordaz *et al.* 2017). Para la Muestra 1 se obtuvo lo siguiente:

- C1 – 2.21% (9 de 408) de 1 a 2 niveles.
- C2 – 45.83% (187 de 408) de 3 a 5 niveles.
- C3 – 41.91% (171 de 408) de 6 a 10 niveles.
- C4 – 7.84% (32 of 408) de 11 a 15 niveles.
- C5 – 2.21% (9 de 408) de 16 a 22 niveles.

De forma análoga, para la Muestra 2 la clasificación quedó de la siguiente forma:

- C1 – 2.39% (4 de 167) de 1 a 2 niveles.
- C2 – 35.93% (60 de 167) de 3 a 5 niveles.
- C3 – 47.31% (79 de 167) de 6 a 10 niveles.
- C4 – 10.18% (17 de 167) de 11 a 15 niveles.
- C5 – 4.19 % (7 de 167) de 16 a 22 niveles.

La Figura 5.5 muestra la frecuencia de las cinco clases de los edificios (C1 a C5) para ambas muestras. Se puede observar que la mayoría de los edificios de las muestras tienen de 3 a 5 niveles y de 6 a 10 niveles (esto es, las clases C2 y C3), lo que en conjunto abarca el 87.75% (358 edificios) y 83.23% (139 edificios) para la Muestra 1 y la Muestra 2, respectivamente. Y en general, se percibe una distribución muy similar de los edificios de ambas muestras dentro de cada una de las clases, teniendo en menor proporción edificios que pertenecen a las clases C1, C5 y C4, en orden ascendente.

Resulta importante aclarar dentro de qué clase se encuentran la mayoría de los edificios para ambas muestras, debido a que posteriormente se procederá a construir las curvas de fragilidad correspondientes. No obstante, para algunas clases lo anterior no es posible ya que la información, tanto el número de edificios dentro de ellas, así como los datos recabados de los daños que se explican en la siguiente sección, no son suficientes para poder llevar esto a cabo.

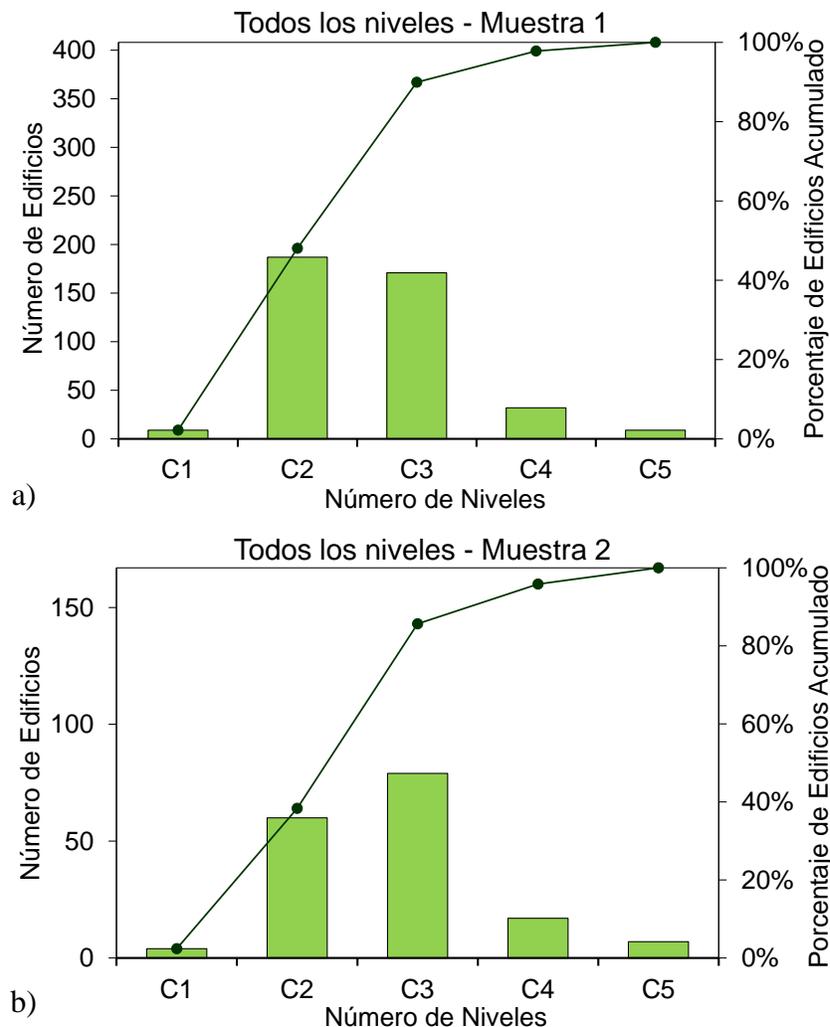


Figura 5.5. Distribución y porcentaje acumulado de los edificios en función del número de niveles: a) Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985 y b) Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

5.5. Estadística de los estados de daño (DS)

En términos de los estados de daño ($DS0$ a $DS5$, es decir, desde daño ligero hasta colapso), la Figura 5.6 reporta la frecuencia de los edificios en función del estado de daño para cada una de las muestras. Como se observa en la Figura 5.6, el 79.9% (326 de 408) y 71.2% (119 de 167) de los edificios de las muestras 1 y 2, respectivamente, no tuvieron un daño visible desde la inspección de banqueta ni fueron reportados con alguna afectación (esto significa que están catalogados dentro del estado de daño $DS0$). Cuando el daño era observado, la frecuencia relativa para ambas muestras es la que se observa en la Tabla 5.2.

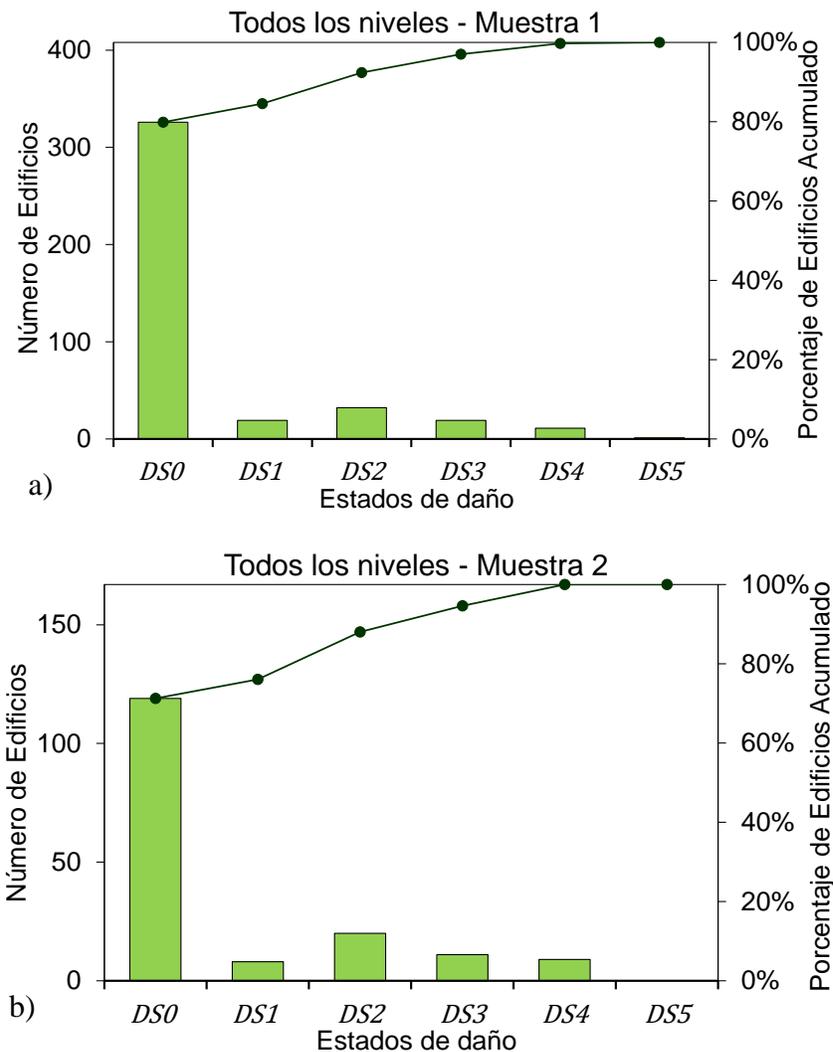


Figura 5.6. Distribución y porcentaje acumulado de los edificios en función de los estados de daño: a) Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985 y b) Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

Tabla 5.2. Frecuencia de edificios en función del estado de daño.

Estado de daño	Muestra 1	Muestra 2
<i>DS0</i>	79.9% (326 de 408)	71.2% (119 de 167)
<i>DS1</i>	4.7% (19 de 408)	4.8% (8 de 167)
<i>DS2</i>	7.8% (32 de 408)	12% (20 de 167)
<i>DS3</i>	4.7% (19 de 408)	6.6% (11 de 167)
<i>DS4</i>	2.7% (11 de 408)	5.4% (9 de 167)
<i>DS5</i>	0.02% (1 de 408)	-

Para tener en consideración ejemplos de las afectaciones identificadas dentro de cada estado de daño en algunos de los edificios de las muestras, se detallan las figuras A.1 y B.1 del respectivo Anexo, en las cuales se puede observar un edificio de cada muestra para cada estado de daño (desde *DS0* hasta *DS5* para la Muestra 1, y de *DS0* a *DS4* para la Muestra 2).

Por otro lado, una vez observadas las estadísticas por clase y por estado de daño, se puede describir la Tabla 5.3, la cual enumera el porcentaje de edificios afectados por el sismo en ambas muestras para cada estado de daño en cuanto al número de niveles, es decir, con respecto a su clase. De esta tabla se observa básicamente lo siguiente:

- Para las clases C1 y C5 (es decir, edificios de 1 a 2 y de 16 a 22 niveles), muy pocos edificios exhibieron daños, lo que dificulta la comparación. Por ejemplo, para la Muestra 1 dentro de estas dos clases se observan solamente 2 edificios con daños ligeros (clase C5 y daño *DS1*). Y para la Muestra 2 se tiene solamente un edificio dañado en cada una de estas dos clases (*DS2* y *DS3*), por lo cual es imposible comparar los niveles de daños entre muestras para alguna de estas clases.
- Para las clases C2 y C4 (edificios de 3 a 5 y 11 a 15 niveles), la información del daño, aunque resulta ser mayor que las dos del punto anterior, no es suficiente para poder construir las curvas de fragilidad. Dado que para algunos estados de daño sólo hay disponible un caso de daño (por ejemplo, para C2 y *DS2* solo hay 6 y 1 casos para las Muestras 1 y 2, respectivamente).
- Para la clase C3 (edificios de 6 a 10 niveles) se dispone de la información suficiente para una comparación (y para construir las curvas de fragilidad) entre cada uno de los estados de daño. Se puede observar que los porcentajes de daño para la Muestra 2 en todos los estados de daño, excepto el *DS1* (daño ligero), son mayores que los valores de la Muestra 1. Esta información se corroborará en la sección que hace referencia a la construcción de las curvas de fragilidad que se verá después.

Tabla 5.3 – Estados de daño en función del número de niveles en porcentaje.

Muestra	Estado de daño	C1	C2	C3	C4	C5
1	<i>DS0</i>	2.20 (9/408)	44.1 (180/408)	27.5 (112/408)	4.41 (18/408)	1.72 (7/408)
2		1.8 (3/167)	31.74 (53/167)	28.74 (48/167)	5.39 (9/167)	3.59 (6/167)
1	<i>DS1</i>	-	0.25 (1/408)	3.18 (13/408)	0.73 (3/408)	0.49 (2/408)
2		-	2.99 (5/167)	1.79 (3/167)	-	-
1	<i>DS2</i>	-	1.47 (6/408)	5.15 (21/408)	1.22 (5/408)	-
2		-	0.59 (1/167)	6.58 (11/167)	4.19 (7/167)	0.59 (1/167)
1	<i>DS3</i>	-	-	4.17 (17/408)	0.49 (2/408)	-
2		0.59 (1/167)	0.59 (1/167)	5.39 (9/167)	-	-
1	<i>DS4</i>	-	-	1.71 (7/408)	0.98 (4/408)	-
2		-	-	4.79 (8/167)	0.59 (1/167)	-

DS5 es el 0.25% (1/408) para la Muestra 1.

Otra generalidad importante está en recordar que la mayoría de los edificios de ambas muestras se encuentran distribuidos en las clases C2 y C3, lo que, por una parte, justifica el hecho de que dentro de estas mismas se puedan encontrar más daños. Sin embargo, durante los sismos de 1985 y el sismo del 2017, los edificios que resultaron más dañados se encuentran dentro del intervalo de niveles que involucran a las clases C2, C3 y C4.

5.6. Estadísticas de las principales características estructurales

Como se mencionó en capítulos anteriores, todos los lados exteriores visibles de los edificios se inspeccionaron. De la misma forma, se hizo un recuento general de las características estructurales de irregularidad que tienen los inmuebles para cada muestra mostrando sus porcentajes; sin embargo, en esta sección, esa descripción será más detallada (es decir, se describirán las características por cada clase, por estado de daño y por número de características que se presentan al mismo tiempo, para ambas muestras). Posteriormente, se buscará compararlas y concluir si existe una posible correlación entre una característica de irregularidad y un determinado número de niveles, un estado de daño o un número de características presentes al mismo tiempo. Lo anterior recordando que las características estructurales que fueron reportadas y se consideraron son: *i*) planta baja débil, *ii*) posible golpeteo, *iii*) edificio en esquina, *iv*) columnas cortas e *v*) irregularidad en elevación.

Por número de niveles

Estas características estructurales se encuentran resumidas en la Tabla 5.4, y a diferencia de los datos obtenidos en los capítulos anteriores, los porcentajes están explicados para cada una de las clases. Nótese que en cada característica se menciona entre paréntesis el número de casos por clase que exhibe y no exhibe dicha característica del total de los edificios de las muestras; por lo que la

suma de todos los edificios por característica debe ser 408 y 167, para la muestra 1 y 2, respectivamente.

De la Tabla 5.4 se observa lo siguiente para la Muestra 1:

- i). *Planta baja débil.* a) C1, el 11% (1 de 408) presentó la característica de planta baja débil, mientras que el 89% (8 de 408) no mostro dicha característica; b) C2, el 57% (106 de 408) de los edificios exhibieron esta característica, dejando el 43% (81 de 408) de ellos fuera; c) C3, el 91% (155 de 408) de las viviendas presentaron planta baja débil, mientras que en el 9% (16 de 408) de ellos no; d) C4, el 84% (27 de 408) si tuvo dicha característica, mostrando que únicamente el 16% (5 de 408) de edificaciones no presentó esta característica y para e) C5, el 44% (4 de 408) de los edificios poseían esta característica, mientras que el 56% (5 de 408) no.
- ii). *Posibilidad de golpeteo.* a) C1, el 11% (1 de 408) se clasificó con posibilidad de golpeteo, y el 89% restante (8 de 408) no presentó dicha característica; b) C2, el 59% (110 de 408) de las estructuras presentó esta característica, mientras que 41% (77 de 408) no lo hizo; c) C3, el 34% (58 de 408) de edificaciones mostró esta característica, mientras que el 66% (113 de 408) de ellos no presentaron dicha característica; d) C4, solo el 22% (7 de 408) de edificios exhibió la posibilidad de golpeteo, mientras que el 78% (25 de 408) no fue así, y para e) C5, en el 100% (9 de 408) de los edificios no presentaron esta característica.
- iii). *Edificio en esquina.* a) C1, en el 44% (4 de 408) de los inmuebles se presentó esta característica, mientras que el 56% (5 de 408) de ellos no se hallaron en esquina; b) C2, el 29% (54 de 408) de edificaciones mostraron esta característica, dejando un 71% (133 de 408) de estos fuera de esta característica; c) C3, el 36% (61 de 408) de las viviendas se encontraron con esta característica, mientras que el 64% (110 de 408) no se percibió dicha característica; d) C4, el 38% (12 de 408) de las edificaciones se presentaron en esquina y en el 63% (20 de 408) de ellas no fue así; e) C5, en el 56% (5 de 408) de las viviendas se hallaron en esquina, mientras que en el 44% (4 de 408) no existió esta característica.
- iv). *Columna corta.* a) C1, ni un solo caso (100% (9 de 408)) se halló con esta característica; b) C2, en el 14% (26 de 408) de los inmuebles se presentó esta característica, mientras que en el 86% (161 de 408) no existió dicha característica; c) C3, el 2% (4 de 408) de las edificaciones exhibieron presentar columna corta, mientras que en el 98% (167 de 408) de los edificios no existió esta característica; d) C4, en el 100% (32 de 408) de los casos, esta característica no se observó, de igual manera, para e) C5, el 100% (9 de 408) de los casos no presentó esta característica.
- v). *Irregularidad en elevación.* a) C1, en el 100% (9 de 408) de los casos esta característica estuvo ausente; b) C2 en el 4% (7 de 408) de los inmuebles se presentó esta característica, mientras que en el 96% (180 de 408) no existió dicha característica; c) C3, el 2% (4 de 408) de edificaciones exhibió esta característica, donde el mayor porcentaje (98% (167 de 408))

de los inmuebles no presentaron dicha característica; d) C4, en el 100% (32 de 408) de los casos no se observaron irregularidades verticales; y para e) C5, en el 11% (1 de 408) si se halló esta característica, mientras que en el 89% (8 de 408) no fue así.

De la misma forma, se tiene lo siguiente para la Muestra 2:

- i). *Planta baja débil.* a) C1, en el 100% (4 de 167) de los casos no se observó esta característica; b) C2, el 53% (32 de 167) de las edificaciones presentaron planta baja débil, mientras que el 47% (28 de 167) de ellos no mostraron dicha característica; c) C3, en el 65% (51 de 167) de los inmuebles existió esta característica, dejando un 35% (28 de 167) de ellos fuera de esta característica; d) C4, en el 41% (7 de 167) de las viviendas se exhibió esta característica, mientras que en el 59% (10 de 167) de ellos no existió dicha característica, y para e) C5, el 100% (7 de 167) de los casos no presentó esta característica.
- ii). *Posibilidad de golpeteo.* a) C1, en el 50% (2 de 167) de los casos se presentó esta característica, mientras que en el otro 50% (2 de 167) no fue así; b) C2, en el 65% (39 de 167) de los inmuebles dicha característica fue visible, y en el 35% (21 de 167) de estos no se mostró esta característica; c) C3, el 52% (41 de 167) de las viviendas presentó la posibilidad de golpeteo, mientras que en el 48% (38 de 167) no se exhibió esta característica; d) C4, en el 59% (10 de 167) de las edificaciones se observó la posibilidad de golpeteo, mientras que en 41% (7 de 167) no fue así, y para e) C5, no se encontró un solo caso (100%, 7 de 167) con esta característica.
- iii). *Edificio en esquina.* a) C1, el 25% (1 de 167) de las viviendas se encontraron en esquina, mientras que el 75% (3 de 167) no fue así; b) C2, el 33% (20 de 167) de los edificios se hallaron con esta característica, y el 67% (40 de 167) de ellos no presentaron dicha característica; c) C3, en el 38% (30 de 167) de los inmuebles se presentó esta características, mientras que en el 62% (49 de 167) de ellos no fue así; d) C4, el 59% (10 de 167) de las edificaciones se hallaron en esquina, mientras que el 41% (7 de 167) de ellas no presentaron dicha característica, y para e) C5, el 100% (7 de 167) no mostró esta característica.
- iv). *Columna corta.* a) C1, en el 100% (4 de 167) de los casos, no se presentó esta característica; b) C2, el 18% (11 de 167) de las viviendas mostraron dicha característica, mientras que en el 82% (49 de 167) no exhibieron esta característica; c) C3, el 20% (16 de 167) de las edificaciones presentaron columnas cortas, mientras que el 80% (63 de 167) de ellas no presentaron esta característica; d) C4, en el 12% (2 de 167) de los inmuebles se observó dicha característica, mientras que en un 88% (15 de 167) no se observaron columnas cortas, y para e) C5, el 29% (2 de 167) mostró esta característica, mientras que el 71% (5 de 167) de los edificios fue inexistente.
- v). *Irregularidad en elevación.* a) C1, en el 25% (1 de 167) de los inmuebles fue existente esta característica, mientras que en el 75% (3 de 167) de ellos no se percibió la

irregularidad en elevación; b) C2, el 2% (1 de 167) de los edificios presento esta característica, dejando el porcentaje mayor (98% (59 de 167)) sin esta característica; c) C3, en el 6% (5 de 167) de las viviendas se observó dicha característica, mientras que en el 94% (74 de 167) no fue así; d) C4, en el 100% (17 de 167) de los casos, esta característica estuvo ausente, así mismo para e) C5, el 100% (7 de 167) de los casos no presentaron irregularidades verticales.

De lo anterior se puede resaltar lo siguiente:

Para los edificios de la clase C1, en ambas muestras, se observa que estas no presentan significativamente características de irregularidad; ya que, a lo mucho, el 44% y 50% presenta alguna característica de irregularidad en la muestra 1 y 2, respectivamente.

Para los edificios de la clase C2, en ambas muestras, para las características de irregularidad de *edificio en esquina*, *columnas cortas* e *irregularidad en elevación* no se observan porcentajes significativos (este es, menos del 33%). Sin embargo, en más del 53% de los edificios se observan las características de irregularidad de *planta baja débil* y *posibilidad de golpeteo*, para ambas muestras.

En cuanto a la clase C3, en ambas muestras, la característica de irregularidad de *planta baja débil* es la que más se presenta, ya que el 91% de los edificios de la Muestra 1 y el 65% de los de la Muestra 2 presentaron esta característica de irregularidad. Sin embargo, las características de irregularidad de *posibilidad de golpeteo* y *edificio en esquina* se presentan en mayor medida en la Muestra 2 (52% y 38%, respectivamente) con respecto a la Muestra 1 (34% y 36%, respectivamente). Nótese que las características de irregularidad de *columnas cortas* e *irregularidad en elevación* no son significativas, ya que menos del 20% de los edificios de esta clase presentaron alguna de estas características en alguna de las muestras.

Para los edificios de la clase C4, las características de irregularidad que se presentaron en la Muestra 2 son *planta baja débil* (41%), *posibilidad de golpeteo* (59%) y *edificio en esquina* (59%), a diferencia que en la Muestra 1 (84%, 22% y 37%, respectivamente). La característica de *columnas cortas* se presentó únicamente en el 12% de los inmuebles de la Muestra 2, mientras que la característica de *irregularidad en elevación* no se presentó en ninguna de las muestras.

Para los edificios de la clase C5, únicamente en la Muestra 1 se presentaron las características de irregularidad de *planta baja débil*, *edificio en esquina* e *irregularidad en elevación*, y en la Muestra 2 únicamente la característica de *columnas cortas* en el 29% de los edificios.

Tabla 5.4. Características estructurales en función del número de niveles.

M	Clase	Planta baja débil		Posibilidad de golpeteo		Edificio en esquina		Columnas cortas		Irregularidad en elevación	
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
1	C1	11 (1/408)	89 (8/408)	11 (1/408)	89 (8/408)	44 (4/408)	56 (5/408)	-	100 (9/408)	-	100 (9/408)
2		-	100 (4/167)	50 (2/167)	50 (2/167)	25 (1/167)	75 (3/167)	-	100 (4/167)	25 (1/167)	75 (3/167)
1	C2	57 (106/408)	43 (81/408)	59 (110/408)	41 (77/408)	29 (54/408)	71 (133/408)	14 (26/408)	86 (161/408)	4 (7/408)	96 (180/408)
2		53 (32/167)	47 (28/167)	65 (39/167)	35 (21/167)	33 (20/167)	67 (40/167)	18 (11/167)	82 (49/167)	2 (1/167)	98 (59/167)
1	C3	91 (155/408)	9 (16/408)	34 (58/408)	66 (113/408)	36 (61/408)	64 (110/408)	2 (4/408)	98 (167/408)	2 (4/408)	98 (167/408)
2		65 (51/167)	35 (28/167)	52 (41/167)	48 (38/167)	38 (30/167)	62 (49/167)	20 (16/167)	80 (63/167)	6 (5/167)	94 (74/167)
1	C4	84 (27/408)	16 (5/408)	22 (7/408)	78 (25/408)	37 (12/408)	63 (20/408)	-	100 (32/408)	-	100 (32/408)
2		41 (7/167)	59 (10/167)	59 (10/167)	41 (7/167)	59 (10/167)	41 (7/167)	12 (2/167)	88 (15/167)	-	100 (17/167)
1	C5	44 (4/408)	56 (5/408)	-	100 (9/408)	56 (5/408)	44 (4/408)	-	100 (9/408)	11 (1/408)	89 (8/408)
2		-	100 (7/167)	-	100 (7/167)	-	100 (7/167)	29 (2/167)	71 (5/167)	-	100 (7/167)

Por estado de daño

Para esta sección se presenta la Figura 5.9 relacionada con ambas muestras y las cinco características irregulares principales por cada estado de daño (*DS0*, *DS1*, *DS2*, *DS3* y *DS4*). Para cada estado de daño se muestra un histograma en la Figura 5.9 (Figura 5.9a, Figura 5.9b, Figura 5.9c, Figura 5.9d y Figura 5.9e, respectivamente). En esta figura se intenta encontrar posibles correlaciones entre el estado de daño dado y una característica estructural irregular; de lo cual se puede observar lo siguiente:

Para el *DS0*, de la Muestra 1 el 80% (326 de 408) de los edificios se encuentra dentro de este estado de daño, y de la Muestra 2 el 71% (119 de 167) de los edificios. Ambas muestras presentan edificios de vivienda con alguna de las condiciones de irregularidad, y en ambas se puede observar que las condiciones que más se presentan son *planta baja débil*, *posibilidad de golpeteo* y *edificio en esquina* con porcentajes de 68% (221 de 326), 43% (141 de 326) y 32% (104 de 326) para los edificios de la Muestra 1, y 47% (56 de 119), 59% (70 de 119) y 35% (42 de 119) para los de la Muestra 2, respectivamente. De la misma forma, se presentan las condiciones de *columnas cortas* e *irregularidad en elevación* en porcentajes menores, 8% (26 de 326) y 3% (10 de 326) para los edificios de la Muestra 1, y 21% (25 de 119) y 4% (5 de 119) para los de la Muestra 2, respectivamente.

Para el *DS1*, el 4.6% (19 de 408) y 5% (8 de 167) de los edificios, para la Muestra 1 y 2, respectivamente, se encuentra dentro de este estado de daño. Se observa que los edificios de la Muestra 1 presentan las condiciones de *planta baja débil*, *posibilidad de golpeteo*, *edificio en esquina* y *columnas cortas* con porcentajes del 84% (16 de 19), 26% (5 de 19), 37% (7 de 19) y 5% (1 de 19), respectivamente. Pudiéndose notar que el 84% los edificios para esa muestra dentro de este estado de daño cuentan con la condición de *planta baja débil*. A diferencia de los edificios de la Muestra 2, donde solamente se observan las características de *planta baja débil*, *posibilidad de golpeteo* y *edificio en esquina* con porcentajes del 63% (5 de 8), 50% (4 de 8) y 50% (4 de 8), respectivamente.

Para el *DS2*, de la Muestra 1 el 8% (32 de 408) de los edificios se encuentra dentro de este estado de daño, y la Muestra 2 el 12% (20 de 167) de los edificios. Se observa que en los edificios de ambas muestras para este estado de daño se presentan cada una de las condiciones de irregularidad. Para la Muestra 1 prevalecen nuevamente las condiciones de *planta baja débil*, *posibilidad de golpeteo* y *edificio en esquina* con porcentajes del 84% (27 de 32), 50% (16 de 32) y 38% (12 de 32), respectivamente; y en menor medida las condiciones de *columnas cortas* e *irregularidad en elevación* con valores del 3% (1 de 32) en ambos casos. Notando que nuevamente la condición más observada para este caso es la de planta baja débil con un valor del 84%. De manera similar, las condiciones para la Muestra 2 que más se presentan en los edificios son *planta baja débil*, *posibilidad de golpeteo* y *edificio en esquina* con porcentajes del 60% (12 de 20), 45% (9 de 20) y 50% (10 de 20), respectivamente; y en menor cantidad las condiciones de *columnas cortas* e *irregularidad en elevación* con valores del 10% (2 de 20) y 5% (1 de 20), respectivamente.

Para el DS3, de la Muestra 1 el 4.6% (19 de 408) de los edificios se encuentran dentro de este estado de daño, y de la Muestra 2 el 7% (11 de 167) de los edificios. Se puede notar que en la Muestra 1 el 95% (18 de 19) de los edificios dentro de este estado de daño presentan la condición de irregularidad de *planta baja débil*. Otros valores importantes de porcentajes se encuentran en las condiciones de *posibilidad de golpeteo y edificio en esquina* (53%, 10 de 19 y 42%, 8 de 19, respectivamente); y en menor cantidad en las condiciones de *columnas cortas e irregularidad en elevación* con valores del 5% (1 de 19) para ambos casos. De la misma manera, para los edificios de la Muestra 2 prevalece la condición de *planta baja débil* con un 73% (8 de 11). En menor cantidad se pueden apreciar las características de *posibilidad de golpeteo, edificio en esquina y columnas cortas* con valores de 27% (3 de 11), 27% (3 de 11) y 9% (1 de 11), respectivamente.

Para el DS4, de la Muestra 1 el 2.7% (11 de 408) de los edificios se encuentra dentro de este estado de daño, y de la Muestra 2 el 5% (9 de 167) de los edificios. La característica de *planta baja débil* se presenta en todos los casos de edificios dentro de este estado de daño (100%, 9 de 9) de la Muestra 2, y en la Muestra 1 en la mayoría de sus edificios con un 91% (10 de 11) de sus edificios. En menor proporción en la Muestra 1 se presentan las características de *posibilidad de golpeteo, edificio en esquina y columnas cortas* con porcentajes de 36% (4 de 11), 36% (4 de 11) y 9% (1 de 11), respectivamente. A diferencia de la Muestra 2, que se presentan las características de *posibilidad de golpeteo, edificio en esquina, columnas cortas e irregularidad en elevación* con valores de 67% (6 de 9), 22% (2 de 9), 33% (3 de 9) y 11% (1 de 9), respectivamente. Observando a la característica de *posibilidad de golpeteo* como una condición con participación considerable dentro de los edificios de la Muestra 2 para este estado de daño.

Finalmente, el edificio de la Muestra 1 (1 de 408) que presentó el estado de daño DS5 (colapso) contaba con las condiciones de *planta baja débil y edificio en esquina*, que como se mencionó en su momento, se considera que fueron factor importante en el comportamiento del edificio durante el sismo del 2017.

De lo anterior se resalta lo siguiente: 1) Se puede observar que, en general, para todos los estados de daño (DS0 a DS5) las características que predominan en los edificios de ambas muestras son la de *planta baja débil, posibilidad de golpeteo y edificio en esquina*, 2) las características que suelen presentarse en menor medida en ambas muestras son *columnas cortas e irregularidad en elevación*, 3) en la Muestra 1, para los estados de daño DS1 a DS4, más del 84% de los edificios cuentan con *planta baja débil* y 4) para la Muestra 2 para los estados de daño DS1 a DS4 más del 60% de los edificios cuenta con *planta baja débil* (100% para el caso DS4).

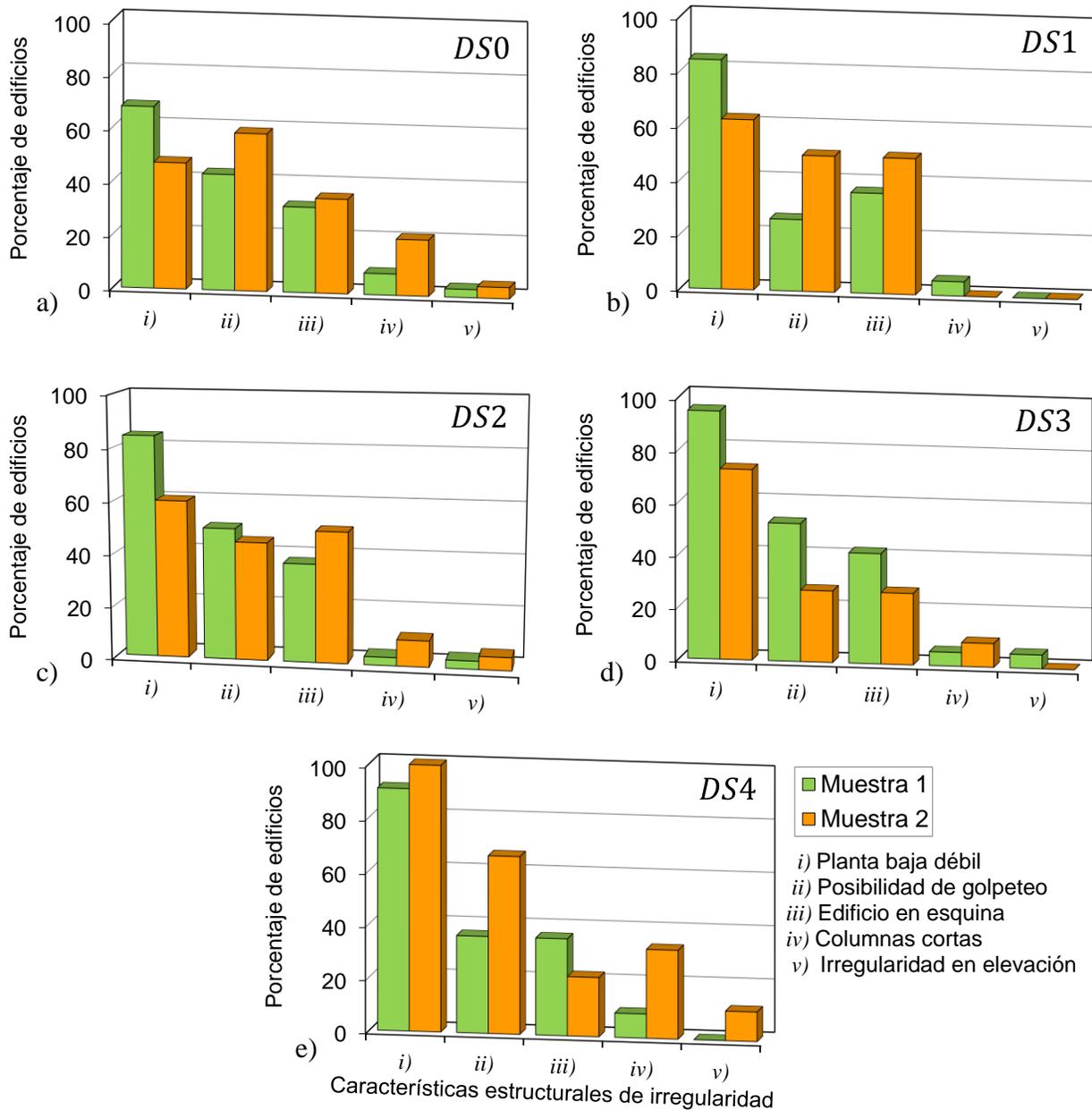


Figura 5.9. Distribución en porcentaje de los edificios en función de las características estructurales de irregularidad para cada estado de daño: a) *DS0*, b) *DS1*, c) *DS2*, d) *DS3* y e) *DS4*. Verde: Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985. Naranja: Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

Por cantidad y para cada estado de daño

A continuación, se muestra la Figura 5.10 que relaciona ambas muestras y el número de características estructurales de irregularidad conjuntas (es decir, el número de características que se presentan al mismo tiempo) para cada tipo de daño. Para cada tipo de daño (daño no estructural (*DS1* a *DS2*), daño estructural (*DS3* a *DS5*) y daño general (*DS1* a *DS5*)) se muestra un histograma

en la Figura 5.10 (Figura 5.10a, Figura 5.10b y Figura 5.10c, respectivamente). Es importante mencionar que en esta sección se decidieron presentar las estadísticas por tipo de daño y no por cada uno de los estados de daño por separado debido a que, a diferencia de la sección pasada (en la que la importancia era verificar cuáles eran las características de irregularidad en cada estado de daño), en este caso la importancia recae en si el número de características existentes en un solo edificio influye para cierto nivel de daño. Por lo que esta figura es un intento de encontrar posibles correlaciones entre un tipo de daño dado y el número de características estructurales de irregularidad. De ambas muestras se puede observar lo siguiente:

Para daño no estructural (*DS1* a *DS2*), la Muestra 1 tiene 51 (12% del total de la muestra) edificios con alguno de los estados de daño, mientras que la Muestra 2 tiene 28 (17% del total de la muestra) edificios. Se observa que la Muestra 2 tiene un porcentaje más alto (25%, 7 de 28) que la Muestra 1 (10%, 5 de 51) para tres o más características de irregularidad presentadas al mismo tiempo, respectivamente. Lo contrario ocurre para al menos una o dos características de irregularidad, donde la Muestra 1 exhibe que el 98% (50 de 51) de estas viviendas tienen al menos una característica de irregularidad, a diferencia de la Muestra 2 con el 82% (23 de 28); y para edificios con al menos dos características de irregularidad la Muestra 1 tiene el 61% (31 de 51) y la Muestra 2 el 36% (10 de 28). No se observan edificios con cuatro características de irregularidad presentadas al mismo tiempo para daño no estructural.

Para daño estructural (*DS3* a *DS5*), la Muestra 1 tiene 31 (8% del total de la muestra) edificios con alguno de los estados de daño, mientras que la Muestra 2 tiene 20 (12% del total de la muestra) edificios. Se observa que la Muestra 2 tiene porcentajes más altos (25%, 5 de 20 y 5%, 1 de 20) que la Muestra 1 (16%, 5 de 31 y 3%, 1 de 31) para tres o cuatro características presentadas al mismo tiempo, respectivamente. Nuevamente, lo inverso ocurre para al menos una o dos características de irregularidad, donde la Muestra 1 exhibe que el 100% (31 de 31) de estas viviendas tienen al menos una característica de irregularidad, a diferencia de la Muestra 2 con el 90% (18 de 20); y para edificios con al menos dos características de irregularidad la Muestra 1 tiene el 71% (22 de 31) y la Muestra 2 el 60% (12 de 20).

Para daño en general (*DS1* a *DS5*), la Muestra 1 tiene 82 (20% del total de la muestra) edificios con alguno de los estados de daño, mientras que la Muestra 2 tiene 48 (29% del total de la muestra) edificios. Se observa que la Muestra 2 tiene porcentajes más altos (25%, 12 de 48 y 2%, 1 de 48) que la Muestra 1 (12%, 10 de 82 y 1%, 1 de 82) para tres o cuatro características presentadas al mismo tiempo, respectivamente. Al igual que en los dos casos anteriores, para al menos una o dos características de irregularidad, la Muestra 1 exhibe que el 99% (81 de 82) de estas viviendas tienen al menos una característica de irregularidad, a diferencia de la Muestra 2 con el 85% (41 de 48); y para edificios con al menos dos características de irregularidad la Muestra 1 tiene el 65% (53 de 82) y la Muestra 2 el 60% (29 de 48).

De lo anterior se resalta lo siguiente: 1) para los tres casos, es decir, daño no estructural, daño estructural y daño en general, se observa que la Muestra 1 exhibe una distribución mayor de

edificios con al menos una o dos características de irregularidad presentadas al mismo tiempo, 2) a diferencia de lo anterior, la Muestra 2 parece presentar en los tres casos de tipo de daño porcentajes mayores para edificios con al menos tres características y 3) en la Muestra 2 se observa que, para los tres casos de tipo de daño, al menos el 25% de estos edificios tenían tres de estas características de irregularidad.

Lo antes mencionado, se puede observar también fácilmente en la Tabla 5.5, donde las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) tienen un número mayor de características de irregularidad que se presentan al mismo tiempo (tres o más) que las estructuras no rehabilitadas (Muestra 1). Concisamente, el porcentaje de tres características de irregularidad en conjunto para la Muestra 1 en comparación a la Muestra 2 es: 12% (10 de 82) vs 25% (12 de 48), 10% (5 de 51) vs 25% (7 de 28) y 16% (5 de 31) vs 25% (5 de 20) para los estados de daño que involucran desde daño ligero hasta colapso (es decir, *DS1* a *DS5*), para casos con daños no estructurales (es decir, *DS1* a *DS2*) y para casos con daños estructurales (es decir, *DS3* a *DS5*).

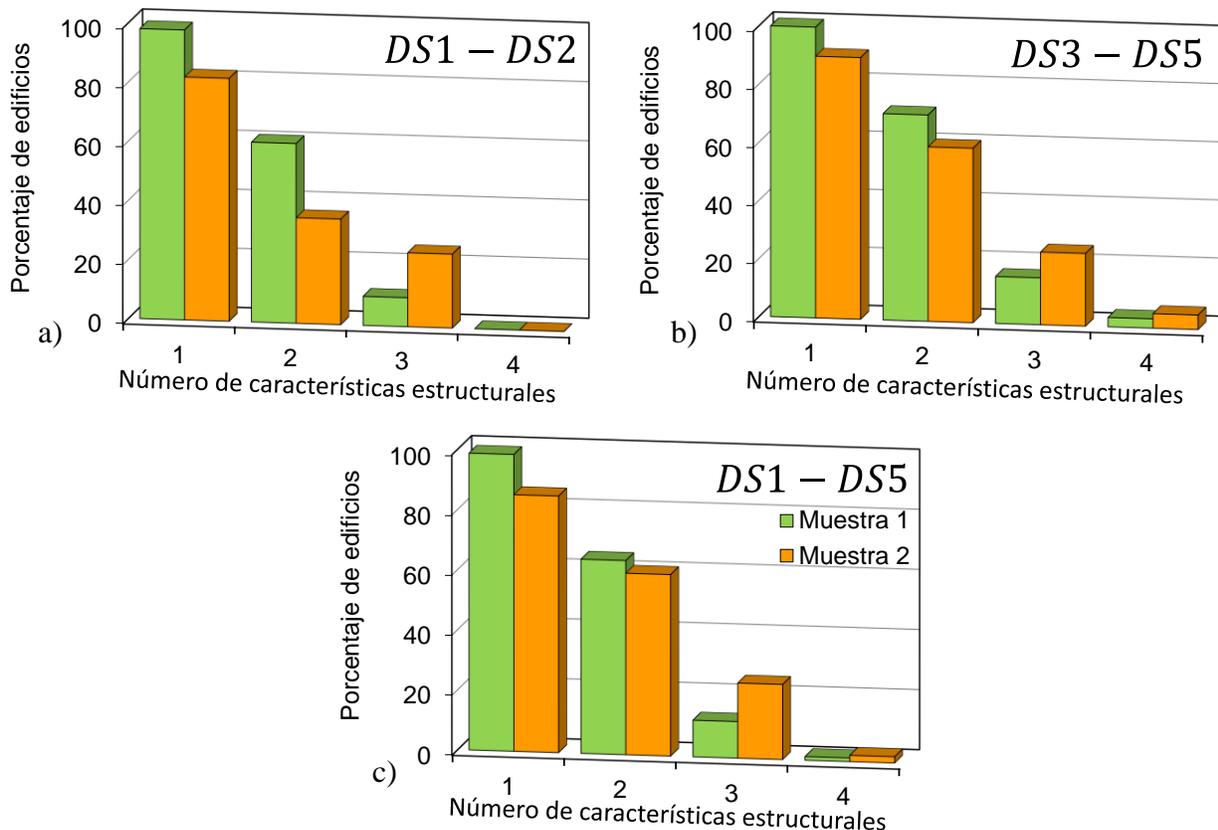


Figura 5.10. Distribución en porcentaje de los edificios en función del número de características estructurales de irregularidad presentadas al mismo tiempo para cada tipo de daño: a) daño no estructural (*DS1* a *DS2*), b) daño estructural (*DS3* a *DS5*) y c) daño general (*DS1* a *DS5*). Verde: Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985. Naranja: Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

Tabla 5.5 – Porcentaje de edificios en función del número de características de irregularidad.

# características irregularidad	Daño general <i>DS1 – DS5</i>		Daño no estructural <i>DS1 – DS2</i>		Daño estructural <i>DS3 – DS5</i>	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
	0	1 (1/82)	15 (7/48)	2 (1/51)	18 (5/28)	-
1	99 (81/82)	85 (41/48)	98 (50/51)	82 (23/28)	100 (31/31)	90 (18/20)
2	65 (53/82)	60 (29/48)	61 (31/51)	61 (17/28)	71 (22/31)	60 (12/20)
3	12 (10/82)	25 (12/48)	10 (5/51)	25 (7/28)	16 (5/31)	25 (5/20)
4	1 (1/82)	2 (1/48)	-	-	3 (1/31)	5 (1/20)

5.7. Curvas de fragilidad

5.7.1. Curvas de fragilidad para la clase C3 – 6 a 10 niveles

En la Figura 5.11, se muestran las curvas de fragilidad para las dos muestras definidas para las formas funcionales asumidas y la metodología de ajuste: a) Muestra 1, izquierda y b) Muestra 2, derecha. Recordando que cada línea explica un estado de daño, y las cuales se encuentran diferenciadas por colores (negro, azul, verde y rojo para los estados de daño *DS1*, *DS2*, *DS3* y *DS4*, respectivamente). Además, la Tabla 5.6 informa los valores de los parámetros estimados para cada una de las curvas de fragilidad, junto con los valores de capacidad de la media estimada de la SA (SA, en g).

En general, para todos los valores de intensidad, estas curvas de fragilidad revelan una menor fragilidad (es decir, implica una menor vulnerabilidad) que se observa sistemáticamente en los edificios de la Muestra 1 (viviendas no rehabilitadas que sufrieron daños menores después del sismo de 1985) para los estados de daño *DS1* hasta el *DS4*, en comparación con los edificios de la Muestra 2 (edificios rehabilitados sísmicamente después del sismo de 1985) como se puede observar en la Figura 5.12, la cual trata de comparar cada una de las líneas que corresponde a cada estado de daño entre las dos muestras. Esto también se puede observar en la Tabla 5.6, donde los valores de $\hat{\theta}$ y $\hat{\beta}$ son mayores para la Muestra 1 en cada estado de daño (es decir, *DS1* hasta *DS4*) con respecto a los de la Muestra 2.

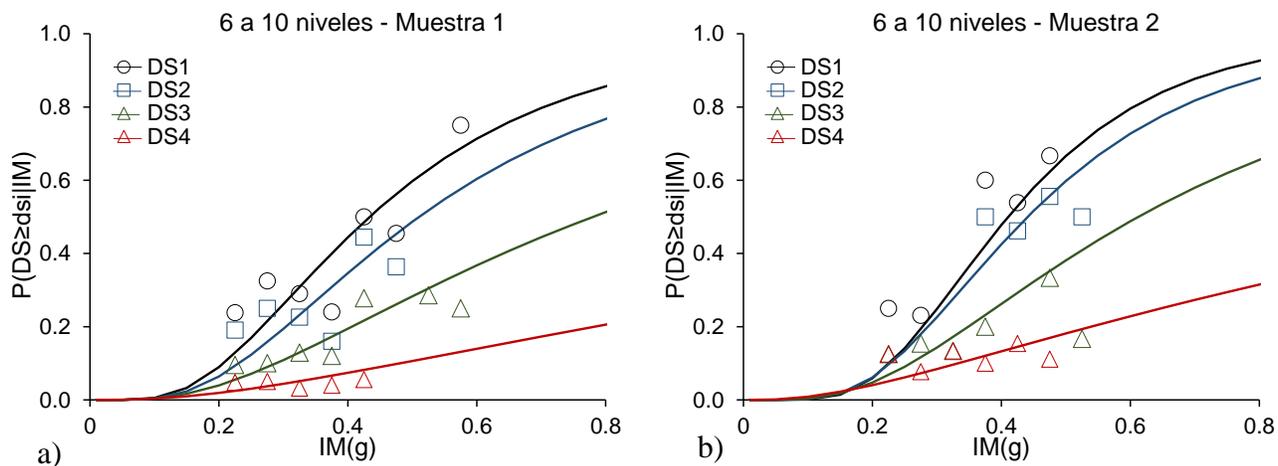


Figura 5.11. Curvas de fragilidad (líneas continuas) que ajustan los datos de fragilidad observados (círculos, triángulos y cuadrados) para cada muestra: a) Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985, b) Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

Tabla 5.6 – Parámetros de curvas de fragilidad

Estado de daño	Muestra		
	1	2	
DS1	$\hat{\theta}$	0.4336	0.4103
	$\hat{\beta}$	0.5757	0.4602
DS2	$\hat{\theta}$	0.5103	0.4406
	$\hat{\beta}$	0.6156	0.5109
DS3	$\hat{\theta}$	0.7803	0.6121
	$\hat{\beta}$	0.7756	0.6685
DS4	$\hat{\theta}$	1.9882	1.3568
	$\hat{\beta}$	1.1080	1.0969

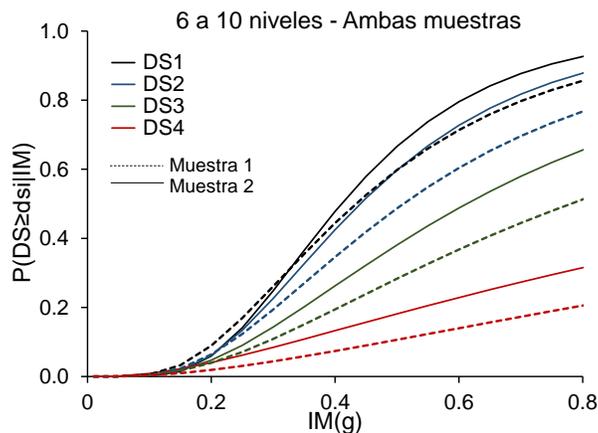


Figura 5.12. Curvas de fragilidad para ambas muestras. Líneas discontinuas: Muestra 1 – viviendas que sufrieron daños menores previos después del sismo de 1985. Líneas continuas: Muestra 2 – viviendas rehabilitadas con daños severos después del sismo de 1985.

VI. RESULTADOS

6.1. Observaciones generales de las muestras

1. Para ambas muestras, la mayoría de los edificios de vivienda visitados se encontraban distribuidos en la Zona III con un 83% (337 de 408) y 86% (144 de 167) para las muestras 1 y 2, respectivamente.
2. La mayoría de las viviendas analizadas en las muestras (75%, 305 de 408, para la Muestra 1 y 80%, 134 de 167, para la Muestra 2) se encuentran en depósitos de suelo con periodo dominante del terreno, T_s , entre 1 a 2.5 s. Los edificios de vivienda que sufrieron daño estructural se encuentran en depósitos de suelo con T_s entre 1.25 a 2.5 s para ambas muestras. Por otro lado, los edificios de vivienda que sufrieron daño no estructural se encuentran principalmente en depósitos de suelo con T_s entre 1.25 a 2.5 s para ambas muestras.
3. La mayoría de los edificios de las muestras tienen de 3 a 5 niveles (C2) y de 6 a 10 niveles (C3), lo que en conjunto abarca el 87.75% (358 de 408 edificios) y 83.23% (139 de 167 edificios) para las muestras 1 y 2, respectivamente. Los edificios de vivienda que sufrieron daño estructural van de los 6 a los 15 niveles, para la Muestra 1 y, para la Muestra 2 van principalmente de los 6 a los 10 niveles. Por otro lado, los edificios de vivienda que sufrieron daño no estructural van de los 3 a los 22 niveles, para la Muestra 1 y esencialmente de los 3 a los 15 niveles, para la Muestra 2.
4. Las viviendas estudiadas que presentaron daño estructural estuvieron sometidas a valores de aceleración espectral horizontal de 0.25 a 0.5 g, para ambas muestras. Por otro lado, aquellas viviendas que presentaron daño no estructural estuvieron sometidas a valores de aceleración espectral horizontal de 0.1 a 0.5 g, para la Muestra 1 y de 0.25 a 0.5 g para la Muestra 2.

De lo anterior se puede verificar que los edificios de vivienda de ambas muestras se encontraban principalmente distribuidos en la Zona III, en depósitos de suelo con periodo dominante del terreno, T_s , entre 1 a 2.5 s, en su mayoría eran inmuebles de 3 a 10 niveles y fueron sometidos a valores de aceleración espectral horizontal de 0.25 a 0.5 g.

6.2. Observaciones a partir de la comparación entre muestras

1. De acuerdo con los resultados de los análisis, las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) parecen ser más vulnerables que las no rehabilitadas (Muestra 1), ya que el 29% (48 de 167) de los edificios de la Muestra 2 y el 20% (82 de 408) de los edificios de la Muestra 1, presentaron algún tipo de daño (daño no estructural o daño estructural, es decir, del estado de daño $DS1$ al $DS4$) durante el sismo del 2017 en la Ciudad de México.

2. De manera similar, los análisis muestran que las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) parecen ser más vulnerables que las no rehabilitadas (Muestra 1) en cuanto a edificios con daños estructurales, ya que el 12% (20 de 167) de los inmuebles de la Muestra 2 y el 8% (31 de 408) de los de la Muestra 1, presentaron daños estructurales (es decir, *DS3* a *DS5*) durante el sismo de 2017 en la Ciudad de México.
3. El daño no estructural llevó a conclusiones similares porque el análisis nuevamente indicó que las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) parecen ser más vulnerables que las no rehabilitadas (Muestra 1), donde el 17% (28 de 167) de las viviendas de la Muestra 2 y el 13% (51 de 408) de las de la Muestra 1, presentaron únicamente daños no estructurales (es decir, *DS1* a *DS2*) durante el sismo del 2017 en la Ciudad de México.
4. Ahora, considerando la clase C3 (de 6 a 10 niveles), la cual era la más representativa para ambas muestras, una vez más las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) parecen ser más vulnerables que las que no se rehabilitaron (Muestra 1), ya que el 19% (31 de 167) y el 14% (59 de 408) de los edificios presentaron algún tipo de daño (es decir, *DS1* a *DS5*) durante el sismo del 2017 en la Ciudad de México, para la Muestra 2 y la Muestra 1, respectivamente. Además, si esta clase C3 se inspecciona dividiendo el daño estructural (es decir, *DS3* a *DS5*) y el daño no estructural (es decir, *DS1* a *DS2*), los porcentajes son del 10% (17 de 167) y 8.38% (14 de 167), respectivamente, para estructuras rehabilitadas (Muestra 2); y el 6% (25 de 408) y del 8.33% (34 de 408) para las estructuras no rehabilitadas (Muestra 1), para daño estructural y no estructural, respectivamente.
5. Finalmente, se observa que lo anterior se corrobora con las curvas de fragilidad que se construyeron para la clase C3, en las que se percibe sistemáticamente una fragilidad más baja para edificios no rehabilitados (Muestra 1) para los estados de daño *DS1* al *DS4*, en comparación con las estructuras rehabilitadas (Muestra 2).

Por lo tanto, los resultados muestran que, contrariamente a lo que se podría esperar, las estructuras rehabilitadas sísmicamente después del sismo de 1985 parecen ser más vulnerables que las otras que no fueron sometidas a un proyecto de rehabilitación estructural.

6.3. Discusión

Como se mencionó anteriormente las viviendas de este estudio que fueron rehabilitadas sísmicamente, debido a los daños severos que sufrieron después del sismo de 1985, resultaron ser más vulnerables que las edificaciones con daños menores después del sismo de 1985 (es decir, edificios no rehabilitados). Esto podría atribuirse a una rehabilitación inadecuada. Más específicamente, debido a que si la rehabilitación no cambió efectivamente las principales características estructurales de irregularidad de un edificio previamente dañado (por ejemplo, el hecho de contar con una planta baja débil, la posibilidad de golpeteo, posicionarse en esquina), el comportamiento sísmico podría no mejorar significativamente, ya que, como se observó en los capítulos anteriores, el hecho de contar con una o más de estas características influye en el

comportamiento del edificio frente a un evento sísmico como lo fue el del 2017 en la Ciudad de México. Por ejemplo, según los resultados de los análisis, las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) parecen tener más características de irregularidad presentes al mismo tiempo (al menos para las muestras inspeccionadas y la información disponible), es decir, tres o más características de irregularidad (las cuales enumeradas en orden descendente son: planta baja débil, posibilidad de golpeteo, edificio en esquina, columnas cortas e irregularidad en elevación) que los edificios que no fueron rehabilitados (Muestra 1).

Aunque la discusión anterior puede proporcionar una perspectiva del porqué del comportamiento contradictorio obtenido, es necesario información más detallada sobre todas las estructuras en estudio, tales como planos estructurales y arquitectónicos, dibujos y notas, muestras de concreto, escaneo de acero de refuerzo, etc., para responder adecuadamente por qué sísmicamente los edificios rehabilitados después del sismo de 1985 parecen ser más vulnerables que su contraparte no rehabilitada.

VII. CONCLUSIONES

En la tesis se exploró el comportamiento paradójico aparente observado durante el gran sismo que azotó la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017 (Mw7.1): los edificios de vivienda con rehabilitación sísmica parecen ser más vulnerables que aquellos no rehabilitados. Esta paradoja se revisó en el presente estudio utilizando dos muestras de edificios: a) la Muestra 1 que consta de 408 viviendas erigidas antes de la publicación del reglamento de 1985 que sufrieron daños menores después del sismo del 19 de septiembre de 1985 (Mw8.1) y b) la Muestra 2 que contiene 167 viviendas que tuvieron daños severos pero que fueron rehabilitadas sísmicamente después del sismo de 1985.

De acuerdo con los resultados, se puede observar que los edificios rehabilitados sísmicamente después de los sismos de 1985, resultaron ser, contrariamente a lo que se podría pensar, más vulnerables que los no rehabilitados. Parte de estos resultados se podrían atribuir a una rehabilitación estructural inadecuada que se pudo tener en ese entonces, además, si la rehabilitación no incluyó un cambio efectivo en las principales características de irregularidad de la estructura dañada su comportamiento sísmico podría no tener alguna mejora significativa. Este es un tema importante dado que las estadísticas muestran que las estructuras rehabilitadas (Muestra 2) contienen más características de irregularidad presentadas al mismo tiempo (al menos para las muestras inspeccionadas y la información disponible), es decir, tres o más características de irregularidad, que las no rehabilitadas (Muestra 1).

También se podría concluir, en cierta medida, que las autoridades responsables de regular que la rehabilitación de las estructuras dañadas sísmicamente sea la adecuada y efectiva pueden no estar cumpliendo con su deber adecuadamente; por lo tanto, los propietarios e inquilinos pueden estar viviendo en edificios que no son tan seguros como suponen después de la rehabilitación sísmica que se produce meses o años posteriormente a un gran evento sísmico. Si estuvieran conscientes de esta situación podrían solicitar una evaluación exhaustiva del riesgo sísmico, lo que podría traducirse en altos costos, si se realizara ingeniería seria, con los estándares adecuados.

Estos resultados denotan la importancia de contar con un adecuado proceso de rehabilitación y/o remodelación el sector vivienda. Así como recomendar realizar un correcto estudio costo/beneficio de los edificios de vivienda para conocer si es conveniente: (1) demoler y reconstruir, (2) rehabilitar y/o reforzar estructuralmente esperando que durante el siguiente gran evento sísmico el edificio tenga un adecuado comportamiento sísmico. Lo anterior debe pensarse teniendo en cuenta que la rehabilitación puede conducir a dos posibilidades, la primera es regresar al edificio dañado a su resistencia correspondiente al reglamento de diseño empleado en su momento, o algún otro (no el vigente); y la segunda, cumplir el reglamento de construcciones vigente (que hoy en día es el del 2017). Sin embargo, la diferencia es enorme y podría ocasionar que las estructuras no soporten otro sismo o que los proyectos de rehabilitación no sean costeables.

Otro punto importante, y que en la actualidad se puede ver reflejado, es en el hecho de que los edificios destinados a uso de vivienda sean hoy en día, y con lo observado durante el sismo del 2017, también los más afectados al igual que lo fue en los sismos de 1985. Lo anterior debería ser un asunto que se tratara con una mejor observancia en el reglamento de construcciones.

En la actualidad, debido al sismo del 2017, aún se están llevando a cabo medidas de rehabilitación en los edificios que resultaron dañados, muchos de estos siendo edificios que han soportado los dos más grandes sismos ocurridos en la Ciudad de México (1985 y 2017). Por lo cual, y según lo observado a partir de los resultados de este análisis, resulta importante poner la atención suficiente a todos aquellos proyectos de rehabilitación y reforzamiento estructural que se han estado llevando a cabo, esperando que las lecciones que nos han dejado estos dos sismos puedan propiciar una mayor seguridad y un mejor comportamiento en las edificaciones de vivienda ante otro evento sísmico de gran magnitud.

REFERENCIAS

Alcocer, S.M., (1995). "The Mexican experience in retrofit of building since 1985", Proceedings of Third National Concrete and Masonry Engineering Conference, vol. 2, June 15-17, 1995, San Francisco, California, pp 867-879.

Arnold, C y Reitherman, R (1986). Configuración y diseño sísmico de edificios, primera edición, Editorial Limusa.

Ascencio A. J, (2005). Rehabilitación de columnas de concreto reforzado con ángulos y soleras de acero. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Astiz, L., Kanamori, H. and Eissler, H., (1987). Source characteristics of earthquakes in the Michoacán seismic gap in Mexico, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 77(4), 1326 - 1346.

Beauperthuy, J. L. y Urich, A. J. (2016). Efecto de columna corta estudio de casos, B.R.S, Ingenieros, C.A.

CDMX (2018). Aprender del sismo para ser más resilientes. <https://bit.ly/2MLJbVT> (último acceso febrero 2019).

CENAPRED (2016) <https://bit.ly/2YAMNAz> (último acceso abril 2019).

CENAPRED (2017) <https://bit.ly/2winQMB> (último acceso diciembre 2018).

Connolly, P. (1987). La política habitacional después de los sismos. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 101-120.

DDF (1988). Estudios sobre sismicidad en el valle de México.

de Estudio, G., Crisafulli, F., & Villafañe, E. ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO No de hojas: 22.

EcuRed (s.f.) <https://bit.ly/2GFpxtR> (último acceso abril 2019)

Esquivel Hernández María Teresa. (2015). El programa de renovación habitacional popular: habitabilidad y permanencia en áreas centrales de la Ciudad de México, 80(37), 69-99.

Fernández, L. Perea, T. y tirado, J. (2015). Estudio de factibilidad de pilotes de acero de sección en México, Universidad Autónoma Metropolitana, Gerdau Corsa.

Flores, M y Guerrero, M. (2005). Materiales y procedimientos constructivos. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Pachuca.

Fundación ICA (1988). Experiencias derivadas de los sismos de 1985, Noriega Editores, México.

GDF-SOS (2002) Inmuebles afectados por los sismos de septiembre de 1985, Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal.

Gómez, R. y F. García-Ranz (1988). Complementary Technical Norms of earthquake resistant design, *Earthquake Spectra*, 4, 441-460.

IBS-Instituto Belisario Domínguez (2017). Recuento de los daños 7S y 19S: a un mes de la tragedia, 3-4.

Identificación de los daños estructurales provocados por los sismos. (s.f.). Recuperado de: <https://bit.ly/2HpEyjI> (último acceso mayo 2019).

Iglesias, J., Robles, F., De La Cera, J., & Cuevas, O. G. (1988). Reparación de estructuras de concreto y mampostería. Boletín técnico, (42).

Jumonji, T. (2001). Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y guía técnica de rehabilitación (estructuras de concreto reforzado). Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement*, 30(3), 607-610.

MCCI (2018) <https://miedificio.contralacorrupcion.mx/index.php#viaducto> (último acceso abril 2019).

Martínez, F. (2013). Estructuras sismorresistentes. Análisis modal espectral. Capítulo 2, XFMA, (recuperado de: <https://bit.ly/2Pfwy8q>).

Medina, J. (2013). Sistemas estructurales: Losas, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Los Andes.

Meli, R. (1986). Evaluación de los efectos de los sismos de 1985 en los edificios de la ciudad de México (3 volúmenes y 7 anexos), *Informe Interno DE/EST-V2/I*, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Meli, R., & Avila, J. (1989). ANALISIS DE LA RESPUESTA DE ALGUNOS EDIFICIOS DAÑADOS POR EL SISMO DE 1985 EN LA CIUDAD DE MEXICO. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (36), 35-52.

NTC-DS (1987) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, noviembre 1987.

NTC-DS (2004) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

NTC-DS (2017) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

NTC-DM (2017) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

Ordaz, M., Meli Piralla, R., Montoya Dulché, C., Sánchez, L., & Pérez-Rocha, L. E. (1994). Bases de Datos para la Estimación de Riesgo Sísmico en la Ciudad de México. En *Cuadernos de Investigación* (Vol. 1). México. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Ordaz, M., Reinoso, E., Jaimes, M. A., Alcántara, L., & Pérez, C. (2017). High-resolution early earthquake damage assessment system for Mexico City based on a single-station. *Geofísica internacional*, 56(1), 117-135.

Orozco, V. (2007). Estudio estadístico de efectos que influyeron en el daño sísmico analizando estructuras existentes en la Ciudad de México durante los sismos de 1957 y 1985 con ayuda de sistemas de información geográfica. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Perez-Rocha, L.E. (1999). Respuesta sísmica estructural: efectos de sitio e interacción suelo-estructura, Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Perez-Rocha, L.E., Ordaz, M. & Reinoso, E. (2009). Interpolación espacial de las amplificaciones dinámicas del terreno en el valle de México, *Revista de Ingeniería Sísmica* 80, 85-112

Rangel, J. (2019). Cimentación y mejoramiento del suelo para vivienda, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, SMIE.

RCDF (2004) Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

- Reinoso, E., Jaimes, M.A. y Torres, M. (2016). Evaluation of building code compliance in Mexico City: mid-rise dwellings, *Building Research & Information*, 44(2), 202-213.
- Rivera, R. (2019). Tipos de cimentaciones, Facultad de Ingeniería- Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, p.p 3-12.
- Rosenblueth, E., & Meli, R. (1986). The 1985 Mexico earthquake. *Concrete international*, 8(5), 23-34.
- Rossetto, T. (2004). Vulnerability curves for the seismic assessment of reinforced concrete building populations.
- Ruiz, J. (2007). Rehabilitación sísmica de edificaciones de mampostería para vivienda, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- SEDESOL (2018). <https://bit.ly/2wkDDML> (último acceso agosto 2018).
- Singhal, A., & Kiremidjian, A. S. (1996). Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage. *Journal of Structural Engineering*, 122(12), 1459-1467.
- SSN (2017). <https://bit.ly/2fyK8mF> (último acceso abril 2019).
- Soto, E. (2008). Rehabilitación de estructuras de concreto. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Técnicas de construcción (2019). <https://bit.ly/2VB1Ax9> (ultimo acceso abril 2019).
- Tena, A. (2010). Irregularidad estructural y su efecto en la respuesta sísmica de edificios, V Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, Mérida, Venezuela.
- Vázquez, A. (1997). La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985. Academia Mexicana de Ingeniería. <https://bit.ly/2PBYpzV> (último acceso abril 2019).
- Villagrán, A. (1986). Datos relevantes del sismo del 19 de septiembre de 1985, AMIS.

ANEXO A

Tabla A.1. Muestra 1 - 82 edificios con daños por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
1	CUA-06	10	MMC	1.713	×
2	CUA-10	10	MMC	0.867	€
3	CUA-12	10	MMC	1.227	€
4	CUA-13	7	MMC	1.145	€
5	CUA-17	8	MMC	1.230	×
6	CUA-19	9	MMC	1.256	×
7	CUA-21	13	MMC	1.360	€
8	BJ-02	5	MMC	1.564	€
9	BJ-04	7	MMC	1.190	€
10	CUA-25	6	MMC	1.426	€
11	CUA-31	7	MMC	1.732	€
12	CUA-35	8	MMC	1.328	×
13	CUA-36	9	MMC	1.152	×
14	CUA-37	6	MMC	1.002	×
15	CUA-38	10	MMC	1.068	€
16	CUA-40	8	MMC	1.170	€
17	CUA-41	6	MMC	1.159	€
18	CUA-44	8	MMC	0.917	€
19	VC-01	5	MMC	2.636	€
20	CUA-45	6	MMC	1.063	×
21	CUA-47	8	MMC	2.217	€
22	CUA-48	10	MMC	1.968	€
23	CUA-55	12	MMC	1.079	€
24	CUA-56	7	MMC	1.077	€
25	CUA-60	9	MMC	1.973	×
26	CUA-68	15	MMC	2.402	×
27	CUA-70	15	MMC	2.402	€
28	CUA-71	15	MMC	2.398	×
29	CUA-73	8	MMC	1.074	€
30	CUA-74	7	M	1.060	×
31	CUA-75	11	MMC	1.050	€
32	CUA-76	9	MMC	2.312	€
33	MH-01	10	MMC	0.822	€

*Las abreviaturas MMC y M indican un sistema estructural de Mampostería con Marcos de Concreto y Mampostería, respectivamente.

**Símbolo con ×, × y € significa edificio demolido/en proceso de demolición, con daño estructural y con daño no estructural debido a sismo, respectivamente.

Tabla A.1. Continuación

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
34	CUA-78	13	MMC	1.604	xx
35	CUA-83	6	MMC	2.347	€
36	BJ-23	13	MMC	0.960	xx
37	BJ-24	8	MMC	2.190	xx
38	BJ-28	9	MMC	0.978	x
39	MH-04	19	MMC	0.493	€
40	CUA-94	7	MMC	1.207	xx
41	CUA-133	10	MMC	2.043	x
42	CUA-140	10	M	1.405	€
43	BJ-40	6	MMC	0.945	xx
44	CUA-157	7	MMC	1.378	€
45	BJ-42	8	MMC	0.993	€
46	CUA-171	9	MMC	1.413	€
47	CUA-172	5	MMC	1.392	€
48	CUA-173	9	MMC	1.642	x
49	CUA-175	9	MMC	2.365	x
50	BJ-46	9	MMC	1.323	€
51	BJ-49	5	MMC	0.503	€
52	BJ-51	10	MMC	1.069	x
53	CUA-185	7	MMC	1.007	€
54	COY-08	10	MMC	1.409	xx
55	BJ-56	8	MMC	0.794	xx
56	BJ-57	9	MMC	1.605	x
57	BJ-59	9	MMC	1.06	€
58	BJ-60	12	MMC	1.065	€
59	BJ-61	10	MMC	0.926	€
60	BJ-62	11	MMC	0.947	€
61	CUA-199	7	MMC	1.802	x
62	CUA-229	9	MMC	1.089	€
63	CUA-233	9	MMC	1.688	x
64	CUA-236	7	MMC	1.229	x
65	CUA-239	17	MMC	1.219	€
66	CUA-245	12	MMC	1.287	x
67	CUA-246	10	MMC	1.289	€
68	BJ-64	10	MMC	0.864	x
69	BJ-65	9	MMC	0.891	€
70	CUA-252	9	MMC	1.032	€
71	CUA-264	11	MMC	1.167	€
72	CUA-267	15	MMC	1.297	x

Tabla A.1. Continuación

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
73	CUA-268	7	MMC	2.492	€
74	VC-05	6	M	2.663	€
75	CUA-276	5	MMC	1.841	€
76	CUA-277	6	MMC	1.172	€
77	BJ-72	12	MMC	1.421	€
78	CUA-283	7	MMC	1.839	€
79	CUA-285	5	MMC	1.912	€
80	CUA-293	9	MMC	2.063	€
81	BJ-84	6	M	1.405	××
82	CUA-300	5	MMC	1.594	€

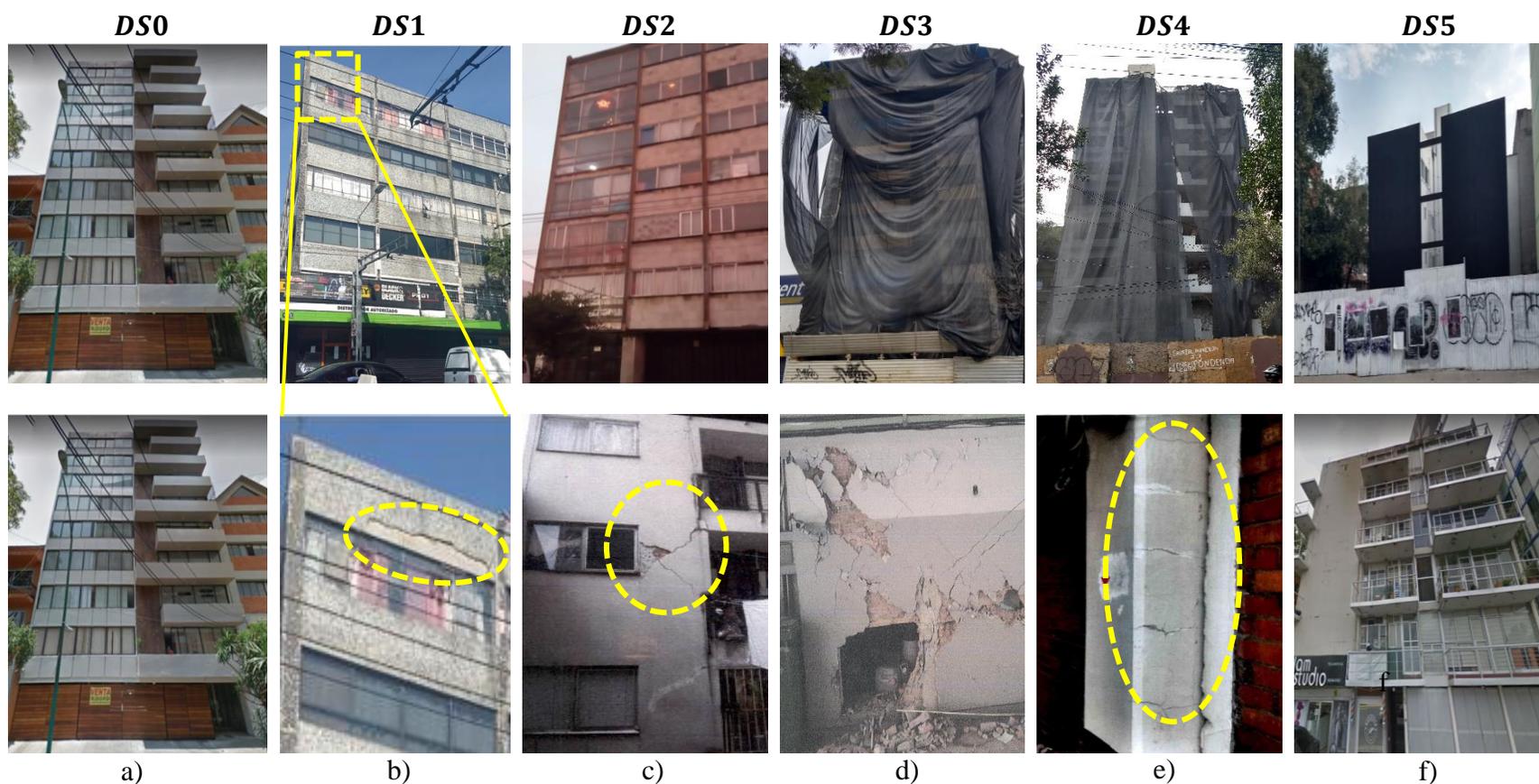


Figura A.1. Ilustración de los niveles de daño clasificados a partir de los efectos del sismo para la Muestra 1: a) *DS0* - Edificio BJ-25 no presentó ningún daño por lo que se observa su antes y después prácticamente igual, b) *DS1* - Edificio VC-05 no presentó ningún daño a gran escala, a excepción del desprendimiento del acabado en la fachada y en el área de las escaleras y algunas fisuras en sus muros, c) *DS2* - Edificio CUA-31 no presentó daño estructural, aunque se observaron fisuras y grietas en forma de “X” en varios de sus muros de carga, d) *DS3* - Edificio CUA-35 el muro del estacionamiento presentó severo daño, así como grietas en muros, traveses y columnas principales en los primeros tres niveles, e) *DS4* - Edificio BJ-23 presentó un desplome del inmueble que excede los límites permisibles, además, se observó daño severo en sus elementos estructurales y f) *DS5* - Edificio BJ-84 colapsó durante el evento sísmico, como evidencia se muestra la figura del lugar vacío y la vista del edificio antes del sismo.

ANEXO B

Tabla B.1. Muestra 2 - Medidas de rehabilitación en edificios en función del estado de daño

Riesgo Menor (DS1)	Riesgo Medio (DS2)	Riesgo Alto (DS3)	Riesgo Muy Alto (DS4)
-Relleno de grietas	-Relleno de grietas	-Relleno de grietas	-Relleno de grietas
-Diagonales de concreto reforzado	-Reestructuración mediante muros de rigidez de concreto reforzado	-Refuerzo de acero estructural (trabes metálicas) -Refuerzo con placas y pernos de acero	-Diagonales de concreto reforzado
	-Adición de pilotes de fricción	-Contraventeos metálicos	-Refuerzo con placas y pernos de acero
	-Contratrabes	-Conexiones entre elementos existentes	-Contraventeos metálicos
	-Refuerzo de acero estructural	-Marcos de refuerzo de concreto	-Conexiones entre elementos existentes
		-Malla y recubrimiento de mortero en muros	-Refuerzo con placas y pernos de acero
		-Refuerzo de acero estructural (trabes metálicas)	
		-Refuerzo con placas y pernos de acero	

Tabla B.2. Muestra 2 - 48 edificios con daños por sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
1	CUA-03	9	MMC	2.417	€
2	CUA-05	5	MMC	1.951	€
3	CUA-16	6	MMC	0.998	€
4	CUA-19	11	MMC	1.444	××
5	CUA-22	8	MMC	1.433	×
6	BJ-04	9	MMC	1.208	€
7	BJ-05	8	MMC	1.090	€
8	COY-02	5	MMC	0.944	€
9	CUA-43	9	MMC	1.387	×
10	COY-04	5	MMC	1.291	×
11	COY-08	9	MMC	1.241	€
12	CUA-48	8	M	1.735	××
13	CUA-51	2	M	1.795	×
14	CUA-52	6	M	1.113	××
15	CUA-57	15	M	1.145	€
16	BJ-15	6	MMC	1.994	€
17	BJ-17	10	MMC	0.912	€
18	CUA-59	10	MMC	1.240	×
19	BJ-26	5	MMC	1.931	€
20	CUA-84	12	MMC	1.428	€
21	CUA-85	10	MMC	1.388	€
22	BJ-29	5	MMC	1.588	€
23	CUA-97	9	MMC	1.122	€
24	CUA-124	14	MMC	1.922	€
25	CUA-127	14	MMC	1.525	€
26	CUA-128	14	MMC	1.079	€
27	CUA-135	8	MMC	1.163	×
28	CUA-136	9	MMC	1.371	×
29	CUA-142	8	MMC	1.447	××
30	BJ-33	7	MMC	1.010	××
31	COY-12	7	MMC	1.328	××
32	CUA-155	8	MMC	2.587	€

*Las abreviaturas MMC y M indican un sistema estructural de Mampostería con Marcos de Concreto y Mampostería, respectivamente.

**Símbolo con ××, × y € significa edificio demolido/en proceso de demolición, con daño estructural y con daño no estructural debido a sismo, respectivamente.

Tabla B.2. Continuación

ID	CLAVE	Niveles	*Sistema Estructural	T_s (s)	**Observación
33	BJ-36	11	MMC	0.914	€
34	BJ-37	9	MMC	1.013	€
35	BJ-38	7	MMC	0.754	×
36	CUA-168	22	MMC	2.006	€
37	CUA-177	9	MMC	1.224	€
38	CUA-180	3	MMC	1.383	€
39	CUA-181	8	MMC	1.070	€
40	BJ-39	7	MMC	1.203	×
41	CUA-188	8	MMC	1.497	××
42	COY-15	7	MMC	1.068	××
43	CUA-191	9	MMC	1.863	××
44	CUA-192	8	MMC	1.410	€
45	CUA-193	9	MMC	1.288	×
46	BJ-42	11	MMC	1.194	€
47	CUA-202	9	MMC	2.058	×
48	BJ-43	5	MMC	1.288	€



Figura B.1. Ilustración de los niveles de daño clasificados a partir de los efectos del sismo para la Muestra 2: a) *DS0* - Edificio BJ-06 no presentó ningún daño por lo que se observa su antes y después prácticamente igual, b) *DS1* - Edificio BJ-04 no presentó ningún daño a gran escala, a excepción algunas fisuras en las uniones de traveses y los muros del estacionamiento, c) *DS2* - Edificio CUA-03 no presentó daño estructural, aunque se observaron grietas en varios de sus muros, d) *DS3* - Edificio CUA-136 presentó grietas en algunas traveses, así como en sus muros diafragma y divisorios, además, mostró un ligero desplome hacia su costado norte y e) *DS4* - Edificio BJ-33 tuvo daños en gran cantidad de columnas de la planta baja, fracturas en la mayoría de sus muros de rigidez y divisorios, desprendimiento de los contraventeos instalados.