

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Arquitectura

**Factores arquitectónico-estructurales que influyeron en el daño severo de viviendas multifamiliares ante el sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México**

Tesis teórica que para obtener el título de:  
Arquitecta

Presenta:

**Vania Itzumi Catalán Pérez**

Director de tesis (IIUNAM)

Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez

Asesores de tesis (FA)

M. Arq. Alicia Susana Ezeta Genís

Arq. Francisco Javier Trejo López

Dr. Benjamín Becerra Padilla

Dra. Lourdes Cruz González Franco

Lugar y fecha donde se presenta la tesis:

Ciudad Universitaria, CDMX, octubre 2020





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

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

Hay muchos participantes, principalmente quiero agradecer a *mis padres* porque siempre estuvieron. Ellos son los docentes que ante toda adversidad me han apoyado toda la vida.

A *mis abuelos*. Han sido las manos que han construido conmigo mis sueños desde siempre.

A *mis hermanas*, por creer en mí, por la alegría que me da compartir y sumar en cada momento.

A mi guía espiritual: *Rocío Hernández*, por mostrarme esa parte de la vida que no se ve con los ojos.

A mis *amigos* incondicionales siempre presentes en los momentos difíciles y alegres; Mario, Diana, Alejandro, Marlene, Javier, Carlos, Isaac, Rubén.

A mis entrañables *profesores* quienes sembraron el interés por el estudio desde el nivel básico y medio superior: Rodolfo Curiel, Gabriela García, Roxana Flores, Rosa Aguilar, Ing. Juan Manuel Pérez Rubio, la QFB. Gabriela Martínez y el Arq. Mario Gómez.

Gracias a quienes han hecho posible el resultado final de mis estudios, mis *asesores de tesis*:

Inicialmente a quien creyó en mí y depositó su confianza para este proyecto: el Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez. Gracias por inyectar toda la pasión y entrega a esta investigación, con toda la paciencia que involucra el intercambio de perspectiva de ingeniería a arquitectura. Gracias por cada consejo. Se ha convertido en un ejemplo a seguir.

A la M. Arq. Susana Ezeta Genís, quien suma en mi vida, en muchos aspectos. Ella me ha mostrado que el límite, lo establezco yo.

Al Arq. Francisco Trejo López, quien ha sumado a todas mis metas en esta etapa de mi vida. Por mostrarme que se llega al final con trabajo y esfuerzo diario.

Al Dr. Benjamín Becerra Padilla, por el conocimiento aportado a esta investigación.

A la Dra. Lourdes Cruz González Franco, por sus valiosas aportaciones y por acompañar mi carrera académica desde el inicio.

Gracias a *quienes través de su experiencia en urbanismo, ingeniería, sismología y diseño editorial* han aportado tanto a mi alcance final: el Urb. Tahiri Trillanes quien me ayudó a enmarcar el rumbo de mi investigación, al Ing. Erick Castañeda de la Facultad de Ingeniería quien con toda su entrega a la docencia, explicó mis dudas más sencillas, a la Dra. Xyoli Pérez del Servicio

Sismológico Nacional quien pacientemente respondió mis preguntas al inicio de mi trabajo sobre los dos eventos sísmicos que aterrizo en esta tesis. Agradezco a Erick Rodríguez por sus valiosos comentarios y paciencia para el diseño editorial de mi tesis.

A la *Universidad Nacional Autónoma de México* por abrirme sus puertas desde el nivel bachillerato.

A la *Facultad de Arquitectura* por todas las oportunidades ofrecidas durante mi carrera académica.

Y finalmente, gracias al *Instituto de Ingeniería* por depositar en mí una responsabilidad tan grande derivada de un evento tan significativo para los mexicanos: el sismo del 19 de septiembre de 2017. Por la confianza y el apoyo para respaldar esta investigación. Por impulsarme y por creer que hay una conjunción importante entre arquitectos e ingenieros. Y que la respuesta a las preguntas puede ser sumar capacidades a través de la transdisciplina.

## DEDICADO A ...

Todas las personas afectadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017. A quienes sé que este texto no les devuelve el hogar, pero confío en que pueda apoyar un poco a entender qué sucede con la vivienda multifamiliar, y por qué ocurren éstas catástrofes. Esperando que el acercarse a esta investigación pueda aportar algunas estrategias de protección a su vivienda, en lo cual, en todo lo que pueda sumar lo haré. Lo que sucedió aquel día marcó un antes y un después en mi carrera académica y profesional.

A *Puccino*, mi compañero de viaje.  
A Princesa, Mila, Sparkie, Tommy y  
Manchitas, que me llenan el alma.

“

**N**i en mis peores pesadillas pensé que nos iba a pasar algo así. El sismo del día 7 de septiembre fue muy fuerte y sí, se escuchaba un ruido muy raro en el edificio, llamé a Protección Civil de la Delegación Coyoacán y el día 9 vino una cuadrilla a revisarlo, el ingeniero responsable me comentó: "*El edificio está bien, muy fuerte y no hay de qué preocuparse, aguantó este sismo y aguantará otros más, sin que haya daños*" Ese mismo ingeniero después del sismo del 19 me decía: "Rosy, no sé que pasó, no sé por qué el edificio sufrió tanto daño, si lo revisé perfecto y no tuvo nada el día 7"

-Rosa Suárez  
Habitante de edificio multifamiliar

”



# CONTENIDO

Resumen	Abstract	Introducción	Objetivos
14	16	18	22
<b>1</b>	Importancia de los sismos en la Ciudad de México en el contexto de la vivienda colectiva 26	1.1. México, país con riesgo sísmico 1.2. El suelo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) 1.3. Generalidades de los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017 1.4. La vivienda colectiva en la Ciudad de México	
<b>2</b>	Antecedentes de la normatividad sísmico-arquitectónica en la Ciudad de México 42	2.1. Breve descripción de la normativa sísmico-arquitectónica después del sismo de 1957 2.2. Algunos cambios generales de la normativa sísmico-arquitectónica después del sismo de 1985 2.3. Revisión general de la Ley para la Reconstrucción posterior al sismo de 2017	
<b>3</b>	Comportamiento arquitectónico-estructural de una muestra seleccionada del Instituto de Ingeniería UNAM de edificios de vivienda en la Ciudad de México de 2 a 19 niveles durante los sismos de 1985 y 2017 58	3.1. Metodología empleada y limitantes 3.2. Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales 3.2.1. Localización 3.2.2. Número de niveles 3.2.3. Irregularidades arquitectónico-estructurales 3.2.4. Estado de daño después del sismo del 19 de septiembre de 2017 3.2.5. El caso de los edificios de 6 a 10 niveles 3.3. Descripción de los estados de daño registrados en las viviendas de la muestra 3.3.1. Sin daño 3.3.2. Daño menor 3.3.3. Daño medio 3.3.4. Daño alto 3.3.5. Daño muy alto	



# CONTENIDO

<b>3</b>	Comportamiento arquitectónico-estructural de una muestra seleccionada del Instituto de Ingeniería UNAM de edificios de vivienda en la Ciudad de México de 2 a 19 niveles durante los sismos de 1985 y 2017 <b>58</b>	3.4. Estudio de 30 de 287 edificios de vivienda que presentaron daño alto y muy alto en el sismo de 2017  3.4.1. Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales 3.4.1.1. Localización 3.4.1.2. Edad de las edificaciones 3.4.1.3. Reglamentos de construcción utilizados 3.4.1.4. Configuración geométrica de los edificios 3.4.1.5. Número de niveles 3.4.1.6. Irregularidades arquitectónico-estructurales 3.4.2. Análisis de los 30 edificios de acuerdo con la información de dictámenes  3.5. Correlación de la acumulación de irregularidades arquitectónico estructurales con el estado de daño presentado
<b>4</b>	Discusión de resultados <b>120</b>	4.1. Discusión General 4.2. Contribución arquitectónica
<b>5</b>	Conclusiones <b>132</b>	
Glosario de términos <b>136</b>	Anexo A <b>144</b>	Referencias <b>266</b>



*“Desde 2012 los vecinos de dos torres de departamentos, conocidas como Los Soldominios, sabían que algo no estaba bien: cada que temblaba las escaleras principales se abrían como un acordeón. Las autoridades capitalinas también supieron del riesgo en el que se encontraban, pero el dinero que les daban apenas alcanzaba para algunas reparaciones. Reforzar los edificios con sus propios recursos era imposible. La gente se quedó ahí, a la deriva, hasta que llegó el 19 de septiembre del 2017 cuando finalmente se quedaron en la calle: los inmuebles tuvieron que demolerse.”*

El mantenimiento que nunca llegó  
Texto: Lilia Saúl Rodríguez  
contralacorrupcion.mx

Figura A. Edificio en la colonia Doctores en proceso de rehabilitación.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2019





## Resumen

En esta tesis se presenta la recopilación de las estadísticas de una muestra del Instituto de Ingeniería de la UNAM, de 287 edificios de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México que reportaron daño menor después del sismo del 19 de septiembre de 1985 Mw8.1 para revisar cómo se comportaron a grosso modo ante el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1 (i.e., 32 años después del gran sismo de 1985).

Se estudia por qué la vivienda en la Ciudad de México cobra importancia ante este fenómeno natural. Se revisa la normatividad constructiva (en cuanto al proyecto arquitectónico) de la Ciudad de México como antecedente y cómo es que esta pudo haber influido en los edificios citados al momento de su construcción.

Se estudia a mayor detalle, de esta muestra de 287 multifamiliares, 30 construcciones que sufrieron daño alto y muy alto en el último sismo. Además, se analizan las irregularidades arquitectónico-estructurales que presentan en común estos inmuebles (e.g., irregularidades en planta y alzado, ubicación en esquina, planta baja débil, columna corta y golpeteo).

Finalmente se discuten algunas soluciones arquitectónico-estructurales existentes y que podrían ponerse en práctica en el caso de la vivienda colectiva en una ciudad en constante transformación urbana, social, ambiental y política.

Figura B. Edificio en la colonia Roma dañado por el sismo del 19 de septiembre de 2017. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019

This Degree work presents a sample of statistics from the Engineering Institute of UNAM containing a group of 287 multi-family housing buildings in Mexico City that reported minor damage after the earthquake of September 19, 1985 Mw8.1 to review how they performed (at high level) in the earthquake of September 19, 2017 Mw7.1 (ie, 32 years after the great earthquake of 1985). This study embraces why housing in Mexico City becomes important in the context of this natural phenomenon. The construction regulations (regarding the architectural project) of Mexico City were reviewed as an antecedent of how they could have influenced in the affected buildings at the time of their construction.

From this sample of 287 multi-family housing, 30 buildings that suffered high and very high damage in the last earthquake were studied in greater detail. In addition, the architectural-structural irregularities that these properties have in common were analyzed (e.g., irregularities in plan and elevation, corner location, weak ground floor, short column and knocking). Finally, some existing architectural-structural solutions were discussed, and it was suggested that they be put into practice in the case of multi-family housing in a city in constant urban, social, environmental and political transformation.

## Abstract



Los desastres naturales han estado presentes en la historia de México. Particularmente, la Ciudad de México se encuentra en una zona altamente sísmica, motivo por el cual el estudio de este fenómeno ha cobrado importancia en las últimas décadas. Se ha estudiado el fenómeno sísmico a través de muchas disciplinas; tales como las ciencias exactas y las humanidades.

La Ciudad de México se ha visto afectada desde su fundación por múltiples eventos sísmicos a lo largo de su historia, sin embargo, de acuerdo con las modificaciones en su normatividad se observa que tres de los eventos de mayor incidencia han sido los sismos de 1957, 1985 y 2017, ya que estos eventos han dado paso a nuevas normativas y nuevos estudios para entender este fenómeno natural que inevitablemente continuará presentándose en el país y en la Ciudad de México.

La arquitectura es un área de estudio para incidir en la mitigación del riesgo sísmico

de este fenómeno ya que es una disciplina que está dedicada a ofrecer mejores condiciones de habitabilidad en los espacios, además seguridad a los usuarios que la habitan, todo esto sin olvidar que ha sido concebida también para encargarse de las necesidades espirituales del hombre (*Luis Barragán, arquitecto e ingeniero mexicano*).

Es entonces cuando representa ésta un gran reto de diseño y construcción en una zona altamente sísmica como lo es la Ciudad de México. Adicionalmente el crecimiento acelerado en la Zona Metropolitana del Valle de México y la expansión de la mancha urbana en gran mayoría por los asentamientos de vivienda multifamiliar y unifamiliar hace que la vivienda cobre gran importancia ante el impacto de un sismo en la ciudad.

La importancia de este trabajo es estudiar la posible relación en los daños observados después del sismo del 19 de septiembre de 2017 en 287 viviendas multifamiliares que reportaron daño menor después del sismo de 1985, con los factores de irregularidad arquitectónico-estructurales.

Figura C. Edificio en Av. Chapultepec deshabitado a casi dos años del evento sísmico de 2017. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019

Esta muestra se toma del Instituto de Ingeniería de la UNAM del estudio: "Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México" de Roberto Meli que contiene una serie de documentos elaborados en los meses posteriores a los sismos de 1985, como resultado de los estudios realizados por diversos investigadores para la evaluación de los efectos de esos sismos en las edificaciones de la Ciudad de México.

Esta revisión se realiza considerando los posibles factores que determinaron el diseño arquitectónico y la época en la que se construyen estos edificios de vivienda colectiva en la Ciudad de México; es decir, la normatividad vigente al momento de su construcción.

En la tesis se ilustra, además, en qué momento la vivienda multifamiliar cobra tanta importancia en la Ciudad de México, y cuáles son las posibles influencias del proyecto arquitectónico en la vivienda colectiva. Con ello, se tendrá una visión más clara de las posibles deficiencias y aciertos que se han tenido a través del tiempo en el campo arquitectónico dentro de la vivienda

en vertical, y cómo es que la concepción de la ingeniería estructural de la vivienda multifamiliar resulta un área de estudio que esta interrelacionada con la arquitectura.

Es una necesidad imperiosa tener presente estos factores de irregularidad arquitectónico-estructurales que se han repetido constantemente en la arquitectura, particularmente en los edificios de vivienda multifamiliar y por añadidura en la ingeniería; al proponer soluciones a esta necesidad de construir cada vez más en la ciudad en forma vertical en una región de alta sismicidad como es la Ciudad de México.

Los resultados estadísticos que se obtendrán de esta investigación se tratarán de conjugar con las características arquitectónicas, sísmicas y normativas para ofrecer una posible implementación al diseño arquitectónico.

Como se verá en la tesis, se estudiarán algunas soluciones existentes que podrían implementarse en el campo arquitectónico dentro del proyecto arquitectónico y de reglamentación arquitectónico-estructural en la Ciudad de México como una sugerencia de aplicación en dicha área.

Figura D. Edificio en la colonia Juárez en proceso de reconstrucción.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020





## Objetivos

### Objetivo principal

Analizar, desde el punto de vista arquitectónico-estructural, los factores que influyeron en el daño severo de 30 viviendas de mediana altura que resultaron con daños severos en el reciente sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1 y que habían sufrido daños menores durante el pasado gran sismo de 1985 Mw8.1 en la Ciudad de México ocurrido hace 32 años.

### Objetivos particulares

- Ilustrar la relación entre intensidad sísmica (i.e., aceleración espectral) y daño observado en las construcciones.
- Estimar si existe una relación que entre un mayor número de factores de irregularidad arquitectónico-estructural hay un mayor ocurrencia de daño sísmico en las 287 viviendas bajo estudio.
- Ilustrar la influencia de los reglamentos de construcciones para el proyecto arquitectónico y su implementación en las edificaciones estudiadas.
- Identificar la participación de la arquitectura dentro del estudio del impacto sísmico y cómo se relaciona directamente con la concepción de la ingeniería estructural para estas viviendas multifamiliares en la Ciudad de México.

Figura E. Edificio en Av. Ámsterdam que presenta golpeteo con edificio colindante.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020



*“Los desastres naturales ya no sólo son naturales, sino que también son humanos. Los terremotos no matan gente. El colapso de los edificios sí”*

-Shigeru Ban, arquitecto japonés,  
Premio Pritzker de arquitectura, 2014

Figura F. Edificio en Av. Ámsterdam en proceso de reconstrucción.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020

# 1

## Importancia de los sismos en la Ciudad de México en el contexto de la vivienda colectiva

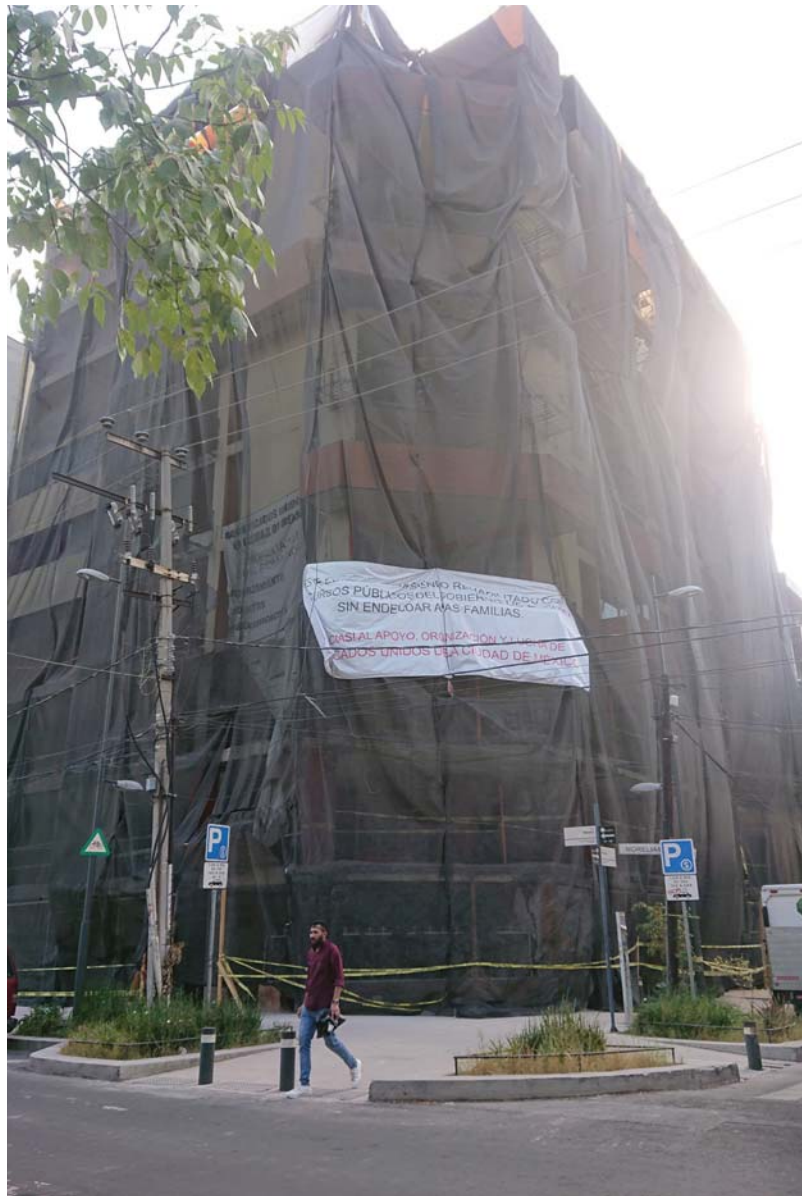
- I.1 México, país con riesgo sísmico
- I.2 El suelo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)
- I.3 Generalidades de los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017
- I.4 La vivienda colectiva en la Ciudad de México

“

*...el duelo por la pérdida del hogar es muy parecido al de la muerte de un familiar”*

*-Juhani Pallasmaa  
Arquitecto finlandés*

Figura G. Edificio en la colonia Del Valle en proceso de rehabilitación.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019



## I.1 México, país con riesgo sísmico

México se encuentra dentro de una región con alta amenaza sísmica conocida como el cinturón de Fuego. Se sitúa sobre dos grandes placas la de Norteamérica y la del Pacífico, pero además otras placas interactúan en territorio mexicano, nombradas: placa de Cocos, placa de Rivera y placa del Caribe (SSN) (ver figura I.1).

Cuando estas placas se mueven, liberan una cantidad de esfuerzo que deforma la corteza terrestre y genera actividad sísmica. En la parte norte de México esas placas se mueven unos 3 centímetros por año, y en el sur la velocidad puede alcanzar los 7 centímetros por año.



Figura I.1 Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano. Fuente: Servicio Sismológico Nacional. UNAM, Geofísica (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2vOqhpz>)

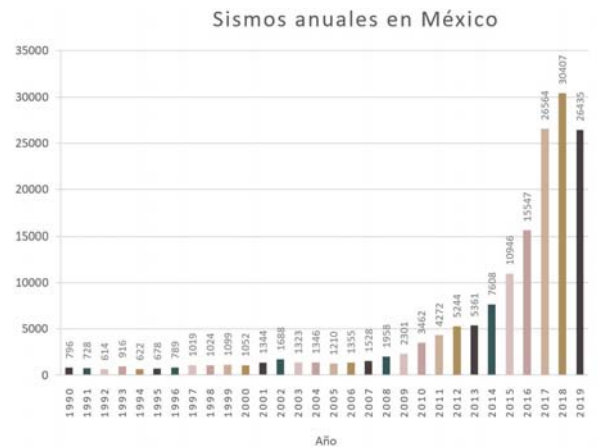


Figura I.2 Sismos anuales en México. Fuente: SSN.

A lo largo de la historia han ocurrido gran cantidad de sismos que han afectado a la Ciudad de México. Anualmente se registra mayor número de movimientos en las placas tectónicas, sin embargo, este incremento, es posible que se deba también a que cada vez existen aparatos más precisos que registran sismos de menores magnitudes. En la figura I.2 se puede observar un registro de los últimos años desde 1990 hasta 2018 de la cantidad de sismos anuales de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional. Mayores detalles se pueden observar en la tabla I.1.

AÑO	TOTAL DE SISMOS	No catalogados	MAGNITUD							
			0-2.9	3-3.9	4-4.9	5-5.9	6-6.9	7-7.9	8-8.9	
1990	796	1	12	247	502	24	2	0	0	
1991	728	4	2	181	509	29	1	0	0	
1992	614	1	4	184	398	27	0	0	0	
1993	916	1	47	278	568	48	5	1	0	
1994	622	0	20	182	383	24	3	0	0	
1995	678	0	17	188	458	26	2	1	0	
1996	789	0	8	201	343	32	2	1	0	
1997	1019	13	44	388	523	34	6	1	0	
1998	1024	2	11	453	392	21	5	0	0	
1999	1099	1	12	542	527	11	4	2	0	
2000	1052	0	28	462	361	18	2	1	0	
2001	1344	9	8	754	385	32	6	0	0	
2002	1668	0	4	880	760	40	4	0	0	
2003	1323	0	5	728	568	18	3	1	0	
2004	1346	0	2	889	489	35	3	0	0	
2005	1210	0	1	678	524	17	0	0	0	
2006	1355	0	0	782	264	19	0	0	0	
2007	1538	0	1	728	764	10	2	0	0	
2008	1958	0	7	1124	780	11	2	0	0	
2009	2301	0	5	1648	610	17	1	0	0	
2010	3462	0	21	2454	884	27	3	1	0	
2011	4272	0	44	3317	889	27	5	0	0	
2012	5244	1	21	4296	2094	50	10	2	0	
2013	5161	0	17	4221	2048	33	4	0	0	
2014	7608	1	128	5263	184	42	7	1	0	
2015	10946	1	231	9056	3005	30	3	0	0	
2016	15547	0	357	13021	3458	29	7	0	0	
2017	20564	0	470	15628	4063	79	2	1	1	
2018	26435	0	1384	23458	3128	38	2	1	0	
2019	30407	0	158	23028	3057	52	2	0	0	

Tabla I.1 Registro de sismos en México. Fuente: SSN



## 1.2 El suelo en la Zona Metropolitana del Valle de México



Figura 1.3 Zonas sísmicas en México y principales volcanes. Fuente: INEGI. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2EEHoAN>)

La Ciudad de México está localizada en las coordenadas latitud: 19.4978, longitud: -99.1269 colinda al norte, oriente y poniente con el Estado de México, y al sur con Morelos y representa un .1% del total de la superficie nacional. Ubicada en la zona B dentro de las zonas sísmicas

en la República Mexicana (se puede observar la figura 1.3), que corresponde a zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

Importancia de los sismos en la Ciudad de México en el contexto de la vivienda colectiva

## - ZMVM

Sin embargo, por la condición del subsuelo del Valle de México, se trata como una zona sísmica en la que se distinguen tres zonas de acuerdo con el tipo de suelo:

- Zona I. Lomas: Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta Zona, es frecuente la presencia de rellenos artificiales no compactados, o de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelo para explotar minas de arena.

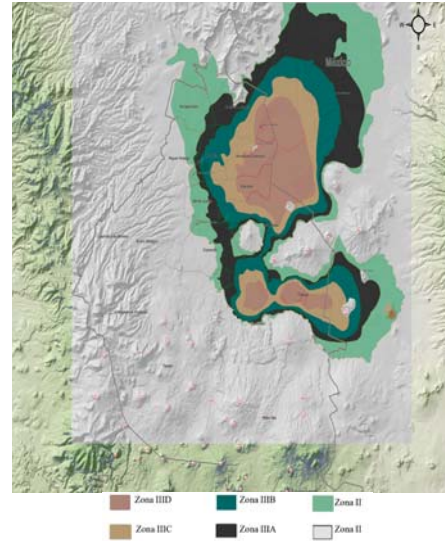


Figura 1.4 Mapa de zonificación sísmica de la Ciudad de México. Fuente: Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México, UNAM. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2NoIQNX>)

- Zona II. Transición: En la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

- Zona III. Lacustre: Integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Importancia de los sismos en la Ciudad de México en el contexto de la vivienda colectiva

### 1.3 Generalidades de los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017

**El primer** gran sismo que causó los daños y pérdidas más graves jamás registrados en la historia reciente de la Ciudad de México ocurrió la mañana del 19 de septiembre de 1985 a las 7:19:45 (hora local) con una magnitud  $M_w 8.1$ . Este evento de subducción se originó en las costas de Guerrero y Michoacán a 300 km de la Ciudad de México. Este tipo de mecanismo (i.e., interplaca) causa contenidos de baja frecuencia en el movimiento del suelo para la Ciudad de México (alrededor de 0.5 Hz); por lo tanto, durante el sismo de 1985 ocurrieron grandes intensidades sísmicas en sitios con periodos de suelo,  $T_s$ , cerca de 2 s.

Como consecuencia de este sismo y sus varias réplicas (especialmente la que ocurrió el 20 de septiembre de 2019 a las 19:37, hora local), se identificaron 133 colapsos totales, 353 colapsos parciales y 271 estructuras severamente dañadas, según un estudio realizado para más de 53,000 edificios (FICA, 1998). Entre las estructuras colapsadas y severamente

dañadas, se reportaron edificios de 7 a 15 pisos (Masaki et al., 1996); estas estructuras fueron diseñadas y construidas según los códigos de construcción de la Ciudad de México de 1957 y 1976.

Otro estudio llevado a cabo reveló que los sistemas estructurales formados por losas planas de concreto en columnas exhibieron los mayores daños graves (40% de los edificios de diferentes pisos), se encontraron: irregularidad geométrica, edificios de esquina, estructuras propensas a golpeteo, sobrecargas, primer piso débil e incluso se encontraron sistemas estructurales

modificados (Hernández, 2017). A través de este estudio, nos referimos a los edificios de esquina como aquellos que generalmente tienen dos fachadas que dan a la calle con cierto tipo de sistema estructural (e.g., marcos) y dos lados que miran a las estructuras adyacentes con otro tipo de sistema estructural (e.g., muros), que conduce a estructuras propensas a la torsión debido a las rigideces muy diferentes. Del mismo modo, con respecto a las estructuras débiles de primer piso, denotamos edificios con el primer piso formado con marcos y los otros pisos formados con sistemas de marco de pared. En el evento

de 1985 las muertes totales, los sobrevivientes afectados y las pérdidas económicas fueron de 9,500 víctimas, 2'130,204 personas afectadas y USA \$ 4.104 millones (casi USA \$ 9.800 millones actualizados a 2019 para una tasa de inflación promedio de 2.59 % para el período 1985-2019), respectivamente (EM-DAT, 2019).

Figura 1.5 Derrumbe de edificios como consecuencia del sismo de 1985. En Tlatelalco, en la imagen el edificio Nuevo León. Créditos fotográficos: Marco Antonio Cruz (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2xmtrHr>)



## El segundo sismo más

grande en términos de efectos negativos en la historia reciente de la Ciudad de México ocurrió la tarde del 19 de septiembre de 2017 a las 13:14:40 (hora local) registrando una magnitud Mw7.1. Este evento sísmico que desempolvó las memorias de algunos habitantes de 32 años antes, sucediendo exactamente el mismo día, pero con casi 6 horas de diferencia, en contraste al evento de 1985, el mecanismo generador fue de falla normal para este evento de profundidad intermedia, que golpeó el centro de México teniendo el epicentro en los límites entre los estados de Morelos y Puebla, a casi 120 km de la Ciudad de México.

A diferencia de los eventos de subducción, este tipo de mecanismo conduce a contenidos de mayor frecuencia (aproximadamente 1 Hz, Jaimes et al., 2015); en consecuencia, se generaron mayores intensidades sísmicas en sitios con periodo de suelo,  $T_s$ , entre 0.7 y 1.5 s (un promedio de 1.3 s). Para este sismo, 38 edificios colapsaron parcial o completamente solo para la Ciudad de México, 27 de los cuales corresponden a viviendas (es decir, el 71% de los edificios colapsados). Se informa que aproximadamente el 90% de los edificios derrumbados se construyeron antes de 1985 (Galvis et al., 2017), lo que implica que resistieron el sismo más destructivo jamás registrado en la Ciudad de México (el ya mencionado evento de 1985).

Esto significa que muchas estructuras podrían haber sufrido daños acumulados de eventos anteriores, asentamientos no uniformes y otros problemas que posiblemente aumentaron su vulnerabilidad sísmica. Otro aspecto de las

estructuras colapsadas durante el evento de 2017 es que tenían principalmente entre 4 y 10 pisos (Cruz et al., 2017), muchos de los cuales eran edificios de esquina, edificios con estructuras débiles de primer piso y estructuras geométricamente irregulares. Además, el 61% de las estructuras colapsadas se construyeron con losas planas de concreto sobre columnas de concreto (Galvis et al., 2017), lo que resulta en un porcentaje mayor

en comparación con lo observado en el evento de 1985 (43%; Meli y Miranda, 1985). Al igual que en 1985, el sismo de 2017 dejó cientos de estructuras tan severamente dañadas que requirieron modificaciones significativas cuando no fueron demolidas.

El reporte oficial de fatalidades en todo el país fue de 369: 228 en la Ciudad de México, 74 en Morelos, 45 en Puebla, 15 en el Estado de México, 6 en Guerrero y 1 en Oaxaca (CNDH 2018). Las muertes totales, los sobrevivientes afectados y las pérdidas económicas fueron 369 víctimas, 2,500,000 personas afectadas y US \$ 6,000 millones (casi US \$ 6,200 millones actualizados a 2019 para una tasa de inflación anual promedio de 2.01%), respectivamente.

Figura 1.6 Colapso de Rancho del Arco 32, edificio multifamiliar de 6 niveles derrumbado por el sismo de 2017. Créditos fotográficos: Cuartoscuro. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2K8tqcP>)



Es de destacar que, tanto para el sismo de 1985 como para el de 2017, las estructuras de viviendas fueron las más afectadas. Por ejemplo, después del evento de 1985, se reportaron 757 edificios con colapso total o parcial o daños severos en la Ciudad de México (FICA, 1988), la mitad de los cuales (alrededor del 55%) eran viviendas, refiriendo a viviendas unifamiliares o viviendas multifamiliares.

Con respecto a los 38 edificios derrumbados durante el evento de 2017, más del 70% (es decir, 27 de 38) eran viviendas; además, el 43% de las muertes se asociaron con estas estructuras (99 de 228 víctimas murieron debido a las 27 viviendas derrumbadas); otro aspecto que puede extraerse de la información disponible es que no todos los edificios derrumbados generaron muertes (por ejemplo, en 9 de las 27 viviendas derrumbadas no hubo víctimas) (IIUNAM, 2017).

Al comparar los efectos

negativos de ambos sismos, se observa que el evento de 2017 representa aproximadamente el 4% de las víctimas en comparación con el evento de 1985. En contraste, los sobrevivientes afectados del evento de 2017 representan aproximadamente 1.2 veces los del evento de 1985, y las pérdidas económicas del primero representan alrededor del 63% de los del segundo.

De acuerdo con el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se observa que el sismo de 1985 registró frecuencias menos intensas en una duración más larga y el sismo de 2017 frecuencias más intensas en un menor periodo. Un resumen de las diferencias entre ambos sismos se muestra en la figura 1.7.

Cabe destacar dentro de los edificios construidos entre los 32 años de diferencia entre ambos sismos (1985 a 2017), de acuerdo con la Plataforma "¿Por qué se cayó mi edificio?", únicamente un edificio construido con la normatividad de 2004 colapsó en el sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1.



Figura 1.7 Diferencias entre ambos sismos, 1985 vs 2017. Información obtenida de: 1) SSN: <https://bit.ly/2HDnW9h>, 2) Salcido, I. (2018). El terremoto de 2017. Diecinueve de septiembre negro. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Casa de las Campanas Editores, 3) IIUNAM; <https://bit.ly/2xYDLUK>. 1.4 La vivienda colectiva en la Ciudad de México

## 1.4 La vivienda colectiva en la Ciudad de México



Figura 1.8 Tipos de vivienda en la Ciudad de México de acuerdo con INEGI al 15 de marzo de 2015. Porcentajes.

En la Ciudad de México al año 2015, se tenía una población de 8'918,653 habitantes, de los cuales 8'912,820 habitaban 2'601,323 viviendas. (i.e., el 99.9% habitaban diferentes tipos de vivienda).

Esta vivienda de acuerdo con los censos de INEGI se clasifica en: casa, departamento en edificio, vivienda en vecindad, otro tipo de vivienda y no especificado. De las cuales, las casas unifamiliares representan un 64.57%; la vivienda multifamiliar, un 29.85%; la vivienda en vecindad, el 4.08%; otro tipo de vivienda, 0.35%, y no especificado el 1.15% (ver figura 1.8). Para mayores detalles por

alcaldía, revisar la tabla 1.2.

Incluye las siguientes clases de vivienda dentro de la clasificación "otro tipo de vivienda": cuarto en la azotea de un edificio, local no construido para habitación, vivienda móvil y refugio. "Casa" incluye las siguientes clases de vivienda: casa única en el terreno, casa que comparte terreno con otra(s) y casa dúplex, triple o cuádruple. (INEGI 2010)

Se observa que prácticamente el 30% de la vivienda en la Ciudad de México pertenece a un edificio multifamiliar, por lo que estos inmuebles habitacionales cobran gran importancia

Alcaldía	Número de viviendas	Casa	Depto. en edificio	Vivienda en vecindad	Otro tipo de vivienda	No especificado
Álvaro Obregón	94895	76.48	18.63	2.85	0.16	1.89
Azcapotzalco	119027	54.63	34.23	7.48	0.18	1.48
Benito Juárez	159700	26.76	68.52	3.4	0.99	0.33
Coyoacán	18637	62.97	33.41	1.99	0.16	1.54
Cuajimalpa de Morelos	55478	71.2	24.12	1.83	0.09	2.75
Cuauhtémoc	188135	19.97	65.59	11.8	1.81	0.83
Gustavo A. Madero	324587	78.06	17.08	3.94	0.25	0.64
Iztacalco	110174	55.98	38.59	3.66	0.14	1.63
Iztapalapa	495665	73.24	22.44	3.17	0.13	1.03
La Magdalena Contreras	66676	90.97	5.05	2.2	0	1.78
Miguel Hidalgo	128042	28.34	62.29	7.65	0.61	1.11
Milpa Alta	34086	97.83	0.49	0.8	0.11	0.78
Itáhuac	94678	85.83	10.17	2.76	0.12	1.12
Tlalpan	190591	81.34	15.44	2.06	0.05	1.11
Venustiano Carranza	126002	53.45	39.76	5.53	0.5	0.77
Xochimilco	107270	92.14	5.12	1.33	0.04	1.36
CDMX	2601323	64.57	29.85	4.08	0.35	1.15

Tabla 1.2 Tipos de vivienda en la Ciudad de México por alcaldía.

para estudiar los daños post sísmicos dentro de la Ciudad de México, por el alto impacto que ocasionan a un gran sector de la población.

Para fines de este estudio se obtiene un estimado de los inmuebles destinados a la vivienda multifamiliar en la Ciudad de México, del total de viviendas registradas en la Ciudad de México por INEGI, se ilustra que el 29.85% son viviendas en edificio de departamentos, es decir, de un total de 2'601,323 viviendas, 776,495 se encuentran en edificios multifamiliares.

Se estima un promedio de 24 viviendas por edificio.

Esto es que en la Ciudad de México se tienen aproximadamente 32,354 edificios multifamiliares. Mayores detalles de la obtención del total de viviendas se pueden consultar en la tabla 1.3.

Tipo de vivienda	Porcentaje	Número de viviendas	Número de edificios
Vivienda unifamiliar	64.5%	1 679,674	1 679,674
Departamento en edificio	29.85%	776,495	32,354
Otro tipo de vivienda	0.35%	9,105	9,105
No especificado	1.51%	29,915	29,915
En vecindad	4.08%	106,134	106,134
Total	100.00%	2 601,323	1 857,182

Tabla 1.3 Tipos de vivienda en la Ciudad de México de acuerdo con INEGI. Porcentaje, número de viviendas y número de edificios.

Después del sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw7.1, de acuerdo con el portal de la Comisión para la reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México se presentaron en la ciudad un total de 12,253 casos de viviendas que presentaron algún daño, lo cual representa aproximadamente un 0.65% del total de viviendas habitadas en la Ciudad de México (de un total de 1 857,182 edificaciones).

En la figura 1.9 se puede observar que, de estas 12,253 viviendas, 11,882 son de tipo unifamiliar y 371 multifamiliares. Es decir, los edificios multifamiliares representan el 3.01% del total de edificios dañados destinados a vivienda.

Dentro de las viviendas multifamiliares dañadas, 250 se destinaron a rehabilitación, y 121 a reconstrucción.

En la figura 1.10 se puede observar la localización de la vivienda multifamiliar en la Ciudad de México que se registró con daños.

Este estudio estará enfocado únicamente a las viviendas multifamiliares que habían presentado daño menor (D1) en el sismo del 19 de septiembre de 1985 para revisar cómo se comportaron ante el sismo de 2017 y si se encuentran registradas en la base de datos de la Ciudad de México.

Figura 1.10 Localización de viviendas registradas con daños (imagen obtenida de: <https://bit.ly/34DpiXD>)

Casos de vivienda reportada con daños después del sismo de 2017

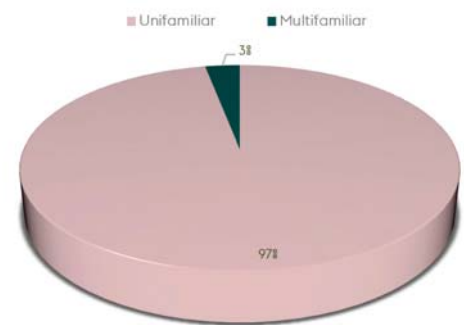
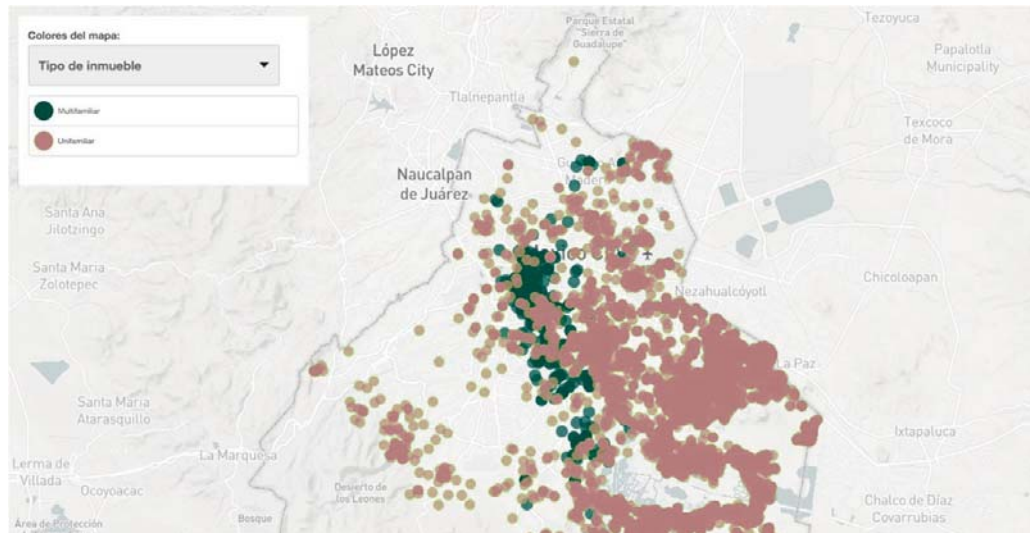


Figura 1.9 Tipos de vivienda dañadas en la Ciudad de México de acuerdo con el portal de la Comisión para la reconstrucción del Gobierno de la CDMX.



## 2

### Antecedentes de la normatividad sísmico-arquitectónica en la Ciudad de México

- 2.1 Reglamentos de construcciones de la Ciudad de México
- 2.2 Breve descripción de la normatividad sísmico-arquitectónica después del sismo de 1957
- 2.3 Cambios en la normatividad de la concepción del proyecto arquitectónico en términos generales después del sismo de 1985
- 2.4 Revisión general de la Ley para la Reconstrucción posterior al sismo de 1917 enfocada a la vivienda

“...en ciudades, en particular, los cambios significativos no ocurren en circunstancias normales. Cuando hay una ciudad destruida en un 80%, es el momento de preguntarse si no habría ciertas cosas que cambiar, que es algo imposible en circunstancias normales”

-Alejandro Aravena.  
Arquitecto chileno

Figura H. Edificio en la colonia Girasoles en proceso de demolición.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019



## 2.1 Reglamentos de Construcciones de la Ciudad de México

Debido a la complejidad de la construcción en México por su alta sismicidad, Roeslin, J. E., Juárez G. & Gómez B. señalan que se ha contado con 104 reglamentos y códigos de construcción (32 estatales y 72 municipales), pero no con uno que pueda aplicarse de forma general en todo el territorio mexicano en caso de algún desastre natural, como son los sismos.

Esto porque acorde a la ley, cada uno de los municipios de los estados de la República Mexicana

debe contar con un reglamento de construcciones, que en algunas ocasiones no se logra cubrir por la cantidad de municipios (e.g. en Oaxaca hay 570 municipios) entonces para la realización de estos Reglamentos, no se logra abastecer esta demanda porque no se cuenta con los suficientes especialistas en los temas constructivos que se requieren. En la figura 2.1 se puede observar un mapa con los estados que han percibido sismos a lo largo de la historia.

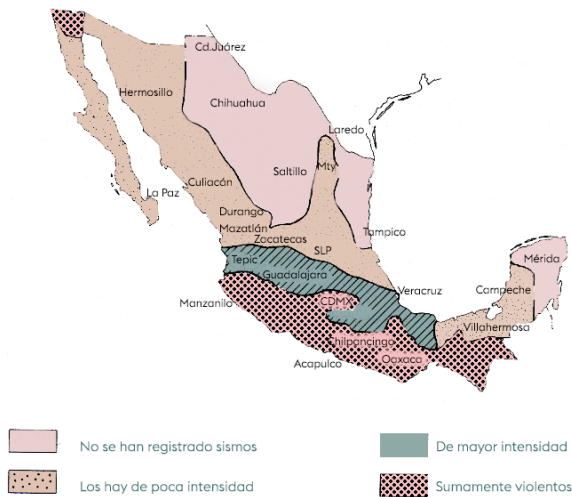


Figura 2.1 Zonificación de la República Mexicana donde se han registrado sismos.

## 2.2 Breve descripción de la normativa sísmico-arquitectónica después del sismo de 1957

El primer reglamento de construcción de la Ciudad de México fue el del año 1920. Ha tenido desde entonces modificaciones importantes, de las cuales tres han sido generadas después de la ocurrencia de sismos intensos en la ciudad. Éstos son el sismo de 1957, el de 1985 y el de 2017. Sin embargo, en el reglamento de construcciones de 2017 se ha mencionado que el reglamento ya estaba a punto de salir casi a los pocos días de ocurrido el sismo. Pero este último aún ha sufrido modificaciones "ligeras".

Es importante comprender que la filosofía del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México es salvaguardar la vida de los habitantes de un espacio ante un sismo. Es decir; la estructura y elementos no estructurales pueden dañarse tras un sismo, pero no colapsar y generar pérdidas humanas. En este sentido, el Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México habrá cumplido su objetivo. Por ejemplo, para el caso del sismo de 2017, a



Figura 2.2 Fotografía donde se observa la columna del Ángel de la Independencia sin la escultura de bronce del artista italiano Enrique Aiciati (imagen obtenida de: <https://bit.ly/3ab5MB2>)



excepción de las construcciones que colapsaron. Esto significa que las construcciones podrían sufrir severos daños (e incluso ser irreparables) y no haber colapsado para cumplir con la filosofía del reglamento de construcciones. Este paradigma debe cambiar ante una sociedad moderna que ya exige que después de la ocurrencia de un evento sísmico importante esta pueda ser habitable o usada nuevamente como es el caso de hospitales, escuelas, y construcciones estratégicas.

Se presenta en términos generales cuáles han sido las modificaciones más importantes a raíz de estos eventos sísmicos en la normatividad arquitectónica que puede estar interrelacionada directamente con la concepción de la ingeniería estructural. Después del sismo del 28 de julio de 1957, por decreto del presidente Adolfo Ruiz Cortínez, se adicionan al capítulo 41.I. del Reglamento de las construcciones y de los servicios urbanos en el Distrito Federal, titulado: "Especificaciones sobre cargas mínimas, muertas, vivas permanentes y vivas accidentales que servirán de base para los cálculos de estabilidad" (capítulo dedicado a todos los temas relacionados con la construcción), que se encontraba en vigor antes del sismo estas normas de emergencia publicadas el 12 de septiembre de 1957.



Figura 2.3 Fotografía donde se observa la caída del la escultura de bronce del artista italiano Enrique Alciati. (imagen obtenida de: <https://bit.ly/3abSM89>)

En el primer artículo de estas normas de emergencia se hace mención que deberán sujetarse a estas disposiciones las construcciones nuevas menores de 45 metros de altura (en donde por el número de niveles se encuentran los edificios de vivienda multifamiliar), y las construcciones con mayor altura de la mencionada, deberán contar con un estudio especial de carácter dinámico que garantizaría su correcta estabilidad.

Esto derivado de que previamente no se tenía un diseño sísmico en edificios de menos de 16 metros de altura, por lo que no se contaba con una supervisión y proceso constructivo muy claro ante estos edificios.

La clasificación de los edificios respecto al uso los agrupó en tres tipos:

- Grupo A. Comprendía los tipos I y II del reglamento de las construcciones de 1942. (i.e., en el grupo I estaban clasificadas las construcciones que era indispensable que permanecieran intactas cuando todas las otras hubieran sido destruidas por un temblor. Por ejemplo, aquellas de las que dependía la habitabilidad y la seguridad de las poblaciones, como plantas de bombeo, depósitos de agua potable, estaciones de bomberos, plantas de energía, plantas de tratamiento de aguas negras, y también los monumentos que se

deseaba conservar y el grupo II consideraba las construcciones para lugares de reunión o de cualquier otra clase que al fallar pusieran en peligro la vida de gran número de personas. Por ejemplo: escuelas, teatros, salas de cinematógrafo y similares)

- Grupo B. Comprendía los grupos III al VI del mismo reglamento. (i.e., en el grupo III se encontraban las construcciones para edificios destinados al público, pero donde no se congregaba un gran número de personas, así como otras construcciones que al fallar podían poner en riesgo a las primeras. Por ejemplo: hoteles, casas de viviendas o departamentos, edificios para despachos, plantas industriales, etc.), el grupo IV se refería a las construcciones para guardar materiales o equipos costosos o necesarios.

Por ejemplo: almacenes, elevadores de grano, etc. Las construcciones que al fallar podían poner en riesgo a estas, se consideraban también de este tipo. El grupo V se refería a las construcciones que eran de valor y cuya falla sólo podía poner en peligro la vida de pocas personas. Por ejemplo: residencias privadas de lujo. El grupo VI se refería a las construcciones que eran usadas como habitación para pocas personas). Es decir, en este grupo se localizó toda la vivienda de la Ciudad de México.

- Grupo C. Comprendía los grupos VII y VIII de dicho reglamento. (i.e., en el grupo VII consideraba a las construcciones que eran usadas ocasionalmente por pocas personas, pero no para habitación o lugar de reunión. El tipo VIII consideraba a cualquier otra construcción aislada cuya falla por un temblor no podía ocasionar normalmente daños a otras estructuras ni a seres humanos) Las normas de emergencia mencionan que las construcciones que habían sido dañadas gravemente por el sismo debían acatarse a esas nuevas medidas, siendo la Dirección General de Obras Públicas quien tendría la responsabilidad de señalar qué edificios debían actualizarse a esta normatividad.



Figura 2. 4. Fotografía del periódico "LA Prensa" del día 29 de julio de 1957. Fuente: Hemeroteca Nacional / DeMemoria

El Reglamento de 1966 surgió como respuesta al sismo de 1957, en donde se retomaron las normas de emergencia y se propusieron cambios a la normatividad anterior. Es el primer reglamento que propone

una zonificación del suelo de la Ciudad de México en dos zonas: (i) de alta compresibilidad y (ii) baja compresibilidad. (dicha zonificación se puede observar en la figura 2.5)

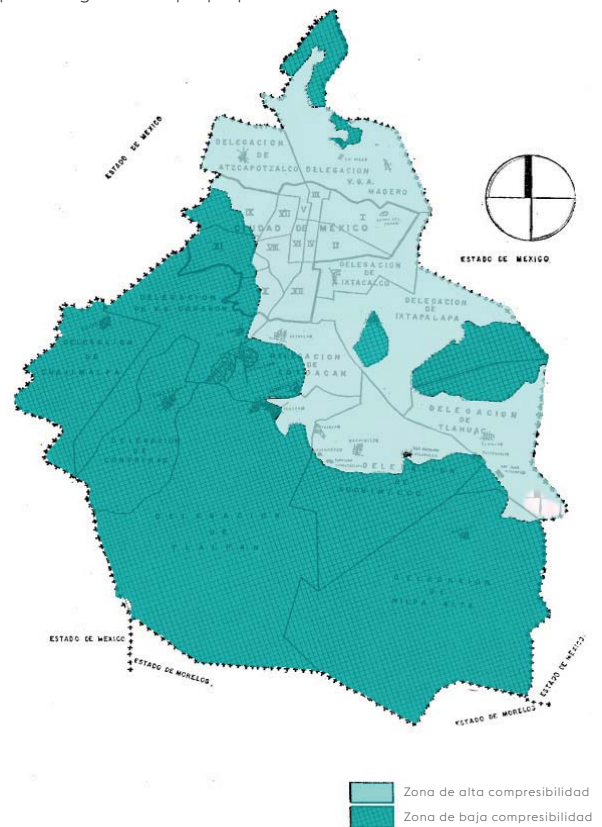


Figura 2.5 Plano de zonas de compresibilidad de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1966. Imagen intervenida. Fuente: RCDf 1966

Además, comenzó a hacerse énfasis en el proyecto arquitectónico para proyectar edificios de vivienda en el Título Segundo. Éste comienza a tener subdivisiones más claras para ejecutar el diseño arquitectónico. Hace mención a las áreas libres con dimensiones en los patios relacionando las alturas de los edificios con las dimensiones del espacio exterior. Subdivide el proyecto arquitectónico de acuerdo con el tipo de edificio (e.g., vivienda, escuela, instalaciones deportivas)

En cuanto a la relación con la geometría del edificio, se mencionaba que se diseñarían

estructuralmente bajo las condiciones más severas los edificios cuya longitud fuera mayor a 50 m, así como los de planta irregular (L, T, U y otras que no se hubieran subdividido en otras entidades regulares no mayores a 50 m). Sin embargo, no se ahonda en las condiciones de regularidad para las edificaciones.

Respecto a la separación con los edificios colindantes el reglamento consideraba como mínimo 5 cm. Sin profundizar en quién caería la responsabilidad si es que el edificio colindante no había respetado su junta.

### 2.3 Cambios en la normatividad de la concepción del proyecto arquitectónico en términos generales después del sismo de 1985

Previo a las modificaciones del reglamento después del sismo de 1985, se adicionaron al reglamento de 1976 las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto, acero, mampostería, madera, diseño por sismo, cimentaciones y análisis por viento. El desarrollo de estas normas marcó una fuerte importancia a las conexiones entre elementos estructurales.



Figura 2.6 Fotografía donde se aprecian los trabajos post sísmicos en la calle de Iturbide. Fuente: Archivo de El Universal. Colección Villasana-Torres (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2xLswQs>)

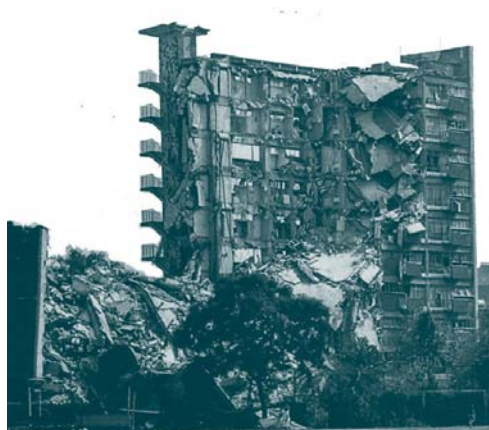


Figura 2.7. Fotografía del multifamiliar Juárez después del sismo de 1985. Fuente: Archivo Excelsior.

Se incrementaron los valores de coeficientes sísmicos y la clasificación por su uso dividía en 3 grupos a los edificios:

- Grupo A) Construcciones cuyo funcionamiento era especialmente importante a raíz de un sismo o que en caso de falla; causaría pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad. Tal era el caso de subestaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, estadios, templos, centros de reunión, salas de espectáculos, estaciones terminales de transporte, monumentos, museos y locales que alojaran equipo especialmente costoso en relación con la estructura, así como instalaciones industriales, cuya falla podía ocasionar la difusión en la atmósfera de gases

tóxicos o que podían causar daños materiales importantes en bienes o servicios.

- Grupo B) Construcciones cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como otras plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras, comercios, bancos, edificios de habitación, hoteles, edificios de oficinas, bardas cuya altura excedía de 2.5 m, y aquellas estructuras cuya falla por movimientos sísmicos podría poner en riesgo otras construcciones de este o el grupo A.

- Grupo C) Construcciones cuya falla por sismo implicaría un costo pequeño y no causarían normalmente daños a construcciones de los primeros grupos. Se incluían bardas cuya altura no excedía de 2.5 m y bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas. Estas construcciones no requerían diseño sísmico.

Además, se volvió a zonificar el Distrito Federal en cuatro tipos de suelo:

- Zona I: Con suelos compresibles de espesor  $H < 3$  m;
- Zona II: Con suelos compresibles de espesor  $3m \leq H < 20$  m;
- Zona III: Con suelos compresibles de espesor  $H \geq 20$  m y;
- Zona IV: Era poco conocida desde el punto de vista de la mecánica de suelos

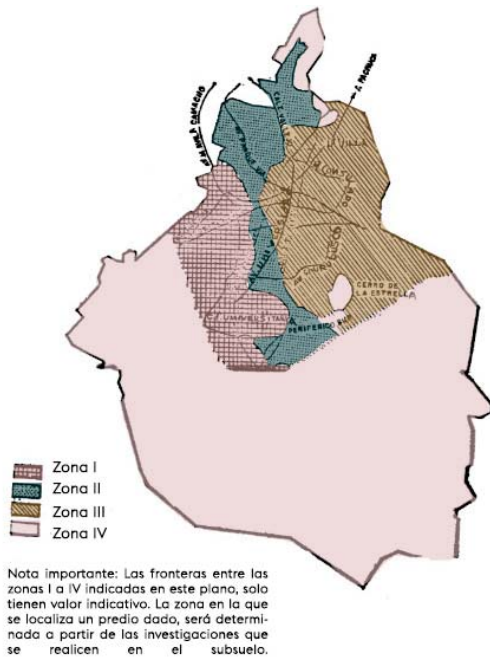


Figura 2.8 Zonificación del subsuelo de la ZMVM de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976. Fuente: RCDF 1976.



Figura 2.9 Restos del multifamiliar Juárez después del sismo de 1985. Fuente: Milenio. (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2QuGcFY>)

Con Miguel de la Madrid como presidente de la República Mexicana, se publican las Normas de emergencia el 18 de octubre de 1985 como respuesta al sismo del 19 de septiembre de 1985, el cual dejó múltiples daños de distintas magnitudes y muchos inmuebles destruidos. Estas normas de emergencia debían aplicarse para todas las nuevas construcciones en tanto no se publicara un nuevo reglamento, además para todas las rehabilitaciones que tenían que llevarse a cabo.

En estas normas de emergencia se mencionaba la importancia de las juntas de colindancia para los edificios de vivienda que se encontraban en proceso constructivo (y que no presentaban daños) en las zonas I y II y, además, la revisión detallada para aquellos que pertenecían al grupo A de edificios.

Se vuelve a clasificar en tres tipos de suelo la Ciudad de México: blando, de transición y firme. Se incrementan los coeficientes sísmicos.

En 1987 (en 1993 se hacen algunas modificaciones menores) se publica el nuevo reglamento que compilaba las modificaciones propuestas y hacía especial énfasis en:

Coefficientes sísmicos más altos para las zonas II y III que es donde se presentaron los daños en el sismo. Es decir, se aumentan los coeficientes para la zona II en un 60% y para la zona III en un 67%

La clasificación de los edificios se modificó, quedando igual para el grupo A y el grupo B se subdividió en dos subgrupos: B1 y B2 (definidos por la altura y la zona en que están ubicados). Se eliminó el grupo C y se sumó al grupo A de edificios.

En cuanto al marco del diseño arquitectónico en la concepción geométrica se sugirió que los proyectos fueran lo más regulares posible en cuanto a su configuración geométrica.

Además, hizo alusión a los acabados en fachadas para evitar el riesgo de caídas hacia la vía pública. También se hizo hincapié a la fijación correcta de elementos no estructurales que podían representar un riesgo a los usuarios durante un sismo: muros de relleno, plafones, marquesinas, etc., esto para evitar que pudieran modificar el comportamiento estructural general del edificio.

Debido a que uno de los principales daños a los edificios después del sismo de 1985 hacía alusión al exceso de carga viva en los inmuebles, (como se observó en algunos edificios de vivienda que estaban siendo ocupados con otro uso) para el reglamento de 1987, se modificó la aplicación de carga viva para los edificios futuros que serían diseñados con esta normatividad.

En términos generales, se dio importancia vital a las juntas de colindancia entre edificios.

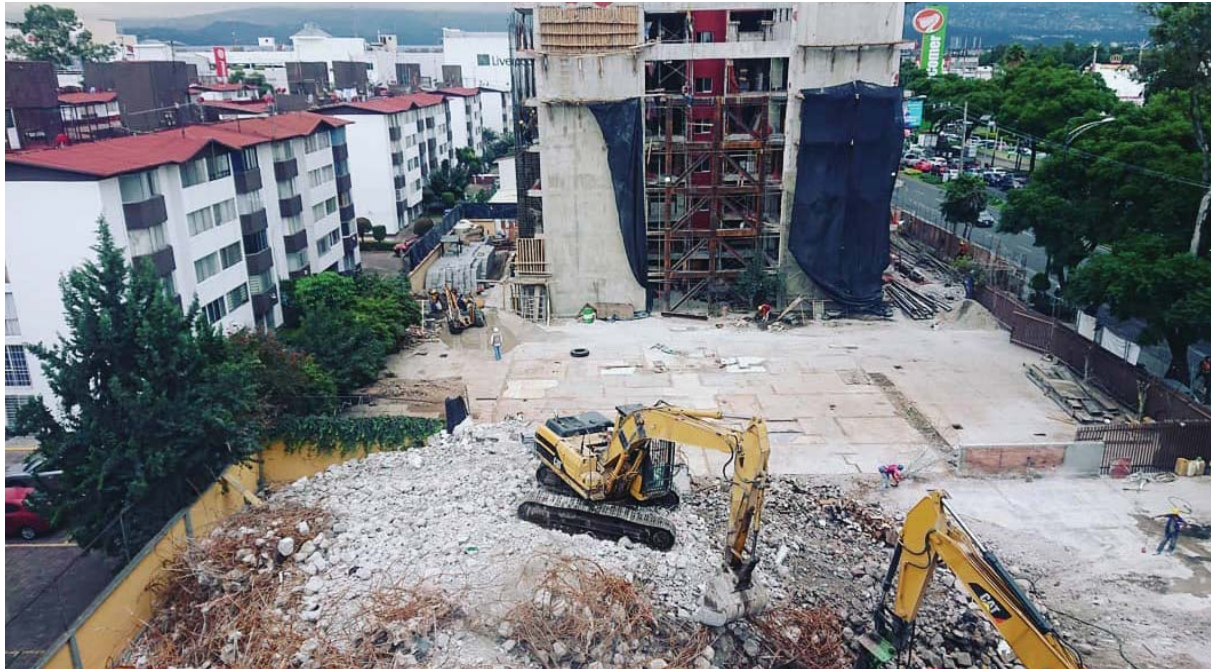


Figura 2.10 Demolición de conjunto habitacional en Miramontes. Créditos fotográficos: Vanja Catalán, Octubre de 2019. .

*Me aterró pensar que el edificio se viniera abajo y mi pequeña no pudiera salir*

*-Rosa Suárez  
Habitante de edificio multifamiliar*

Se hicieron recomendaciones para integrar la relación suelo-estructura. En esta nueva normatividad se hizo obligatoria la revisión de los inmuebles tipo A cada 5 años o después de cada sismo de intensidad importante. Se creó la figura del Director Responsable de Obra (DRO) y del Corresponsable en Seguridad Estructural (CSE).

Además, después de este sismo, en materia legislativa se crea la Ley de Propiedad en Condominio que crea un plan de mantenimiento para los edificios de vivienda colectiva.

## 2.4 Revisión general de la Ley para la Reconstrucción posterior al sismo de 2017 enfocada a la vivienda

Después del sismo de 2017 se presenta la iniciativa de la Ley del Programa de Reconstrucción. El 1 de diciembre de 2017 se publica esta Ley de Reconstrucción, denominada: "Ley para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la Ciudad de México en una cada vez más Resiliente".

En términos generales esta ley estableció como objetivos:

I. Garantizar el pleno ejercicio de sus derechos a las personas que sufrieron alguna afectación a causa del sismo y encauzar las acciones del Gobierno de la Ciudad para la reparación del mismo.

II. Brindar certeza jurídica a las personas y zonas afectadas.

III. Garantizar el derecho a la Ciudad a partir de la construcción de una Ciudad más segura.

IV. Establecer las acciones que permitan alcanzar la reparación del daño a las familias que perdieron su patrimonio garantizando la construcción y el acceso a una vivienda digna y adecuada en los términos estipulados en la Ley de Vivienda de la Ciudad de México.

V. Contribuir a la recuperación económica de las zonas de la Ciudad afectadas, a través de apoyos gubernamentales para pequeños y medianos negocios afectados.

VI. Garantizar la calidad de los servicios públicos y la infraestructura urbana, así como en su caso la reparación los mismos.

VII. Preservar, y en su caso, reparar el Patrimonio Cultural e Histórico de la Ciudad de México. Apoyar al bienestar de las personas afectadas por el sismo, con el propósito de restituir su vida cotidiana con una visión de derechos humanos, a través de la realización de diversas acciones para la reconstrucción y rehabilitación de sus inmuebles.

VIII. Garantizar el reconocimiento de los derechos y participación de pueblos y barrios originarios de acuerdo a sus usos y costumbres.

Por otro lado, el título segundo de esta Ley de Reconstrucción se enfocó a la vivienda en la Ciudad de México que resultó dañada tras el sismo de 2017.

El capítulo cuarto de este título se enfocó a la reconstrucción de edificios de uso habitacional afectados por el sismo. En este apartado se hace alusión a los criterios para la rehabilitación, reparación, reestructuración, rigidización o reforzamiento estructural.

Clasifica a los inmuebles de la siguiente forma:

- a. Inmuebles habitables
- b. Inmuebles parcialmente habitables

Figura 2.11 Reestructuración de un edificio habitacional en Av. Miramontes después del sismo de 2017. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Octubre de 2019.

c. Inmuebles no habitables que pueden ser rehabilitados

d. Inmuebles no habitables que no pueden ser rehabilitados

Se propone dentro de las viviendas que no pueden ser rehabilitadas hasta un incremento del 35% respecto de la zonificación establecida por los programas de Desarrollo Urbano en el coeficiente de utilización de suelo, niveles de edificación, y/o número de viviendas máximas existentes con anterioridad al sismo.

Además, se propone que en caso de ser necesario pueden construirse edificios de uso mixto, en donde el comercio no represente un alto impacto y que no representen un riesgo para el entorno.

Se hace hincapié en los estudios de mecánica de suelo en donde se está reconstruyendo.

Se presentan las características que deben contener las demoliciones que se realicen en caso de que el inmueble sea reconstruido vía demolición.

El título tercero revisa la reconstrucción a nivel urbano de la Ciudad de México, e incluye los edificios de tipo A.

En la Ley de Reconstrucción, el gobierno de la Ciudad de México se comprometió a actualizar la Normas Técnicas complementarias para:



1. Diseño de Cimentaciones
2. Diseño por Sismo
3. Diseño por Viento
4. Diseño y Construcción de Estructuras de Acero
5. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto
6. Diseño y Construcción de Estructuras de Madera
7. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería
8. Revisión y Dictamen de la Seguridad Estructural de las Edificaciones.

También menciona que se actualizaría y publicaría el Atlas de Riesgos de la CDMX.

# 3

## Comportamiento arquitectónico-estructural de una muestra seleccionada de viviendas del II-UNAM en la Ciudad de México de 2 a 19 niveles durante los sismos de 1985 y 2017

- 3.1. Metodología empleada y limitantes
- 3.2. Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales
  - 3.2.1. Localización
  - 3.2.2. Número de niveles
  - 3.2.3. Irregularidades arquitectónico-estructurales
    - 3.2.3.1. Golpeteo
    - 3.2.3.2. Irregularidad en planta y alzado y uso de planta libre en la Ciudad de México
    - 3.2.3.3. Efecto de columna corta
    - 3.2.3.4. Localización en esquina
  - 3.2.4. Estado de daño existente después del sismo de 2017
  - 3.2.5. El caso de los edificios de 6 a 10 niveles
- 3.3. Descripción de los estados de daño registrados en las viviendas de la muestra
  - 3.3.1. Daño menor
  - 3.3.2. Daño medio
  - 3.3.3. Daño alto
  - 3.3.4. Daño muy alto
- 3.4. Estudio de 30 de 287 edificios de vivienda que presentaron daño alto y muy alto en el sismo de 2017
  - 3.4.1. Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales
    - 3.4.1.1. Localización
    - 3.4.1.2. Edad de las edificaciones
    - 3.4.1.3. Reglamentos de construcción utilizados
    - 3.4.1.4. Configuración geométrica de los edificios
    - 3.4.1.5. Número de niveles y sótanos
    - 3.4.1.6. Irregularidades arquitectónico-estructurales
  - 3.4.2. Análisis de los 30 edificios de acuerdo con la información de dictámenes
- 3.5. Correlación de la acumulación de irregularidades arquitectónico-estructurales con el estado de daño presentado

*“ Si un edificio se dañó de consideración y al de al lado no le pasó nada, es porque algo falló”*

*- Ricardo Guendelman  
Ingeniero civil chileno*

### 3.1 Metodología empleada y limitantes

Se analiza una muestra de viviendas que se reportaron con daño menor después del sismo del 19 de septiembre de 1985 de magnitud Mw8.1 ocurriendo a las 7:19 am para analizar los daños que presentaron después del sismo del 19 de septiembre de 2017 de magnitud M7.1, que ocurrió exactamente el mismo día (i.e., 32 años después), pero casi 6 horas después del evento de 1985. Se considera que estas viviendas no requirieron de un proyecto de reestructuración y es posible que únicamente se hayan realizado algunas reparaciones en acabados y elementos no estructurales (esto de acuerdo con la definición de daño menor).

Para la obtención de los resultados se siguieron los siguientes procesos:

1. Se toma una muestra de 320 viviendas multifamiliares en la Ciudad de México del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Esta muestra se toma del estudio titulado "Evaluación de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México" de Roberto Meli, con alturas que van de 2 a 19 niveles, registradas con daño menor en

el sismo del 19 de septiembre de 1985.

2. Se procede a verificar el uso de suelo actual de los 320 edificios con el apoyo de plataformas como Google Earth Street View.

3. Se revisan cada uno de los edificios de vivienda que aún se utilizan para fines habitacionales y se verifica en las plataformas CDMX (<https://plataforma.cdmx.gob.mx/>), Mexicanos Contra la Corrupción ¿Por qué se cayó mi edificio? (<https://miedificio.contralacorrupcion.mx/>), Reconstrucción CDMX: Portal de Reconstrucción (<https://reconstruccion.cdmx.gob.mx/>) si registraron actualmente algún estado de daño a través de las bases de datos de dichas plataformas.

4. Se corrobora el estado de daño presentado después del sismo de 2017 y se realiza una comparación con el daño menor que presentaron después del sismo de 1985. Esto se verifica revisando los dictámenes disponibles y las cédulas de revisión post-sísmica que tenían disponible esta información.

Figura 3.1 Reestructuración de un edificio habitacional en la colonia Hipódromo-Condesa. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

5. Para los edificios de los que no se encontró información o que no coinciden la recabada en las plataformas se procede a realizar inspección de banqueta, la cual consistió en una revisión visual del inmueble sin entrar al mismo y corroboración de los datos.

6. Se estudian en las inspecciones de banqueta las irregularidades que presentan los edificios en cuestión y se verifica que coincidan con la inspección visual que se realizó en línea con apoyo de las plataformas mencionadas.

7. Se recopila toda la información recabada tanto de la inspección de banqueta como de la inspección a través de las diferentes plataformas en línea y con el apoyo de los dictámenes estructurales para posteriormente analizarlos y realizar las estadísticas necesarias.

Dentro de las limitaciones para la obtención de los resultados en esta muestra se encuentra que, debido al acotamiento por los tiempos de revisión de los registros, únicamente se logra la captura de 320 edificios iniciales que derivan finalmente en 287 edificios, sin embargo, se considera aceptable en cantidad para su estudio. Además, no se tiene acceso a planos arquitectónicos, estructurales o de instalaciones, motivo por el cual únicamente se apoya en la inspección visual.





### 3.2 Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales

Después de la inspección a través de las diferentes plataformas de consulta y las inspecciones de banqueta, se observa que 33 edificios de la muestra actualmente no cuentan con uso habitacional, cambiaron su uso de suelo y operan como oficinas, o comercios. Es decir, se cuenta con 287 edificios de vivienda para los que se puede comparar su comportamiento estructural después del sismo de 2017.

Se analizan diferentes factores arquitectónico-estructurales que presentan en común los 287 edificios de vivienda multifamiliar para observar si existe una correlación de que, a mayores factores de irregularidad arquitectónico-estructurales, mayor daño presenta el edificio. Estos factores son: irregularidad en planta y alzado, planta baja débil, columna corta, localización en esquina y golpeteo.

*Las reparaciones duraron meses e incluso algunos inquilinos ya no quisieron volver a vivir ahí, si fue algo traumático y se puede notar cuando vuelve a sonar la alerta sísmica, la verdad es que se siente más miedo de lo que antes se sentía y uno pide sólo que no sea tan fuerte..."*

*-Mariana García  
Habitante de edificio multifamiliar*

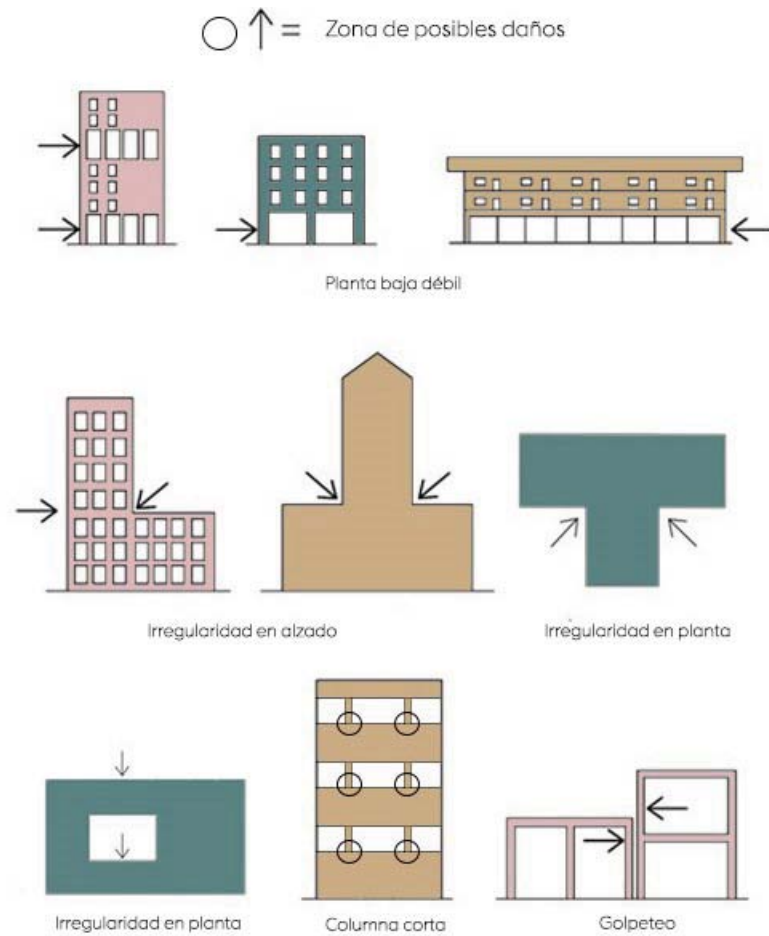


Figura 3.2 Ilustración de las irregularidades en estudio. Imagen de intervención propia. (imagen base obtenida de: <https://bit.ly/2RH31pz>)

### 3.2.1 Localización

Figura 3.3 Localización de 287 viviendas multifamiliares por alcaldía y porcentaje correspondiente.



En la figura 3.3 se observa, en la muestra total de 287 edificios reportados con daño menor después del sismo del 19 de septiembre de 1985, que la mayor cantidad de viviendas multifamiliares se localizan en la Alcaldía Cuauhtémoc, sumando un total de 210 edificios que representan el 68.99% de la muestra total. En seguida se encuentra la Alcaldía Benito Juárez, en donde existen 69 edificios del total, con un porcentaje de 24.04%. En la tabla 3.1 se puede observar con mayor detalle las demás Alcaldías de la Ciudad de México.

En la figura 3.4 se puede observar la ubicación georreferenciada de los 287 edificios de vivienda que muestra el total de la muestra bajo estudio, además se observa dónde se encuentran los edificios que sí presentaron algún daño severo (círculos rojos) y cuáles son los edificios que se registraron colapsados (cuadrados negros).

Alcaldía	Porcentaje	Número de edificios
Cuauhtémoc	68.99	195
Benito Juárez	24.04	69
Coyoacán	3.48	10
Miguel Alemán	1.74	5
Iztacalco	1.39	4
Venustiano Carranza	1.39	4
Alvaro Obregón	1.05	3
Iztapalapa	0.35	1
Tlalpam	0.35	1
Total	100	287

Tabla 3.1. Estadística de la muestra en estudio acorde a la localización de los inmuebles

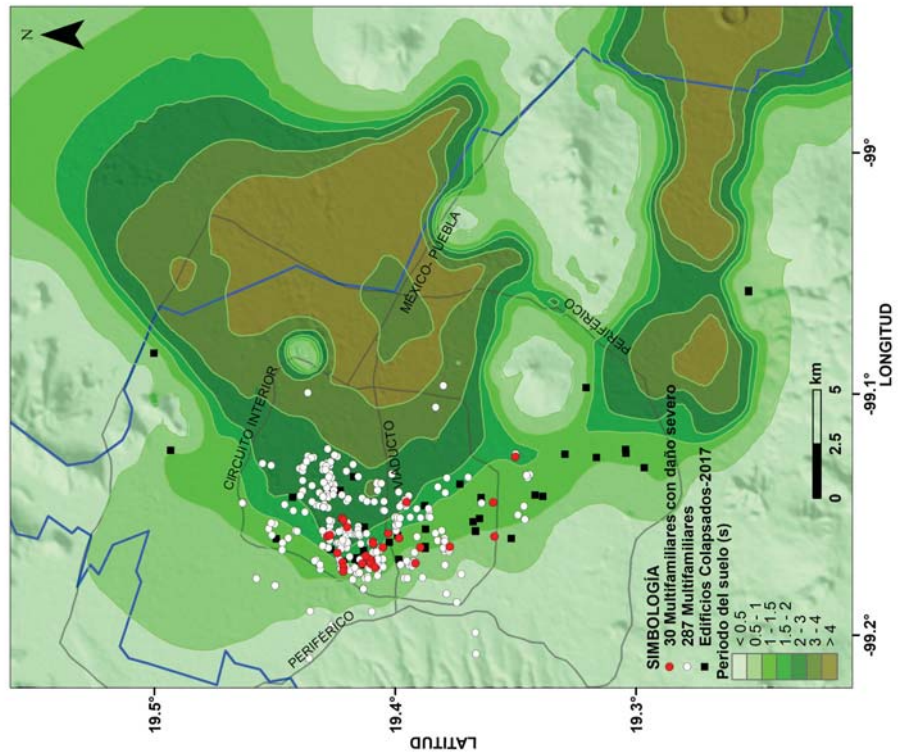


Figura 3.4 Localización georreferenciada del total de la muestra bajo estudio de 287 viviendas multifamiliares. Imagen elaborada por Miguel Jimenez, investigador del IUNAM, Agosto de 2019.

### 3.2.2 Número de niveles

Niveles	Porcentaje	Número de edificios
2 a 5	47.39	136
6 a 10	44.95	127
11 a 15	7.32	21
16 a 19	1.05	3
Total	100	287

Tabla 3.2. Grupos de niveles de la muestra en estudio acorde al número de niveles

La muestra en estudio se agrupa en 4 de acuerdo con el número de niveles de la vivienda. Estos grupos son: 2 a 5 niveles, 6 a 10 niveles, 11 a 15 niveles y de 16 a 19 niveles. En la figura 3.5 se observa que los grupos más representativos que se tienen son los grupos de 2 a 5 niveles y de 6 a 10 niveles, con un total de 136 edificios cada uno. El siguiente grupo es de 11 a 15 niveles con 21 edificios y el último de 16 a 19 niveles con 3 edificios. Mayores detalles de las estadísticas se presentan en la Tabla 3.2.

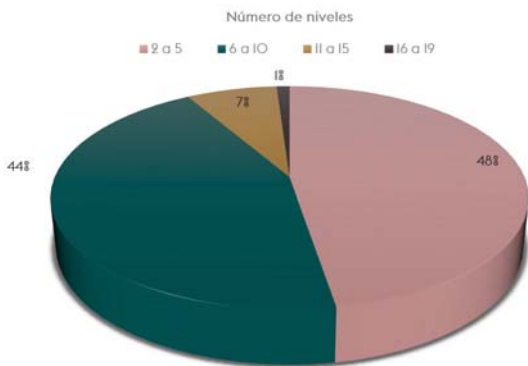


Figura 3.5 Clasificación de muestra en 4 grupos acorde al número de niveles

### 3.2.3 Irregularidades arquitectónico-estructurales

Se estudia una serie de características arquitectónico-estructurales que presenta la muestra en común de los 287 edificios reportados con daño menor en el sismo del 19 de septiembre de 1985, de los cuales se obtiene que predominan en orden descendente: (i) golpeteo, (ii) irregularidad en planta, (iii) planta baja débil, (iv) columna corta, (v) localización en esquina, e (vi) irregularidad en elevación. En la figura 3.6 se puede apreciar el porcentaje de edificios de vivienda multifamiliar que presenta cada una de las irregularidades arquitectónico-estructurales antes mencionadas.

Se observa que cobra una importancia vital la configuración geométrica de los edificios, ya que, a mayor regularidad en planta y alzado, un edificio responderá mejor ante el evento sísmico. Condición que en planta el 67.6% de los edificios no la cumplen.

Figura 3.6 Estadísticas de las irregularidades arquitectónico-estructurales en los 287 edificios de vivienda estudiados. a) Posibilidad de golpeteo en colindancias, b) irregularidad en planta, c) planta baja débil, d) columna corta, e) localización en esquina, f) irregularidad en elevación.

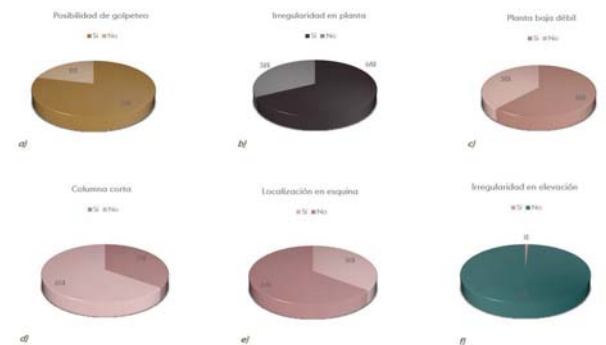




Figura 3.7 Edificio ubicado en la colonia Portales, el cual presenta planta baja débil al destinar el uso de éste nivel a estacionamiento. Agosto de 2019. Créditos fotográficos: Vania Catalán

Dentro de este estudio se hace muy visible algo en común: la mayoría utilizan la planta baja para estacionamientos, cuyas columnas no representan una adecuada solidez y fortaleza para los niveles superiores. Además, varios inmuebles presentan ventanas hacia la fachada, que disminuyen la altura libre de la columna (y posiblemente puede generar efecto de columna corta) mediante un elemento (estructural o no), que no se desliga del muro, que restringe sus desplazamientos laterales y provoca que la columna aumente su rigidez y los esfuerzos cortantes se producen sobre esta zona principalmente, generando una falla.

### 3.2.3.1 Golpeteo

Al no existir una adecuada separación en la junta entre los edificios colindantes, en el momento del evento sísmico se genera entre ellos una serie de colisiones (i.e., golpeteo) entre construcciones adyacentes, que al tener cada edificio un patrón diferente de desplazamiento debido a la diferencia de propiedades dinámicas (e.g., diferencias de rigidez, masa, altura y geometría de cada edificio) se presentan daños. La separación proporcionada en la ciudad es prácticamente una separación estrecha o nula debido a problemas financieros y de espacialidad.

La colisión entre construcciones puede generar una fuerza de alto impacto y pulsos de aceleración (picos) de corta duración en ambos edificios, lo que no se considera en el diseño de ingeniería, causando daños globales y locales.

Como se observa en la figura 3.5 los escenarios de golpeteo se clasifican principalmente en dos tipos: (i) colisión de losa a losa (colisión de piso a piso) y (ii) colisión de losa a columna (colisión de piso a columna). En el segundo caso, los daños se agravan al no coincidir las alturas de los entrepisos, ya que se pueden golpear losas con columnas. En la Figura 3.8 se puede observar que en la muestra se tiene el 79% de las construcciones bajo esta condición.

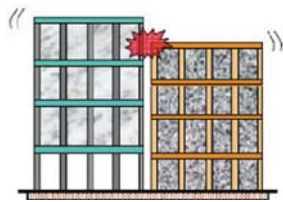


Figura 3.8 Croquis de golpeteo entre edificios de diferentes alturas y que no coinciden sus entrepisos. (Murty, 2004) (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2HTuDVa>)



### 3.2.3.2 Irregularidad en planta y alzado y uso de planta libre en la Ciudad de México

Uno de los principales puntos de estudio en la vulnerabilidad sísmica de un edificio es su configuración geométrica en planta y en alzado.

Se debe considerar una geometría lo más regular posible para que el edificio tenga una mejor respuesta ante el evento sísmico tanto en planta como en elevación. Sin embargo, en algunas ocasiones puede llegar a ser difícil lograrlo por diferentes aspectos, como pueden ser:

- Forma del terreno
- Diseño arquitectónico (configuración espacial, requerimientos o necesidades del cliente)

Una de las principales causas encontradas en la concepción del diseño de construcciones con irregularidad en planta, es la posible utilización de las retículas, que se empezaron a emplear como recurso de diseño desde el Arquitecto Jean Nicolás Louis Durand, profesor de arquitectura a principios del siglo XIX en la École Polytechnique de París. Este autor explica sobre el método de proyectar la arquitectura "Précis des leçons d'architecture données" a l'École Royale Polytechnique, en donde se establece una forma práctica y estándar de proyección de la arquitectura basado en la composición reticular.

Figura 3.9 Caso de un edificio en avenida Chapultepec que presentó golpeteo durante el sismo de 2017. Marzo de 2020. Créditos fotográficos: Vania Catalán

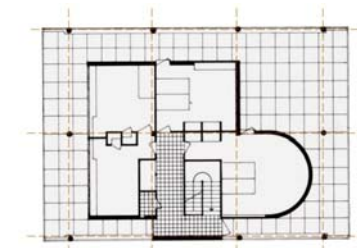


Figura 3.10 Le Corbusier, Villa Mairea, Sainte Marie, Tünez, 1928-1930. Planta. (imagen obtenida de: <https://bit.ly/3amjVf>)

Lo anterior, para que pudieran emplearlo tanto ingenieros como arquitectos. Este uso de la retícula se comenzó a extender hacia la arquitectura moderna en el siglo XX, donde arquitectos como Ludwig Mies van der Rohe y Charles Edouard Jeanneret-Gris (Le Corbusier) la utilizaron en el proceso de diseño, pero se empiezan a observar usos diversos de esta retícula. Esto se puede observar en la figura 3.10, donde geometrías circulares son combinadas con líneas rectas.

Adicionalmente, en la esencia de la modernidad se encuentra también el uso de la planta baja libre propuesto en los 5 puntos de una arquitectura nueva, de Le Corbusier. Esta concepción surge de la combinación de la retícula y del cerramiento, que se identifican como dos elementos contrarios pero complementarios. La retícula es constante y repetitiva, y organiza la estructura del edificio. Y los cerramientos son los generadores de espacios, sin carácter estructural.

Es así como, con esta idea de la combinación de ambos elementos, surge la planta baja libre, en donde la retícula sirve como la plantilla para la colocación de la estructura con pilares equidistantes en ambas direcciones en los cruces de esta retícula.

Le Corbusier comienza a utilizar este recurso de diseño en varios proyectos, siendo incluso uno de los referentes de arquitectura moderna el empleo de la planta baja libre. De esta forma se abandona el sistema tradicional a base de muros de carga y se traslada a una estructura levantada por pilares que permitan el uso ordenado del espacio.

Figura 3.11 Fotografía de la Villa Savoye en Pissy, Francia construida en 1929. Donde Le Corbusier aplicó los 5 puntos de la arquitectura moderna.



Es así como Le Corbusier propone los 5 puntos de la arquitectura moderna en 1927 (Les 5 Points d'une Architecture Nouvelle, que Le Corbusier finalmente formuló en 1927 incluía:), los cuales consisten en:

1. Edificios elevados sobre "pilotis": la sustitución de los muros de carga por una cuadrícula de pilares de concreto armado que soportan la carga estructural es la base de la nueva estética. La planta baja se transforma en un espacio despejado destinado a las circulaciones, se suprimen los locales oscuros y húmedos, el jardín pasa por debajo del edificio y ocupa su terraza.



Figura 3.12 Representación en planta del uso de "pilotis". (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3OzXNjf>)

2. Planta libre: Con el uso del concreto armado, los espacios pueden ser abiertos y con ello viene la extinción de la arquitectura de encierro. Las columnas y traveses sustituyen a los muros de carga con lo que se da pie a lugares versátiles que ágilmente pueden transformarse en una sala, en un salón de baile o en una gran cocina.

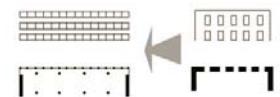


Figura 3.13 Representación del empleo de planta libre. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3OzXNjf>)

3. Fachada libre: Un complemento a la pared acristalada es la fachada libre, pues el uso de columnas y traveses hace posible desligarla de su estructura para convertirla en una membrana ligera que se une a las secciones acristaladas sin interrumpir el paso de luz.



Figura 3.14 Representación de la fachada libre. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3OzXNjf>)

4. Ventana horizontal: atraviesa la fachada a lo largo de toda su longitud, ilumina las habitaciones equitativamente. También es permitida por las estructuras de columnas y trabes.



Figura 3.15 Representación del uso de ventana horizontal en fachada. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3OzXNjf>)

5. Terraza-jardín: pueden tener un uso doméstico al mismo tiempo que proporcionan protección esencial al techo plano de concreto. Esto significa, a la vez que la renuncia al techo tradicional inclinado, que el techo-terrace se hace accesible y puede servir de solárium, de pista de deporte o de piscina. También es llamado "quinta fachada"



Figura 3.16 Representación de la terraza jardín en edificios. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3OzXNjf>)

Sin embargo, con este postulado de los 5 puntos de la arquitectura moderna se podía lograr proyectar el espacio arquitectónico a través de medios módulos, dobles o triples módulos, dependiendo de las exigencias del programa arquitectónico. A diferencia de Durand, quien en su lugar proyectaba utilizando esta retícula de forma simétrica, situación que más tarde en la arquitectura mexicana se verá reflejada en los daños por el uso de planta irregular. Mientras tanto, en México comienza una necesidad de progreso postrevolucionario, en donde se priorizaban las necesidades básicas, especialmente de la clase obrera. Se empieza a extender una idea utópica sobre la modernidad, que pretendía resolver injusticias sociales: y en donde las máquinas, la tecnología y propiamente la modernidad significaban el progreso. Y este podía representarse a través de los edificios y encargos públicos, motivo por el cual la producción arquitectónica financiada por el gobierno es abundante en este período.

Este movimiento moderno influenciado por racionalismo europeo, destacado en la década de 1930 en México, se caracteriza por: avances tecnológicos en la construcción, producción masiva y en serie, uso de la racionalidad y empleo de nuevas tipologías arquitectónicas.

Dentro del movimiento moderno, se destacan arquitectos mexicanos como son Juan Legarreta, Álvaro Aburto y Juan O'Gorman, quienes buscan a través de sus propuestas arquitectónicas, mejorar las condiciones en las que vivían las clases trabajadoras y atender su principal carencia, que es la vivienda. Esto bajo los nuevos principios del modernismo.

Incidieron estos arquitectos en algunos proyectos de habitación obrera con una interpretación radical del funcionalismo. Esta radicalidad implicaba la racionalización de la vivienda (sobre todo como solución a la vivienda para estos trabajadores) buscando llevarla a los grupos populares.

Así es como los conjuntos habitacionales de Balbuena, La Vaquita, y San Jacinto (construidos entre 1932 y 1934) son el antecedente a los conjuntos multifamiliares que se desarrollarán a finales de la década de 1940.

Es de esta forma en que inciden en la arquitectura mexicana los edificios de vivienda colectiva influenciados por el Movimiento Moderno, el funcionalismo y las aspiraciones del Estado en materia de vivienda postrevolucionaria.

En 1938 se constituye la Unión de Arquitectos Socialistas que adquieren una postura de vanguardia radical (ideología de izquierda, proponían una arquitectura estrictamente económica y a la vez técnicamente moderna y sobre todo tenía que existir beneficio social para reflejar la transformación del país después de la Revolución).

Este grupo de arquitectos propone el Proyecto de Planificación de la Ciudad Obrera de México localizada entre Azcapotzalco y Peralvillo, siendo un conjunto a base de cuarteles en módulos en hilera y paralelo a una zona de cultivos.



Figura 3.17 Perspectiva de la propuesta de la ciudad obrera donde se observa la aplicación de los 5 puntos de la arquitectura moderna. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2JjLGIU>)



Figura 3.18 Unidad Habitacional Jardín Balbuena 1952-1958 Col. Jardín Balbuena, México D.F. Arq. Ricardo Flores Villasana, Arq. Octavio Sánchez, Arq. Jesús Palafox (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/33UtHcQ>)

Cada cuartel consideraba 2 manzanas con un área central peatonal ajardinada y con ejes de circulación vial en sus extremos, donde en el oriente desembocarían en una banda que separaba la zona industrial de la zona habitacional y en la que estarían el centro cívico, escuelas, comedores colectivos, y las áreas comerciales.

Cada cuartel contenía 20 edificios multifamiliares con planta baja libre en donde se ocupaba un 25% de la superficie para equipamiento básico. Los edificios estaban separados por espacios verdes y andadores peatonales. Arquitectónicamente cada edificio se desplanta en un predio de 75 x 20 m (1500 m<sup>2</sup>), y albergan 30 viviendas cada uno. Los bloques de vivienda son de 4 niveles, alargados y empleando "pilotis", de fachada libre y con ventanas horizontales

Figura 3.19 Centro Urbano Presidente Alemán. Arquitecto: Mario Pani. Año de construcción: 1949. Fotografía donde se puede observar la planta baja débil de los edificios. Créditos fotográficos: Onnis Luque. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2JoMxz2>)



corridas hacia el exterior, en la planta baja se encuentran algunos locales para servicios colectivos.

Este modelo de Ciudad Obrera se encuentra entre las soluciones de los conjuntos habitacionales como el de Balbuena y San Jacinto (1934) y del esquema urbano de la súper manzana y los grandes bloques de vivienda multifamiliares que se conciben a finales de 1940. Este modelo urbano es posible que remita a las propuestas de Alemania entre 1925 y 1930.

Aunque esta propuesta no cobró mucha fuerza y resultaba utópica para la Ciudad de México, es importante mencionarla porque es el primer paso de las colonias a base de viviendas unifamiliares de baja densidad a edificios multifamiliares.

Más tarde, en 1947 Mario Pani diseñó en colaboración con Salvador Ortega y Bernardo

Quintana el Centro Urbano Presidente Alemán (CUPA). En el CUPA, Mario Pani retoma respecto al diseño formal, estos 5 puntos de la arquitectura de Le Corbusier.

Sin embargo, estas formas complejas, irregulares o asimétricas, pueden causar un mal comportamiento de la edificación durante un sismo. Una geometría irregular, causará torsión y que la estructura intente girar en forma desordenada. La falta de uniformidad en el edificio causará que en algunas esquinas se presenten intensas concentraciones de fuerza.

Se observa que el 67.60% de la muestra presenta irregularidad en planta (por ejemplo algunos edificios del conjunto habitacional de la Unidad Morelos "Los Soldados", cuya forma en planta es en "x". Ver figura 3.16). Y el 61.67% presenta una planta baja para estacionamiento.





Figura 3.20 Vista de un edificio 'Tipo A' y un edificio de estacionamiento, Unidad Morelos 'Los Soldaditos', esquina de las calles Dr. Lucio y Dr. Liceaga, 'Doctores, Cuauhtémoc, Ciudad de México 1968 (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2UX5ONt>)

### 3.2.3.3 Efecto de columna corta

Las columnas cortas se producen en edificios en donde comúnmente se busca dentro del proyecto arquitectónico la iluminación natural y ventilación en fachadas.

Por lo anterior, la altura libre de la columna se disminuye mediante un elemento (estructural o no), y que no se desliga de la estructura, que restringe sus desplazamientos laterales y provoca que la columna aumente su rigidez y los esfuerzos cortantes se producen sobre esta zona principalmente, generando una falla estructural. Se puede observar

cual es el comportamiento cuando a estas columnas cortas se les aplica una fuerza adicional (i.e., una fuerza cortante adicional) a la altura  $L_2$  (ver figura 3.21 derecha) que muy posiblemente no estaba considerada en el diseño original (figura 3.21 izquierda).

Dentro de la muestra de 287 viviendas se observa que 100 de las viviendas presentan esta irregularidad arquitectónico-estructural, esto representa un 35%.

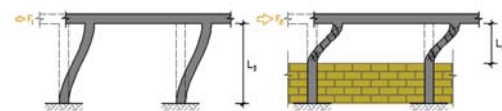


Figura 3.21 Croquis del efecto de columna corta (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2JUYVZS>)

### 3.2.3.4 Localización en esquina

Se obtuvo que 102 de los 287 edificios están localizados en esquina (un ejemplo de estos edificios puede observarse en la figura 3.18, vivienda multifamiliar de la muestra bajo estudio). Esto puede generar irregularidades en planta por las formas de los terrenos, además por el tipo de colindancias que poseen estos edificios, se generan cambios de masas generando accesos en ambas fachadas, o algún otro tipo de vano, y cerrándose hacia la colindancia.



Figura 3.22 Edificio multifamiliar ubicado en la colonia Del Valle, el cual se encuentra en la esquina de Heriberto Frías y Pilares. Créditos fotográficos: Vania Catalán. 28 de marzo de 2019.

### 3.2.4 Estado de daño existente después del sismo de 2017

Se realiza un comparativo para observar el daño presentado por estos 287 edificios después del sismo de 2017, se revisa la información procedente de la (i) Plataforma CDMX, (ii) ¿Por qué se cayó mi edificio? y el (iii) Portal para la reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México. Se obtiene que: 227 edificios no reportaron daño (DS0), 11 registraron daño menor (DS1) nuevamente, 19 obtuvieron daño medio (DS2), 16 inmuebles se reportaron con daño alto (DS3), y por último 14 con daño muy alto (demolición) (DS4). En las figuras 3.23 y 3.24 se puede observar el porcentaje y número de edificios de cada estado de daño.

Daño presentado después del sismo de 2017 en los 287 multifamiliares

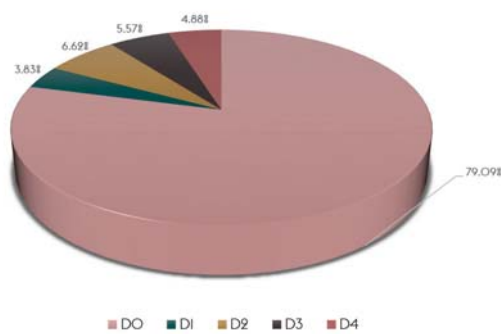


Figura 3.23 Estado de daño presentado después del sismo de 2017. Sin daño (DS0), daño menor (DS1), daño medio (DS2), daño alto (DS3), daño muy alto o demolición (DS4).

Estado de daño	Porcentaje	Número de edificios
DS0	79,09	227
DS1	3,83	11
DS2	6,62	19
DS3	5,57	16
DS4	4,88	14
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>287</b>

Tabla 3.3 Estado de daño en las viviendas multifamiliares después del sismo de 2017 en la muestra de 287 edificios.

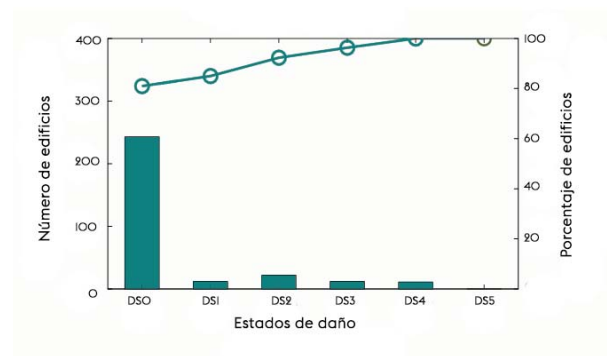


Figura 3.24 Estado de daño presentado después del sismo de 2017. Sin daño (DS0), daño menor (DS1), daño medio (DS2), daño alto (DS3), daño muy alto o demolición (DS4).

«...ahí fue cuando me di cuenta que había perdido todo, no podía llorar ni tenía palabras solo pensé: que vamos hacer. Esa noche fue terrible, mi hija y las niñas se fueron con su suegra, yo no quería despegarme de mi vivienda, fue una noche interminable...Así todos mis vecinos, sólo nos velamos unos a otros sin saber que decir y hacer...»

-Rosa Suárez  
Habitante de edificio multifamiliar

### 3.2.5 Intensidades sísmicas y daños observados en la muestra de 6 a 10 niveles

En la Ciudad de México es importante conocer el nivel de daño de las construcciones sometidas a cierta medida de intensidad. La reciente reglamentación emitida oficialmente (RCDF-2017) estipula que ciertas estructuras como edificios de viviendas clasificados como BI (definidos en términos de altura y área y otras características descritas en RCDF-2017) deben estar certificados para estructuras seguridad cada cinco años. Además, dicha certificación debe renovarse después de un terremoto que genera registros de más de 90 gales (~ 0.09 g) en la estación acelerométrica SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte). Si el informe oficial determina que no se cumplen los requisitos de seguridad, la estructura debe adaptarse para alcanzar el nivel de seguridad requerido. Los requisitos anteriores apuntan a garantizar la seguridad estructural de ciertos

edificios, incluidos los edificios BI (i.e., edificios de vivienda) en la Ciudad de México, así como a mejorar el desempeño de los ingenieros certificados para evaluar la seguridad estructural (ingenieros o arquitectos profesionales oficiales conocidos como corresponsables en seguridad estructural).

Como se observa en la muestra, de los 30 edificios que registraron daños severos (alto y muy alto) el 70% de estos corresponde al grupo de 6 a 10 niveles (i.e., 21 edificios con daños severos pertenecen al grupo de 6 a 10 niveles). Es por ello, además de que es el grupo más representativo de la muestra, con 127 edificios, y con mayor vulnerabilidad por el número de niveles, que se estudia el comportamiento que tiene ante el sismo de 2017.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las diferentes intensidades sísmicas que experimentaron cada uno de estos edificios en correspondencia

con el número de niveles, el periodo del suelo donde están edificadas, y la estación sísmica más cercana, se obtiene como resultado que la mayoría de los edificios tiende a presentar daño nulo (DS 0), seguido del daño menor (DS 1), daño medio (DS 2), daño alto, siendo edificios que están destinados a rehabilitación (DS 3) y por último daño muy alto que son los casos que se resolverán vía demolición (DS 4). Ver figuras 3.25 y 3.26.

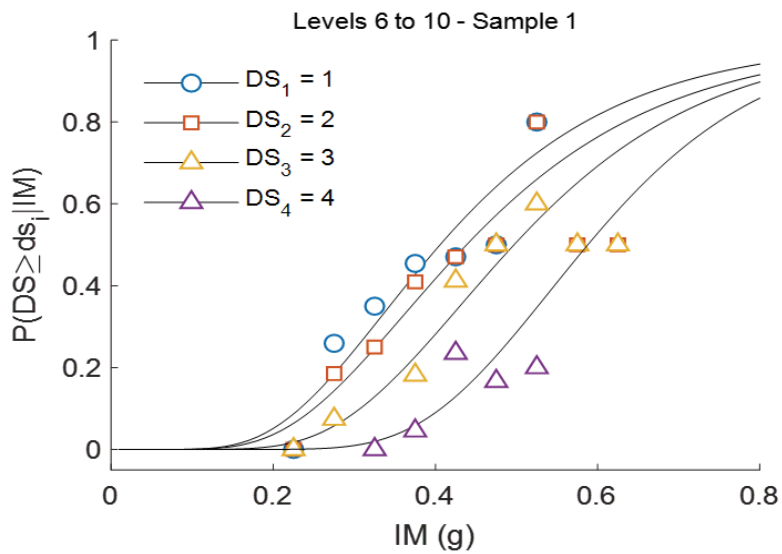
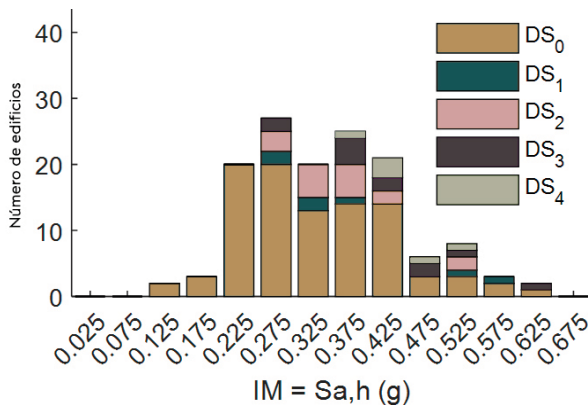


Figura 3.25 Curvas de fragilidad para cada uno de los estados de daño, en donde se observa que la mayor probabilidad de estado de daño es DS1 (daño menor representando a los edificios con círculos azules), seguido por DS2 (daño medio representando a los edificios con cuadrados naranjas), DS3 (daño alto representando a los edificios con triángulos amarillos), D44 (daño muy alto o demolición representando a los edificios con triángulos morados). Figura elaborada por Miguel Jaimes, investigador del IIUNAM. Mayo 2019.

Como se observa en la figura 3.26, dentro del grupo de estos edificios, los que mayores daños sufrieron fueron los que presentan una intensidad sísmica de 0.375 (g) a 0.525 (g), siendo notablemente importante para los edificios que estuvieron sometidos a una intensidad de 0.425 (g) en donde se tiene el mayor registro de edificios con daño muy alto.

Los edificios que resultaron con daños severos (i.e., daño alto y muy alto) dentro de esta muestra, se encuentran localizados en terrenos con periodos de  $T_s = 0.80$  a 2.48 s. Además, estuvieron sometidos a aceleraciones espectrales ( $S_A$  (g)) que van de 0.26 a 0.63 g.

En las curvas observadas en la figura 13 (que ilustran el comportamiento de los edificios de 6 a 10 niveles y cada una de ellas representa un estado de daño), se puede observar que la tendencia que presenta la muestra es mayoritariamente susceptible a percibir daño menor (círculos azules) ( $DS_1$ ), seguido de daño medio (cuadrados naranjas) ( $DS_2$ ), daño alto (triángulos amarillos) ( $DS_3$ ) y daño muy alto (triángulos morados) ( $DS_4$ ), siendo este último, el menos probable dentro de la muestra (i.e., los edificios de esta muestra tienen mayor probabilidad de presentar daños menores).



### 3.3 Descripción de los estados de daño registrados en las viviendas de la muestra

A continuación, se resumen las características de cada uno de los estados de daño conforme a la información de dictámenes estructurales obtenidos de las plataformas de la Ciudad de México y se ejemplifica un edificio en estudio en cada uno de los casos.

Para este análisis se consideraron 4 estados de daño que presenta la muestra. Dichos estados de daño son: sin daño (D0), daño menor (D1), daño medio (D2), daño alto (D3) y daño muy alto (D4).

Figura 3.26 Número de edificios con los diferentes tipos de año presentado ( $DS_0$ ,  $DS_1$ ,  $DS_2$ ,  $DS_3$  y  $DS_4$ , correspondiente a: sin daño evidente, daño menor, daño medio, daño alto y daño muy alto, respectivamente) con relación a las intensidades sísmicas presentadas para los edificios de 6 a 10 niveles. Figura elaborada por Miguel Á. Jaimes, investigador del IIUNAM. Mayo 2019.

### 3.3.1 Sin daño (DO)

Edificios que no presentaron daños en su estructura ni se observaron problemas no estructurales. También se consideró este estado de daño para aquellos edificios que no fueron reportados en las plataformas del Gobierno de la Ciudad de México.

### 3.3.2 Daño menor (DI)

Características:

Para este estado de daño los edificios se consideraron habitables sin daños evidentes. No presentaron daños en elementos estructurales (columnas, travesaños, muros). Tampoco se observaron daños en instalaciones eléctricas ni hidrosanitarias o de gas.

Los edificios no presentaron derrumbes ni asentamientos o hundimientos. No había elementos en peligro de caer (como pretilas o balcones). Sin embargo, podían existir fisuras en elementos arquitectónicos o divisorios (como pérdida de acabados o algunos problemas de humedad).

Recomendaciones:

Estos edificios no requerían apuntalamiento ni maquinaria para remover escombros. En los dictámenes se mencionó que no se requería presencia de protección civil, SACMEX, SSP, SOBSE o Central de Fugas. Las fisuras se podían reparar con diferentes tipos de morteros.

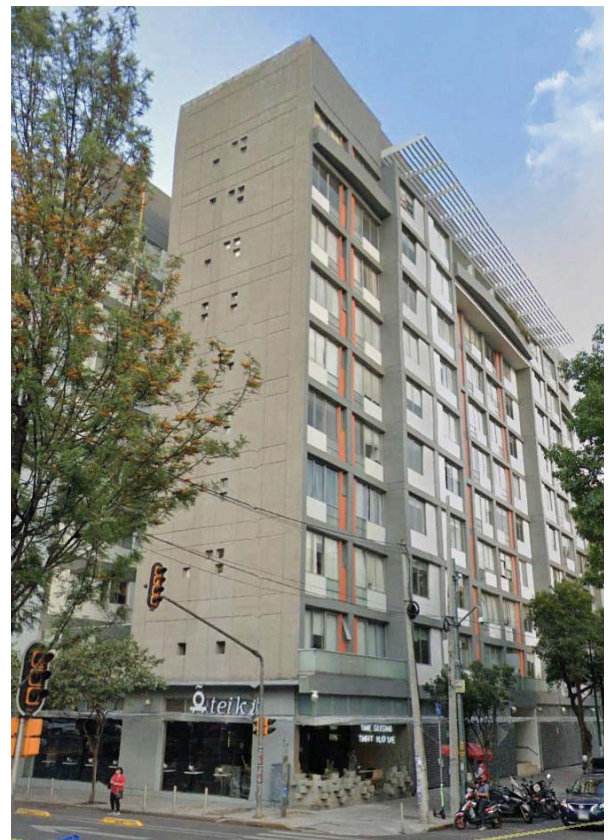


Figura 3.27 Edificio en Avenida Chapultepec registrado con daño menor (DI) de acuerdo con la información obtenida de dictámenes y plataformas en línea. Imagen obtenida de Google Earth. Marzo 2020: <https://bit.ly/2JtxvYG>

### Descripción de daños en edificio CUA-53 – Daño menor

Este ejemplo presenta a un inmueble ubicado en Av. Chapultepec no. 512 col. Roma Norte, Alcaldía Cuauhtémoc. Es un edificio de 11 niveles sobre el nivel de banqueta, con uso habitacional y de comercio. Cuenta con 97 viviendas y 2 locales comerciales. Su cimentación es a base de pilotes.

Está estructurado a base de columnas y trabes de concreto. El sistema de entrepiso es a base de losa maciza.

El sótano presentó filtraciones de agua a nivel de piso probablemente a nivel freático y de 1º a 5º nivel presentó fisuras en muros en núcleos de escaleras y de los departamentos.

No presentó daños en la estructura como columnas, trabes y muros de concreto, así como sus instalaciones. No presentó colapsos, derrumbes parciales, desplomos, asentamientos, ni daños en el suelo.



a)



b)



c)



d)

Figura 3.28 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2CyAB9Z>), (b) Fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2CyAB9Z>), (c) Desprendimiento de acabados en fachada (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2R4TNRQ>), (d) Desprendimiento de acabados en patio interior (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2R4TNRQ>)

### 3.3.3 Daño medio (D2)

#### Características:

Los edificios que presentaron este estado de daño se consideraban habitables, pero presentaban grietas en muros interiores, algunas grietas en columnas de planta baja y en elementos de circulación (escaleras). No se observaron desplomos ni asentamientos diferenciales importantes, pero algunos presentaron inclinaciones ligeras.

En el exterior se observaron grietas en muros diafragma. Además, existieron algunos colapsos de muros y desplazamiento respecto a columnas. Las columnas podían presentar desconchamiento de concreto con exposición del acero de refuerzo o agrietamientos diagonales moderados. Se observó que muchos de estos edificios presentan planta baja flexible y losa plana. Se presentó riesgo de golpeteo con edificios colindantes, por lo tanto, existió disminución de juntas constructivas con los edificios colindantes. No presentaron flechamientos en elementos estructurales. Se observaron afectaciones en acabados interiores y exteriores. Todas las instalaciones se encontraban en condiciones normales. Las edificaciones con estos daños no presentaron daños en sus cimentaciones.

En algunos casos fue necesario el apuntalamiento de algunos elementos dañados. Los daños se registraron como reparables.

#### Recomendaciones :

La información de los dictámenes consultados arrojó en términos globales, que para este estado de daño era necesario implementar un proyecto de reestructuración, reforzamiento o rigidización según los resultados de la revisión numérica, además, revisar los desplazamientos horizontales ante cargas sísmicas, para corroborar que se encontraban por debajo de los límites reglamentarios vigentes.

Además, fue necesario realizar las reparaciones locales de los elementos dañados. También mencionaron aplicar un programa de mantenimiento integral con el fin de evitar el deterioro de los elementos estructurales. En algunos casos se recomendó un estudio de nivelación topográfica, si presentaba alguna inclinación.



Figura 3.29 Edificio en la colonia Del Valle registrado con daño medio (D2) de acuerdo con la información obtenida de dictámenes y plataformas en línea. Imagen obtenida de Google Earth. Marzo 2020: <https://bit.ly/344Go4D>

### Descripción de daños en edificio MH-III – Daño medio

Este ejemplo de daño medio revisa el dictamen de un inmueble ubicado en Av. Felipe Carrillo Puerto no. 206, col. Anáhuac, en la Alcaldía Miguel Hidalgo. Es un edificio de 10 niveles sobre el nivel de banqueta, con uso habitacional. Cuenta con 120 departamentos. Está cimentado a base de celdas de cimentación. Está estructurado a base de columnas y travesaños de concreto. El sistema de entrepiso es a base de losa maciza y los muros son de mampostería.

Se observaron grietas en muros y muros de escaleras, los daños más perceptibles se encontraron desde planta baja hasta el nivel 4. Además, en muros interiores y exteriores se observó desprendimiento de acabados. Se presentaron daños severos en elementos no estructurales únicamente.



Figura 3.30 Edificio considerado de daño medio: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2CxYQVV>), (b) Fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2CxYQVV>), (c) Grietas existentes en muros (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CxYQVV>), (d) años en acabados en muros. (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2CxYQVV>)



### 3.3.4 Daño alto (D3)

#### Características:

Acorde con la información de los dictámenes consultados para este estado de daño, se observó que la mayoría de los edificios eran de planta irregular, planta baja flexible y losa plana. Se presentaron fallas estructurales en columnas por torsión y cortante. En la mayoría de los casos todos los muros presentaron daño. Se observaron grietas en diagonal en un sentido y grietas en diagonal en ambos sentidos "X". Así como deformaciones y grietas en cubos de elevadores y servicios. Se observaron desplomos significativos. Se registraron daños en instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas. Una constante en todos los dictámenes fue que existían elementos arquitectónicos en riesgo de caer. En estos casos algunas edificaciones podían estar separadas de su cimentación. En el suelo se apreciaron grietas o movimiento del suelo. En general, se presentaron colapsos parciales en interiores y colindancias. Además, desplazamientos laterales y torsiones.

#### Recomendaciones:

Se mencionaba en los dictámenes consultados que los inmuebles no debían ser habitados hasta terminar con la reestructuración y reparación de muros. Los dictámenes recomendaron para este estado de daño la rehabilitación de los inmuebles mediante un proyecto de reestructuración y verticalización avalado por un Corresponsable en Seguridad Estructural. Además, la revisión de mecánica de suelos. En algunos casos se solicitaba la implementación de un programa de mantenimiento integral. Se hacía hincapié en retirar los elementos arquitectónicos que estaban en riesgo de caer. Se solicitaba revisar los desplazamientos laterales ante cargas sísmicas con el fin de corroborar que los edificios se encontraran dentro de los límites permisibles por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Se requirió en diferentes casos la presencia de: protección civil, SOBSE (ISCDF), SACMEX, SSP (ERUM o CONDORES) o Central de fugas. En los edificios con alto riesgo, se solicitaba en los dictámenes revisiones posteriores a la elaboración de los dictámenes.

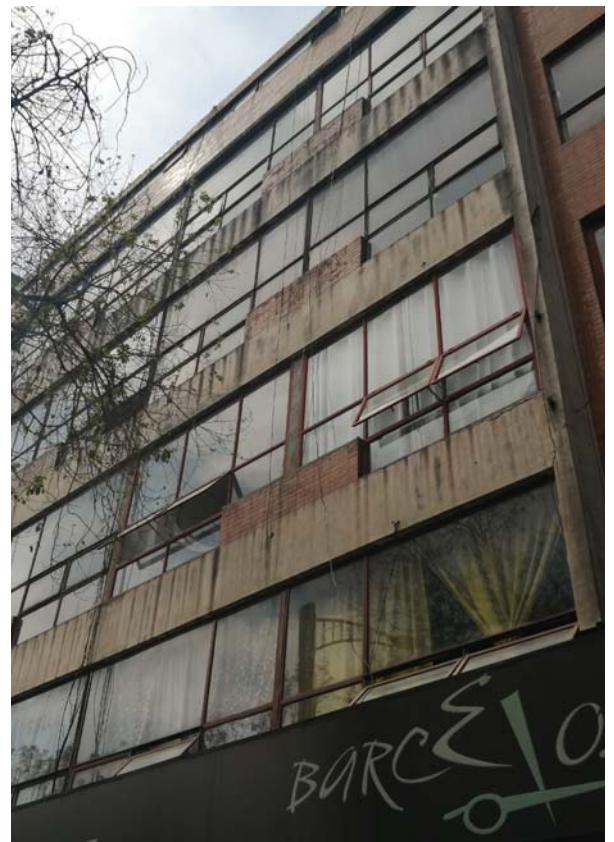


Figura 3.31 Edificio en Avenida Chapultepec registrado con daño alto (D3) de acuerdo con la información obtenida de dictámenes y plataformas en línea. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

## Descripción de daños en edificio BEJ-134 - Alto riesgo

Este ejemplo presenta a un inmueble con dirección Heriberto Frías 1301, colonia Del Valle sur. Es un edificio de 8 niveles de aproximadamente 50 años. Tiene uso habitacional en los niveles superiores, uso comercial en planta baja y estacionamiento en sótano. Tiene forma de "L" en planta y se encuentra en una esquina de manzana, por lo que es irregular.

Está estructurado a base de marcos de concreto formados por columnas y losa plana, la cual constituye el sistema de entrepiso, cuenta con muros diafragma y muros de carga de mampostería de tabique cemento-arena. Las escaleras de servicio son de concreto y se encuentran adosadas a muros y losas. Se infiere que la cimentación consiste en un cajón de concreto reforzado.

El dictamen estructural menciona que la inspección visual al interior no se permitió, menciona que tenía tapias en las áreas comerciales, y los accesos estaban cercados por una línea de protección civil de la delegación.

El inmueble había estado presentando un mantenimiento aceptable a lo largo de su historia, sin embargo, se observó que había sufrido asentamientos diferenciales por lo cual el edificio presentó un desplomo hacia el nororiente. A raíz del sismo se observaron daños en los muros de las fachadas, los cuales presentaron grietas, fisuras, caída de acabados, así como pérdida de piezas, vidrios rotos y cancelles dañados. En cerramientos, columnas y muros de concreto se apreciaron fisuras, grietas de 2 a 4 mm, desconchamiento, exposición del armado, en algunos casos se apreciaron estribos con separaciones mayores a 50 cm. En las banquetas se apreciaron grietas. Es probable que el desplomo se hubiera incrementado después del movimiento telúrico. Además, se observó que las separaciones en las juntas de colindancias eran escasas, por lo que se generó golpeteo en el evento sísmico.

La estructura es de planta baja flexible por lo que se recomendó la revisión numérica de los desplazamientos laterales ante carga sísmica para verificar que no excedieran los límites reglamentarios vigentes.

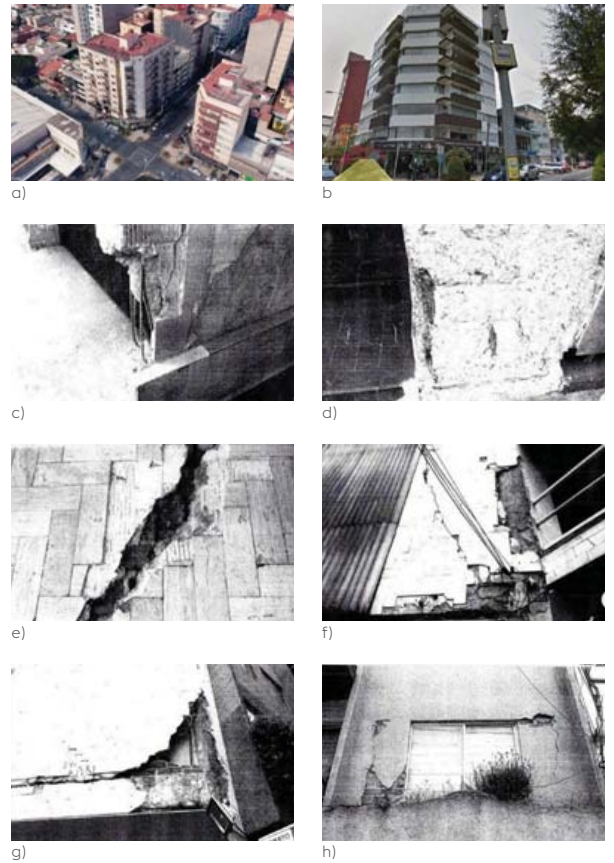


Figura 3.32 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/9Kze2W9>), (b) Fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2R19e9L>), (c) Colapso de columnas de planta baja debido al deficiente confinamiento del núcleo de concreto en su base (Abril 2018), (d) Exposición del armado en columnas de concreto (Abril 2018), (e) Grietas en pisos (Abril 2018), (f) Grietas en muros y desprendimiento de acabados dejando expuesto el acero de refuerzo en traves y muros (Abril 2018), (g) Desconchamiento de concreto dejando expuesto el acero de refuerzo en traves y muros (Abril 2018), (h) Grietas en muros de mampostería y desprendimiento de acabados de yeso (Abril 2018) (las imágenes de los interiores se obtuvieron del dictamen estructural consultado en: <https://bit.ly/2Rg1jvs>)

### 3.3.5 Daño muy alto / Demolición (D4)

#### Características:

En general, en los edificios registrados con daño muy alto y demolición se observó que nuevamente la mayoría de los edificios presentó irregularidad en planta y planta baja débil. Además, mala calidad de concreto (concreto pobre). En muchos casos la relación altura-base era mayor a 5, con lo cual se consideró una estructura esbelta, lo que propició grandes desplazamientos y momentos de volteo elevados en su base. Existían riesgos de caídos hacia la vía pública. Algunas cimentaciones se encontraban excedidas en su capacidad de carga y dañadas y podían estar separado de la misma. Se observaron asentamientos diferenciales y hundimientos. Estos edificios presentaron daños en instalaciones hidráulicas, sanitarias, de gas o eléctricas. El suelo presentó movimiento y grietas. Se observó alto riesgo de colapso de elementos arquitectónicos. Los muros presentaron grietas en forma de "X" y con aberturas de más de 5 mm. Los muros se encontraron desligados de la estructura. En las conexiones columna-trabe se podían observar grietas en diagonal. Existieron derrumbes parciales, así como daño severo en elementos no estructurales. Se presentaron barras de refuerzo expuestas o pandeadas. Se identificaron grietas que implicaron la formación de conos o pirámides truncados derivados de fallas en cortante por penetración entre columnas y losas planas. Acero expuesto en castillos y columnas. En algunos casos podía existir emersión del inmueble. Algunos inmuebles registraron otros daños como: líneas o ductos rotos, derrames tóxicos, etc.

En su mayoría los edificios presentaron desplomos significativos mayores a los límites permisibles en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones 2017 en donde especifica:

- $100 / 100 + 3(13.8) = 0.718$
- $1380 \text{ cm} \times 0.00671 = 9.76 \text{ cm}$

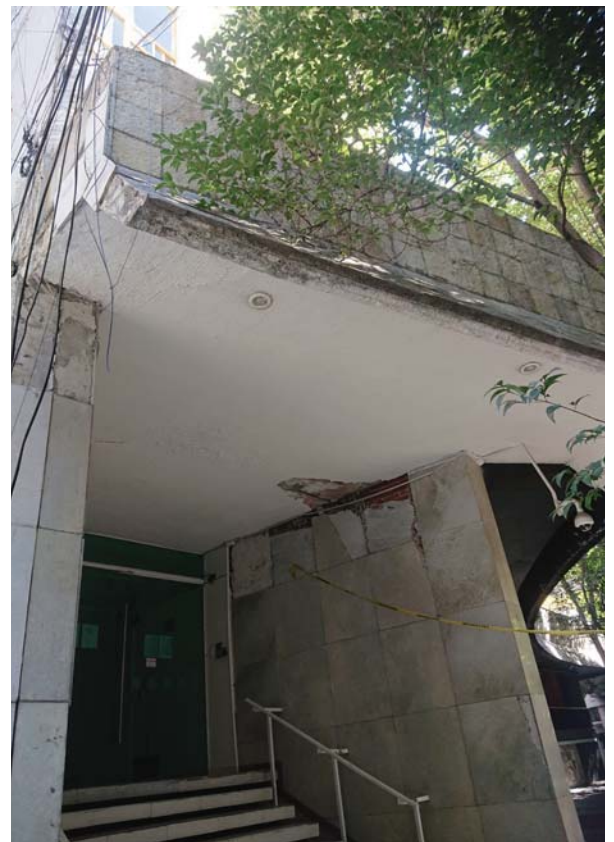


Figura 3.33 Edificio ubicado en la colonia Hipódromo Condesa registrado con daño muy alto (D4) de acuerdo con la información obtenida de dictámenes estructurales y plataformas en línea. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.

Algunas viviendas estaban inclinadas o desplomadas, un criterio de acuerdo con la empresa TGC Geotecnia a través de diversas investigaciones que han realizado, es el siguiente:

Inclinación (I)	Comentario estructural y reacción de las personas que habitan edificios inclinados.
>1.5	Grave riesgo para las personas y estructura
1.5	Inadmisible. Profundamente incómodo para las personas.
1.0	Límite admisible, molesto para las personas.
0.75	Admisible pero empieza a ser incómodo para las personas.
0.50	Tolerable. Lo advierten las personas.
<0.50	Sin importancia. Desapercibido para muchas personas.

Tabla 3.4 Inclinaciones permisibles en edificios de acuerdo con la empresa TGC Geotecnia.

#### Recomendaciones:

Los dictámenes que clasificaron a este tipo de daño mencionaban que los inmuebles no podían ser ocupados ya que ponían en riesgo la vida de los ocupantes, vecinos, peatones y automovilistas; así mismo comprometían la seguridad y estabilidad de los edificios colindantes, y no se podía volver a habitar hasta que un CSE lo avalara. Se debían realizar las reparaciones, obras o demoliciones necesarias, de conformidad con la Ley (Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal). La mayoría requirió la presencia del Comité de Emergencias de Protección Civil. Así como de protección civil, SOBSE (ISCDF), SACMEX, SSP (ERUM o CONDORES) o Central de fugas. Se solicitaban revisiones posteriores.



Figura 3.34 Edificio en la colonia Juárez registrado con daño muy alto (DS4) de acuerdo con la información obtenida de dictámenes y plataformas en línea. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

### Descripción de daños en edificio CUA-96 – Demolición

Para ejemplificar este estado de daño se presenta un inmueble con dirección Doctor Rafael Lucio 103 edificio A3 (Osa mayor), colonia Doctores, constituido por 2 torres de 15 niveles con uso habitacional, con irregularidad en planta en forma de "L", con junta de construcción en el cubo de escaleras.

La estructuración se observó a base de columnas y trabes de concreto armado, con muros de rigidez del mismo material y muros de mampostería. Los dos cuerpos presentaron un desplomo superior al límite permisible establecido por el Reglamento de Construcciones (67 cm > 18 cm). El desplomo de cuerpo sur hacia el sur y el cuerpo norte hacia el norte era muy visible, situación que generó importantes separaciones en el cubo de escaleras. Derivado del movimiento telúrico, se incrementó la pérdida de verticalidad, además de ocasionar daños severos en muros de mampostería, con el riesgo de caídos hacia la vía pública.

La cimentación excedió la capacidad de carga en los pilotes de fricción bajo los muros de rigidez, generando una rotación en el cajón de cimentación, ocasionando levantamientos del cajón respecto del nivel de banqueta y fracturas en extremos de los muros de rigidez con varillas expuestas. El número de personas desalojadas en dicho edificio fue de aproximadamente 225.

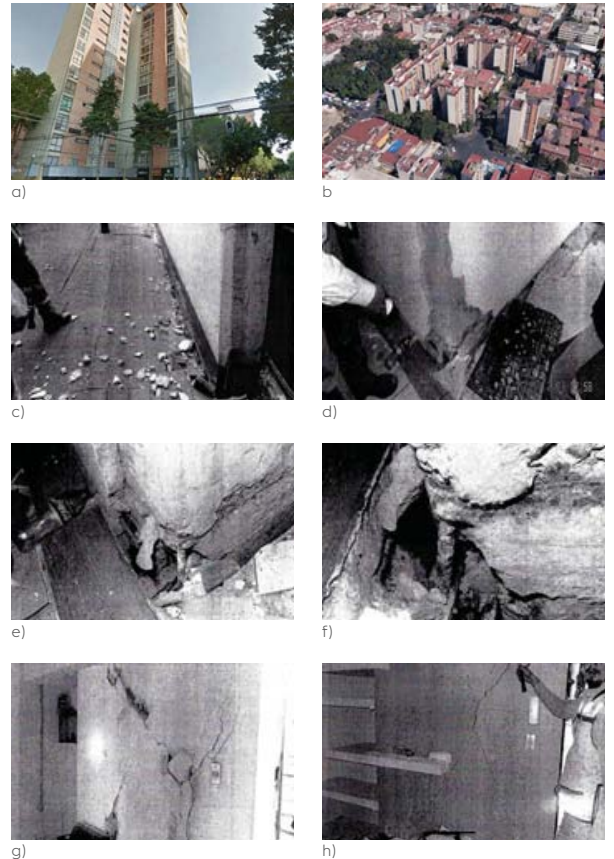


Figura 3.35 Edificio considerado de muy alto riesgo: (a) Fachada suroriental del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TzsthO>), (b) Vista aérea de los edificios (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TzsthO>), (c) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería, que generan caídos hacia la vía pública (octubre 2017), (d) Fracturas en muros de mampostería, que dejan expuestas las varillas (octubre 2017), (e) Fracturas en muro de rigidez que deja expuestas las varillas (octubre 2017), (f) Detalle de las varillas expuestas en los muros de rigidez (octubre 2017), (g) Grietas en forma de "X" en muros de rigidez (octubre 2017), (h) Grietas en forma de "X" en muros de mampostería (octubre 2017) (las imágenes de los interiores se obtuvieron del dictamen estructural consultado en: <https://bit.ly/2K1TNck>)

### 3.4 Estudio de 30 de 287 edificios de vivienda que presentaron daño alto y muy alto en el sismo de 2017

Se observa que los edificios con daño alto y muy alto representan el 10% de los edificios dañados, se elige esta muestra para analizarla y observar qué tan frecuentes son las irregularidades arquitectónico-estructurales en la muestra y cómo es que en estos 30 edificios pudo haber influido el diseño arquitectónico sumado a las irregularidades arquitectónico-estructurales bajo estudio.

Además, para complementar la información se recopilan los dictámenes generados a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017 para observar los daños presentados por cada uno de los edificios con daños severos.

#### 3.4.1 Obtención de estadísticas de acuerdo con las inspecciones visuales

Después de la inspección de banqueta para los 30 edificios y la corroboración de la información obtenida, se observa que la muestra presenta algunos factores en común que se presentan a continuación.

Figura 3.36 Vista de una de las torres de los "Soldominios" después del sismo de 2017. Créditos fotográficos: Isabel Mateos para la página web: Mexicanos contra la corrupción. (imagen obtenida de: <https://bit.ly/2wZP1kB>)



#### 3.4.1.1 Localización

Localización por alcaldías 30 edificios con daño severo

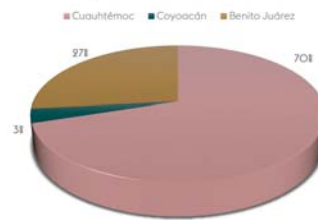


Figura 3.37 Localización de edificios con daño severo por alcaldías. Porcentajes.

Dentro de estos 30 edificios con daño alto y muy alto, se muestra que el 70% de los edificios (correspondiente a 21 viviendas multifamiliares) se localizan en la Alcaldía Cuauhtémoc, el 27% (8 edificios) se encuentran en la Alcaldía Benito Juárez, y el 3% se ubica en la Alcaldía Coyoacán (1 edificio) (ver figura 3.19 y tabla 3.4)

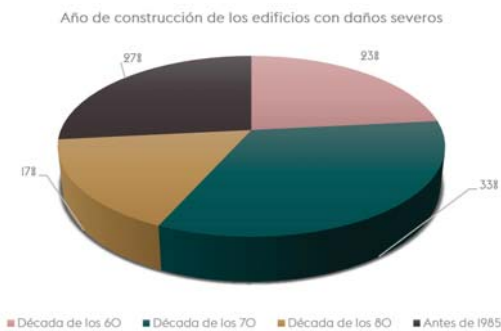
Alcaldía	Número de edificios	Porcentaje
Cuauhtémoc	21	70
Benito Juárez	8	27
Coyoacán	1	3
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Tabla 3.5 Localización de 30 edificios con daños severos.

### 3.4.1.2 Edad de las edificaciones

El análisis de los datos que arroja la muestra de los 30 inmuebles con daño alto y muy alto muestra que la mayor cantidad de edificios fueron construidos antes de 1985 siendo estos durante la década de 1970, siendo estos 9 de los 23 edificios, que representa el 39.13% de la muestra; seguido por la década de 1960, con 5 viviendas multifamiliares edificadas, que corresponde al 21.74% del total de la muestra. 3 edificios se construyeron durante la década de 1980 y 6 de los edificios se desconoce el año exacto de su construcción, asumiendo que fue antes de 1985.

Figura 3.38 Año de construcción de los edificios en porcentaje respecto a los 30 edificios con daños severos



Década	Número de edificios	Porcentaje
Década de los 60	7.00	23.33
Década de los 70	10.00	33.33
Década de los 80	5.00	16.67
Antes de 1985	8.00	26.67

Tabla 3.6 Edad de las edificaciones

### 3.4.1.3 Reglamentos utilizados para las edificaciones

Se observa que los reglamentos con los que fueron construidas estas viviendas multifamiliares son los de 1966 y 1976. Del 27% de los casos se desconoce el año exacto de su construcción, por lo que no se sabe con qué normatividad fueron construidos.



Figura 3.39 Porcentaje de reglamentos de construcción con los que las viviendas fueron construidas.

Reglamento	Número edificios	Porcentaje
1966	14	46.67
1976	8	26.67
Desconocido	8	26.67
Total	30	100

Tabla 3.7 Uso de los reglamentos de construcción en los 30 edificios con daños severos.

### 3.4.1.4 Configuración geométrica de los edificios

Se observa que en la muestra de los 30 edificios con daño alto y muy alto presenta una geometría irregular en planta en 27 de los edificios, representando esto un 90% de la muestra. En cuanto a la geometría general en alzado de los edificios se encuentra que únicamente un edificio es irregular en fachada. A continuación se presentan de forma general algunas volumetrías de las configuraciones en planta encontradas para algunos edificios que sufrieron daños severos (figuras 3.40 a 3.44)

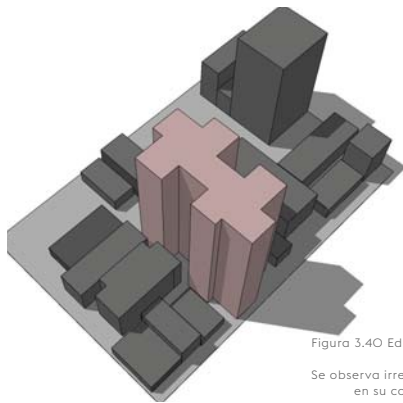


Figura 3.40 Edificio que presentó daño alto (DS3) de 10 niveles. Se observa irregularidad con entrantes y salientes en su configuración geométrica en planta.

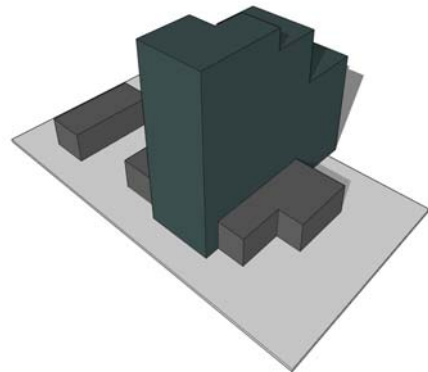


Figura 3.42 Edificio de 10 niveles que presentó daño muy alto (DS4). Durante la inspección de banqueta se observó que la planta baja se utilizaba para estacionamiento, es decir, tenía planta baja débil, además, irregularidad en planta con los edificios en forma de "L" e irregularidad en elevación en forma de escalonamiento.

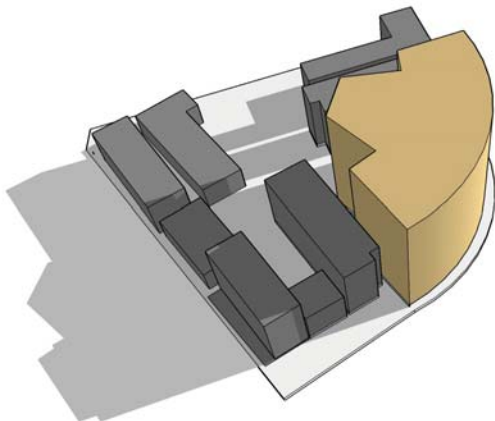
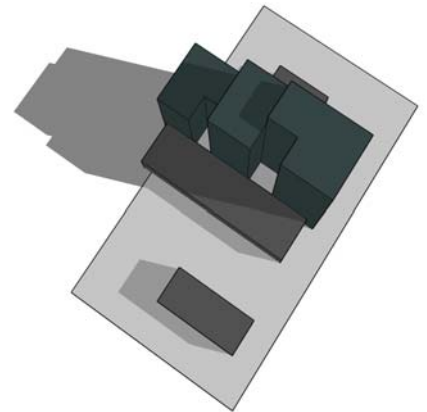


Figura 3.41 Edificio de 10 niveles que presentó daño muy alto (DS4). El edificio presentó golpeteo con el inmueble colindante. Además se observó irregularidad en planta con forma de semicírculo y un saliente. En la evaluación visual se observó que presentaba efecto de columna corta y adicionalmente su localización es en esquina.





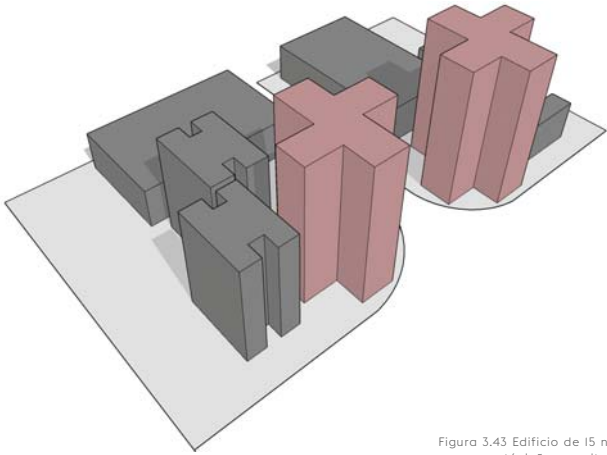


Figura 3.43 Edificio de 15 niveles que presentó daño muy alto (DS4). Los edificios del conjunto presentaron irregularidad en planta (en forma de T), y se encuentran localizados en esquina.

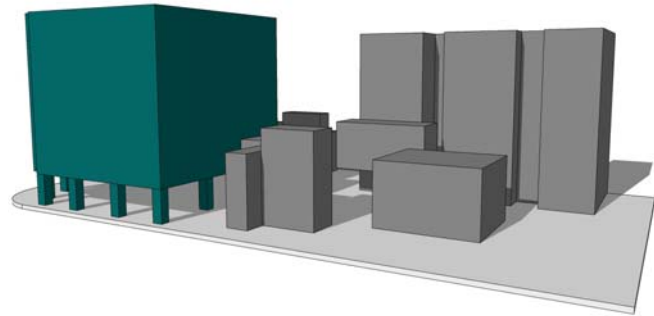
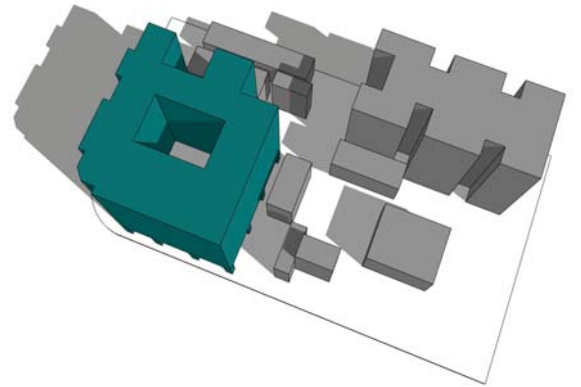
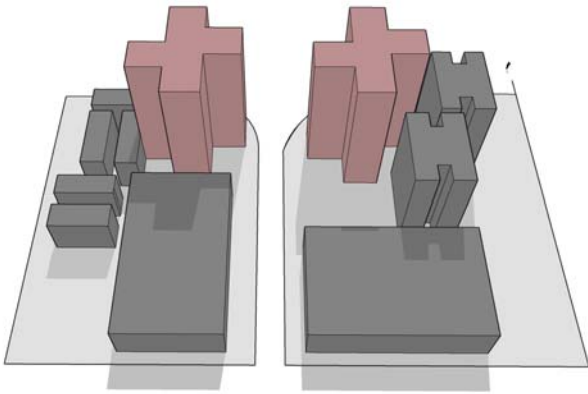


Figura 3.44 Edificio de 9 niveles que en 1985 tenía 5. El inmueble se dictaminó con daño alto y presentó planta baja débil al utilizarla como estacionamiento, irregularidad en planta al tener un patio central y salientes del edificio, además es un edificio localizado en esquina.



### 3.4.1.5 Número de niveles

Dentro de los 30 edificios con daño severo, se observa que la muestra más representativa es la del grupo de 6 a 10 niveles, con 18 viviendas multifamiliares; seguido de la muestra de 11 a 15 niveles, con 4 edificios. Únicamente se tiene un edificio en la clasificación de 3 a 5 niveles.

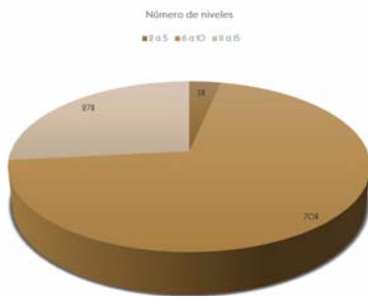


Figura 3.45 Número de niveles por grupo de los 30 edificios que presentaron daños severos

Número de niveles	Porcentaje	Número de edificios
3 a 5	3.33	1
6 a 10	70.00	21
11 a 15	26.67	8
Total	100	30

Tabla 3.8 Número de niveles por grupo de los 30 edificios que presentaron daños severos.

### 3.2.5.1 Irregularidades arquitectónico-estructurales

Se revisa la muestra de los 30 edificios y se concluye que la irregularidad arquitectónico-estructural más frecuente dentro de este grupo de edificios con daños severos es la irregularidad en planta, presente en 27 edificios, seguido del golpeteo, que se observa en 21 viviendas en vertical. En la figura 3.46 se pueden observar el número de edificios y el porcentaje de viviendas multifamiliares que presentan cada una de las irregularidades arquitectónico-estructurales mencionadas.

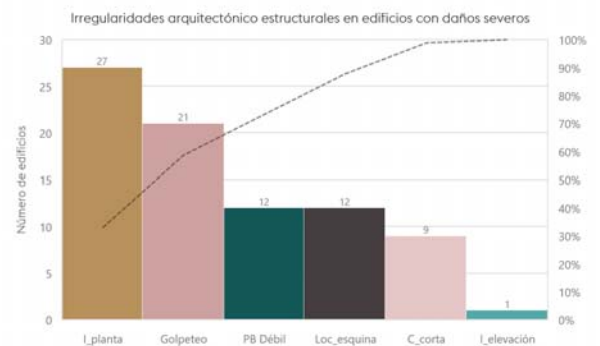


Figura 3.46 Irregularidades arquitectónico-estructurales y porcentajes en 30 edificios con daño severo

### 3.4.2 Análisis de los 30 edificios de acuerdo con la información de dictámenes

Se revisaron los dictámenes de los edificios con daño alto y muy alto y se recopila de cada uno de ellos la información más relevante en cuanto a las características de los daños y la descripción general del estado del inmueble posterior al sismo. En cada uno se anexan las fotografías pertinentes. Estos dictámenes se obtuvieron de la Plataforma CDMX (<https://plataforma.cdmx.gob.mx>) Para mayores detalles de estos edificios de vivienda revisar el anexo A.

Debido a la acotación de tiempo para realizar esta investigación no se tienen los 30 dictámenes para estos edificios ya que cuando se asistió a corroborar los datos de algunos edificios para los que existía duda acerca del tipo de daño que presentaban de acuerdo con las curvas de fragilidad, al momento de entrar nuevamente a la Plataforma CDMX, ya no se encontraba la información de los dictámenes estructurales disponible.

Figura 3.47 Estado de un edificio en Av. Chapultepec a dos años y medio de la ocurrencia del sismo de 2019 que estaba destinado a reconstrucción. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.



3.3 Correlación de la acumulación de irregularidades arquitectónico-estructurales con el estado de daño presentado

Se realiza una comparación para determinar si entre mayor número de irregularidades arquitectónico-estructurales, se presenta un daño más severo.

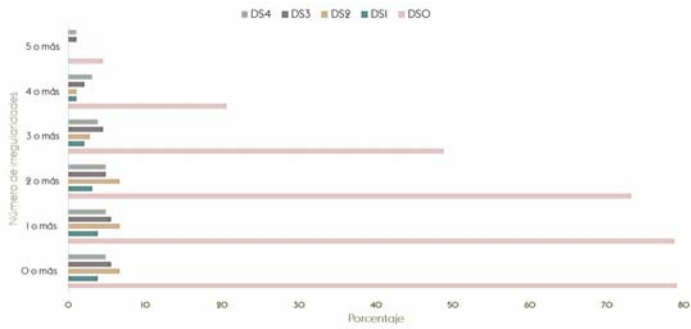


Figura 3.48 Acumulación de irregularidades arquitectónico-estructurales con respecto al tipo de daño en la muestra total de 397 edificios. Datos en porcentajes.

Irregularidades	DS0	DS1	DS2	DS3	DS4	Total
0 o más	287	17	17	14	14	347
1 o más	236	19	19	18	14	316
2 o más	140	4	13	14	14	185
3 o más	19	3	3	3	3	31
4 o más	3	3	3	3	3	12
5 o más	0	0	0	3	3	3

Tabla 3.9 Acumulación de irregularidades arquitectónico-estructurales con respecto al tipo de daño en 397 edificios.

Combinaciones de irregularidades vs estado de daño presentado

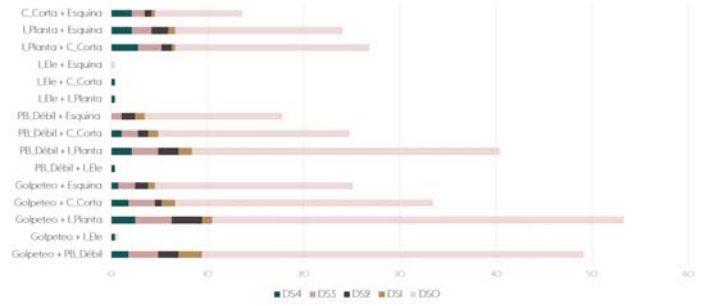


Figura 3.49 Combinaciones de irregularidades por tipo de daño en porcentaje respecto a los 397 edificios.

Irregularidades	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	Total
Golpeteo + PB.Débil	5	9	6	7	84	111
Golpeteo + L.Ele	1	0	0	0	1	2
Golpeteo + L.Planta	7	8	9	3	85	112
Golpeteo + C.Corta	5	8	9	4	77	103
Golpeteo + Esquina	9	5	4	2	59	79
PB.Débil + L.Ele	1	0	0	0	0	1
PB.Débil + L.Planta	6	8	6	4	92	116
PB.Débil + C.Corta	5	5	3	3	57	73
PB.Débil + Esquina	0	3	4	3	41	51
L.Ele + L.Planta	1	0	0	0	0	1
L.Ele + C.Corta	1	0	0	0	0	1
L.Ele + Esquina	0	0	0	0	1	1
L.Planta + C.Corta	6	7	3	1	58	75
L.Planta + Esquina	6	6	5	2	50	69
C.Corta + Esquina	6	4	2	1	36	49

Tabla 3.10 Combinación de irregularidades arquitectónico-estructurales por tipo de daño respecto a los 397 edificios.

De acuerdo con la figura 3.48 se observa que dentro de los edificios que sufrieron algún daño (menor a muy alto) en el caso de la acumulación de 5 o más irregularidades, únicamente se presentan daños severos (alto y muy alto).

Se observa que cuantas más irregularidades acumula un edificio, los daños menores empiezan a dar paso a los daños severos. Tal es el caso de los inmuebles que presentan 5 o más irregularidades, se observa que la relación que presenta es que únicamente se observan edificios con daño alto y muy alto en este caso.

En cuanto al daño medio, decrece, conforme se suman más irregularidades, hasta la acumulación de 4 irregularidades que es el último caso donde se presenta este nivel de daño.

Respecto al daño menor sucede lo mismo, se presentan menos casos conforme se van sumando irregularidades arquitectónicas estructurales. De igual forma el último caso de estudio en que se presenta este nivel de daño es en la acumulación de 4 irregularidades. Siempre de forma decreciente, es decir, a tendencia a presentar daño menor es cuando el edificio presenta menos acumulación de irregularidades.

En cuanto a los edificios que no presentan daños, se observa que la gráfica decrece conforme se suman irregularidades. Es decir, hay mayor probabilidad de que un edificio no presente daños entre menos irregularidades presente.

Además se analizan las combinaciones de irregularidades que presentan en general la muestra de los 287 edificios para explorar cuál es la combinación de irregularidades más constante en relación al nivel de daño que presenta un edificio.

Se obtiene que dentro del total de edificios (sin considerar su estado de daño) la irregularidad arquitectónico-estructural más constante es la suma de golpeteo e irregularidad en planta, seguido del golpeteo más planta baja débil.

En cuanto a los daños, se observa que la combinación más perjudicial para los edificios podría ser la irregularidad en planta con columna corta, ya que 8 edificios que presentan daños severos incluyen estas irregularidades, además, también destacan en los casos de edificios con daños muy altos, es el no respetar las colindancias aunado a una configuración geométrica irregular en planta y el efecto de columna corta.

# 4

Discusión de resultados y posible contribución arquitectónica para la mitigación de daños en edificios de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México.

4.1 Discusión general

4.2 Contribución arquitectónica

*"Toda crisis es una ventana de oportunidad en la medida en que uno se ocupa de una tragedia como un momento para hacer cambios que en circunstancias normales nunca hubieran ocurrido. Quizá se pueda hacer que incluso los momentos dolorosos de una comunidad que sufre estas tragedias puedan tener algo de sentido"*

-Alejandro Aravena  
Arquitecto chileno

Figura 1. Edificio en la colonia Hipódromo condesa en proceso de rehabilitación.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.



“

*"Tanto como darle mantenimiento no, es más creo que nadie, ni vecinos ni administradores sabíamos nada sobre la estructura del edificio y mucho menos de la cimentación, hasta que sucedió el sismo..."*

-Rosa Suárez  
Habitante de edificio multifamiliar

*"No, de hecho en el sismo que se presentó con días anteriores, y que fue de mayor intensidad, no se observaron daños en la estructura. En cuanto a sospecha de posible falla, no se tenía"*

-Eduardo Urban  
Habitante de edificio multifamiliar

*Mientras más niveles bajábamos, peor se ponían las cosas, se escuchaban las paredes tronar y después el mismo yeso (demasiado grueso, por cierto) se botaba de las paredes hacia las escaleras, por lo que eran cada vez más difíciles de percibir, además del polvo que se hacía por lo mismo"*

-Mariana García  
Habitante de edificio multifamiliar

*Las reparaciones duraron meses e incluso algunos inquilinos ya no quisieron volver a vivir ahí, en lo personal sí fue algo traumático y se puede notar cuando vuelve a sonar la alerta sísmica, la verdad es que se siente más miedo de lo que antes se sentía y uno pide sólo que no sea tan fuerte.*

-Mariana García  
Habitante de edificio multifamiliar

*" ¡Jamás en mi vida pensé que 2 horas después viniera el gran sismo que nos dejó sin casa! "*

-Rosa Suárez  
Habitante de edificio multifamiliar

*"Al llegar, y ver que no se podía hacer nada, fue el tratar de ayudar a localizar vecinos que dadas sus características con toda seguridad estaban en el edificio al momento del sismo..."*

-Eduardo Urban  
Habitante de edificio multifamiliar

”

#### 4.1. Discusión General

Después del análisis de los resultados, se observa que dentro del estudio de la muestra de 287 edificios que habían presentado un daño menor en el sismo del 19 de septiembre de 1985, después del sismo del 19 de septiembre de 2017 el 10.45% presentó un daño severo (i.e., estados de daño D3 y D4) y de este valor aproximadamente el 10% de viviendas están destinados a demolerse, esto significa casi la mitad de los edificios. Es así como se observa que la premisa que algunas personas tienen referente a: *“si nuestro edificio de departamentos ya soportó un sismo de cierta magnitud, podrá hacerlo con uno de diferente magnitud”* es claramente falsa. Aspectos diversos como el daño acumulado existente en las estructuras debido a la ocurrencia de sismos durante la vida útil del edificio, el inadecuado o nulo mantenimiento de las construcciones y los asentamientos diferenciales son elementos que intervienen para que una estructura no se comporte de la misma forma ante diferentes eventos sísmicos aunque no haya sufrido daños importantes y aunque el evento sísmico pueda llegar a ser de menor magnitud, se podrían observar mayores intensidades. No existen los edificios infalibles, y el trabajo continuo a través de la transdisciplina puede ofrecer más y mejores soluciones a una ciudad que debe pensarse no para reconstruirse adecuadamente, sino para que no deba reconstruirse, ser menos vulnerable, a pesar del peligro sísmico existente. La Ciudad de México debe pensarse como un todo, con políticas públicas que impulsen el crecimiento de

la ciudad, no de una zona, no de un edificio, sino de una metrópoli que debería crecer a la par. Históricamente la vivienda es el anhelo de una familia en México. A raíz de la creación del Infonavit, se brinda como un derecho para que un trabajador contara con una vivienda digna, segura, que cumpliera con los niveles de calidad que la familia del trabajador merecía. Apegados a las más estrictas normas y reglamentos de construcción, el programa de vivienda arrancó, en lo que se conoce como vivienda de interés social.

Arquitectura sencilla, departamentos y casas que cumplieran con el reglamento de construcción vigente, debido a que en estos casos en que se construía con mayor regularidad posible (no se observan las irregularidades arquitectónico-estructurales estudiadas), y no se observaron daños después de los sismos de 1985 y 2017. La planta de los edificios era en su mayoría geométrica y regular, trazos de ejes ortogonales y muros de cargas que complementaban la estructura de concreto. Más tarde se observa que la construcción se deja en manos de desarrolladores privados orientando al Infonavit a otorgar créditos, limitando su participación técnica.

Hoy el reto es retomar los principios e ideales de entregar vivienda digna, estéticamente agradable y estructuralmente segura. La tarea es compartida: arquitectos, ingenieros, desarrolladores y por supuesto la normatividad emitida por las autoridades (que está basada en estudios que involucran a muchas otras disciplinas), así como los dueños de los edificios de vivienda en cuestión.



## 4.2 Contribución arquitectónica



Se analiza cómo es posible ser partícipes a través del proceso de diseño arquitectónico y responder a este fenómeno natural a través de la arquitectura.

Se proponen cuatro áreas de oportunidad en donde la arquitectura puede ser partícipe para mitigar estos desastres:

1. Proyecto arquitectónico
2. Estudios transdisciplinarios
3. Normatividad
4. Socialización de la información

Discusión de resultados y posible contribución arquitectónica para la mitigación de daños en edificios de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México

### Proyecto Arquitectónico

Como primera área de oportunidad se propone entender la configuración geométrica del edificio dentro del marco del proceso de diseño arquitectónico. El entendimiento de las irregularidades arquitectónico-estructurales debería considerarse durante todo este proceso de creación, es decir, las irregularidades en planta y alzado corresponden directamente a la arquitectura. Adicionalmente, es posible que la planta baja débil sea un resultado de proyectar el uso de planta baja para estacionamiento en zonas donde se vuelve vulnerable este nivel por el tipo de suelo de la ciudad.

Se propone revisar las configuraciones geométricas que históricamente no han funcionado en los edificios de vivienda a raíz de los sismos para así proponer una metodología más estudiada para arribar las propuestas arquitectónicas en un edificio de tan alto impacto social, histórico y arquitectónico, como lo es la vivienda multifamiliar. Esto es claramente no acumular irregularidades que previamente se revisó que podrían no funcionar al estar presentes en un edificio de vivienda.

Además, se debe aprender a priorizar entre otros factores: la formalidad del proyecto arquitectónico, los requerimientos (muchas veces búsquedas arquitectónico-formales) y las necesidades de la población de una ciudad en la que definitivamente, esperamos el próximo gran sismo. Detenerse a pensar antes de elegir el próximo acabado en tendencia, los aspectos formales, el uso del espacio, los recorridos; que el diseño arquitectónico debe contribuir y sumar estrategias y planes para proteger las vidas de los usuarios ante un evento sísmico en una ciudad tan vulnerable.

Discusión de resultados y posible contribución arquitectónica para la mitigación de daños en edificios de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México

Es decir, la arquitectura ya debería contener esta condición por naturaleza desde la geometría del espacio, el hablar de sismorresistencia, debería estar implícito en la arquitectura porque es una condición natural, no perder el valor que Marco Vitruvio define como "firmitas", porque entonces no se estaría haciendo una adecuada arquitectura. Además, resulta imprescindible para el proceso del diseño arquitectónico desarrollar el proyecto tomando en cuenta entre otros factores, las juntas de colindancia para los efectos que el reglamento en vigencia señala, y así garantizar la forma más adecuada del comportamiento del edificio ante un sismo, sin dañar a sus colindancias y a la propia estructura.

Es importante agregar además que, si por motivos de proyecto arquitectónico ya se ha diseñado un edificio en la Ciudad de México con algún tipo de irregularidad arquitectónica estructural, no combinarse o sumar más de ellas. Si bien se sabe que es necesario contar con un adecuado espacio de estacionamiento en los multifamiliares, podría proponerse no sumar más este tipo de irregularidades o combinarse con otras que puedan ocasionar un gran impacto en el momento de un sismo.

### Estudios transdisciplinarios

Se propone explorar el proceso de diseño arquitectónico a través del trabajo transdisciplinario en colaboración con la ingeniería para plantear mejores soluciones más estudiadas. Proyectar teniendo en mente que, si se está diseñando en una ciudad sísmica, se deben tener en cuenta factores básicos que deben estar presentes en todo el proceso de diseño arquitectónico formal y conceptual, los cuales son: la masa, el tamaño y la configuración geométrica del edificio, en donde en este estudio se ha hecho especial énfasis.

Dentro de esta área de oportunidad habría que aprender a entender la naturaleza del riesgo antes de comenzar a proyectar el edificio regido por algún postulado. Si el proyecto puede entender el terreno donde se está desplantando, las condiciones del subsuelo, los riesgos naturales que están latentes, y en este caso, la respuesta sísmica del lugar donde se está proyectando. Porque, aunque existan sacudidas, siempre habrá donde diseñar y construir adecuadamente.

También, implementar en el proceso de diseño arquitectónico tener en cuenta en todo momento el suelo en donde se va a desplantar proyecto para elegir un adecuado sistema constructivo y propuestas más coherentes al requerimiento del tipo de suelo.



## Normatividad

Así como la vivienda se ha transformado por diversos factores relevantes tales como el incremento de la población, el uso del automóvil (derivando posiblemente en el uso de la planta baja para estacionamiento), la diversificación de las familias en la Ciudad de México, el costo elevado de los predios; entre otros, también debería transformarse en cuanto al diseño arquitectónico con fiere, a raíz de los grandes fenómenos sísmicos que ha experimentado la Ciudad de México a través del paso del tiempo.

En el nivel normativo, una propuesta en donde la arquitectura podría participar, sería en la revisión de la Ley de Vivienda en Condominio, en donde a través de ésta podría examinarse la posibilidad de implementar una propuesta de revisiones periódicas a los edificios de vivienda colectiva cada cierto tiempo en su estructura, revisar las condiciones del edificio se haya presentado o no un evento sísmico, ya que la estructura trabaja aunque no se presente un fenómeno de magnitud perceptible para las personas, porque en la Ciudad de México se registran sismos todos los días.

Además, el correcto uso y aplicación estricta del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, (que es uno de los más estrictos en el mundo) dentro del sector constructivo, en donde los arquitectos han tenido mucha participación particularmente para estos edificios de vivienda. El entendimiento del Reglamento de Construcciones debe aplicarse desde la concepción del diseño arquitectónico (arquitectos proyectistas), hasta el momento en que se lleva a cabo la obra (arquitectos supervisores de obra, DRO, CSE, residentes).

## Socialización de la información

Se considera para este último tema la relevancia de la socialización de la información para hacer partícipes a los habitantes y/dueños de estos multifamiliares y crear en ellos la conciencia de la cultura de la prevención. Esta información debe difundirse ya que como se ha visto en el último sismo, muchos edificios presentaron daños debido al desconocimiento por parte de los condóminos sobre lo que no se podía modificar en sus departamentos (como quitar muros o abrir ventanas principalmente). Sería adecuado que instituciones como Protección Civil en colaboración con las disciplinas involucradas, hicieran partícipes a las personas para que se sensibilizaran sobre el por qué es tan delicado realizar modificaciones irresponsables en sus edificios de vivienda.

En esta área de oportunidad, los arquitectos pueden ser copartícipes al difundir esta información de interés para una población tan vulnerable como lo son los habitantes de la Ciudad de México.

¿Hasta dónde se puede diseñar dejando de lado la entorno donde se construye y sin dar la importancia al riesgo en una ciudad sísmica?

¿Qué va a pasar con los multifamiliares que actualmente presentaron un daño menor en el próximo sismo?

# 5

## Conclusiones

*“...para construir un edificio sólido no hace falta usar un material resistente. La solidez de un edificio no tiene nada que ver con la resistencia de un material...”*

*-Shigeru Ban  
Arquitecto Japonés*

Figura J. Edificio en la colonia Doctores en proceso de rehabilitación.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.





Se analiza preliminarmente desde el punto de vista arquitectónico-estructural los factores que influyeron en el daño sísmico de viviendas de mediana altura existentes que soportaron el sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México y que resultaron con algún daño en el reciente sismo del 19 de septiembre de 2017. Se estudia una muestra de vivienda de 287 edificios de 2 a 19 niveles, del Instituto de Ingeniería UNAM, que se registraron con daños menores después del sismo de 1985 Mw.8.1 y las diferentes irregularidades arquitectónico-estructurales en común que presenta la muestra después del sismo: golpeteo, irregularidades en planta y alzado, planta baja débil, localización en esquina y columna corta. A partir de esta revisión general se encuentra lo siguiente:

1. Este análisis muestra que los principales factores que influyeron en el daño en orden de importancia son: golpeteo (79%), Irregularidad en planta (68%), columna corta (65%), localización en esquina (64%), planta baja débil (61%), irregularidad en alzado (1%).

2. Se profundiza en estos factores considerándolos como posibles derivados de una concepción de diseño que responde a su año de construcción, a las tendencias arquitectónicas de la época postrevolucionaria, a la normatividad vigente al momento de su construcción, a las necesidades en cada edificio habitacional, a un contexto urbano, e incluso a principios de diseño arquitectónico que se han ido replicando en varios lugares del mundo, pero que, dependiendo de las condiciones geográficas del sitio, va a funcionar o no.

3. Se enfatiza en 30 viviendas que presentaron daños severos después del sismo del 19 de septiembre de 2017 y que, en el evento de 1985, habían sufrido daño menor. Estas 30 viviendas multifamiliares representan casi el 10% de la muestra total.

4. Este aporte surge como una respuesta a la premisa que muchas veces tienen los propietarios y/o habitantes del inmueble que ha soportado un sismo de importante magnitud anteriormente y que presentó daños menores al pensar que se comportará de la misma forma en el siguiente evento sísmico. En un próximo sismo de igual o incluso menor magnitud, es susceptible a presentar daños graves, aunque ya haya resistido un sismo previo y no haya presentado daños importantes. Esto por las diferencias de intensidades que se pueden percibir en un sismo (aunque sea de menor magnitud).

5. Se observa que una de las irregularidades arquitectónico-estructurales que más se han repetido en las viviendas de tipo multifamiliar es la irregularidad en planta aunado a no respetar en adecuado uso de colindancias.

6. Muchos edificios multifamiliares son construcciones previas al reglamento de 1985, y no se actualizaron a las normas vigentes, que en el caso de la vivienda no es obligatorio; no así en las escuelas, hospitales, terminales de transporte, etc. Que sí deben cumplir con la nueva normatividad.

## Glosario de términos

Figura K. Edificio en la colonia Roma en proceso de demolición.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019



Amplificación	Efecto que sufren las ondas sísmicas cuando atraviesan rocas blandas, como son los suelos de una cuenca sedimentaria. Este efecto consiste en un agrandamiento del movimiento sísmico, es decir, de la amplitud de las ondas al propagarse. (Cruz, 2017)	Daño alto (DS3)	Cuando ocurre un daño severo en elementos estructurales que conduce a la inestabilidad estructural. Incluye edificios con columnas severamente dañadas, aunque sin inclinaciones significativas ni deformaciones permanentes importantes en losas. Al igual que DS2, el daño en elementos y contenidos no estructurales es significativo; estas estructuras deben ser apuntaladas provisionalmente. Las estructuras en este estado se consideran habitables debido a la amenaza que representan para los habitantes. Por lo tanto, se deben llevar a cabo proyectos de rehabilitación estructural y modernización para recuperar la funcionalidad y garantizar la seguridad adecuada.
Asentamiento diferencial	Las estructuras transmiten las cargas recibidas al terreno donde se encuentran desplantadas por medio de la cimentación y producen deformaciones conocidas como asentamientos. Estos asentamientos son el resultado del tipo del terreno donde se ubican y el contenido de agua en el mismo. El asentamiento diferencial regularmente se presenta en edificios cuyas cimentaciones están en suelos blandos, es decir, arcillas o limos de alta plasticidad. Así es como son el principal factor de agrietamientos en las edificaciones, debido a la falta de sustentación del subsuelo de apoyo aunado a un posible mal diseño de la cimentación lo cual genera un movimiento no uniforme de la edificación en su nivel de desplante (Rangel, 2019)	Daño medio (DS2)	Cuando la capacidad estructural se ve afectada por el daño local en columnas y vigas; Por lo general, se encuentra una pérdida significativa de la capacidad estructural de estos elementos, que deben restaurarse a su estado original. En este estado, los elementos no estructurales podrían sufrir daños graves. Se recomienda una futura inspección de la estructura para garantizar la habitabilidad y la seguridad estructural, lo que debe llevarse a cabo con un proyecto de adaptación adecuado.
Colapso (DS5)	Cuando el edificio se derrumbó parcial o totalmente.		
Compresibilidad	La compresibilidad es el grado en que una masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Es mínima en los suelos de textura gruesa, que tienen las partículas en contacto. Aumenta a medida que crece la proporción de partículas pequeñas y llega al máximo en los suelos de grano fino que contienen materia orgánica.	Daño menor (DS1)	Este estado incluye fisuras en la estructura, muros o tabiques y daños locales no significativos en columnas y vigas. Esto significa que la estructura está clasificada como segura para sus habitantes y alrededores, por lo que no se requiere una inspección futura.

Daño muy alto (DS4)	<p>Cuando el daño afecta significativamente la capacidad estructural. Incluye columnas severamente dañadas, importantes deformaciones permanentes en losas e inclinación, y muros estructurales no estructurales con grietas significativas que incluyen piezas de mampostería aplastadas y faltantes. Las condiciones de inestabilidad severa que representan una amenaza para las personas, los edificios adyacentes y los alrededores están implícitas en este estado. Además, los costos de rehabilitación podrían ser muy altos, por lo que se recomienda la demolición.</p>	Frecuencia	<p>El número de veces que el movimiento se repite en cierto tiempo.</p>
		Intensidad	<p>Es la medida relacionada al movimiento del terreno en los sismos (aceleraciones del suelo) y por lo tanto al nivel de daño que se genera en la zona. Consiste en la relación del periodo de la estructura, el periodo del suelo y el contenido de frecuencias del sismo. Puede observarse en los daños a las estructuras de acuerdo con la localización de este, el número de niveles y el tipo de suelo donde están desplantados y las aceleraciones registradas en la zona.</p>
Desconchamiento	<p>Falla presentada principalmente en uniones viga-columna donde no existía refuerzo transversal. Un inadecuado confinamiento en las uniones agravado por la práctica de utilizar paquetes de barras longitudinales en las esquinas de la columna lo cual incrementó el desconchamiento en la unión. Provoca un deslizamiento entre las varillas o falla de cortante.</p>	Irregularidad arquitectónico-estructural	<p>Término generado a raíz de esta investigación. Se utiliza para denominar aquellas irregularidades estructurales que pudieron haber sido el resultado del proyecto arquitectónico. Es decir, es el punto donde la arquitectura y la respuesta de la estructura generan una irregularidad en la configuración del edificio (geométrica o en los sistemas resistentes a las fuerzas laterales).</p>
Desplome	<p>Generado respecto a un giro del edificio perdiendo su verticalidad.</p>		<p>Alteran o modifican los elementos del edificio como: muros (pueden presentarse a través de la generación de vanos, discontinuidad del muro de un nivel a otro), columnas, configuración geométrica en planta y alzado (generan en planta elementos entrantes o salientes y en alzado escalonamiento), núcleos de servicios (elevadores, escaleras).</p>
Falla normal	<p>Las fallas geológicas son fracturas en el interior de la Tierra provocadas por las fuerzas tectónicas. Las fallas son entonces lugares frágiles de la litósfera en los que las rocas de un lado de las fracturas se mueven con respecto a las del otro lado.</p> <p>En este tipo de falla las rocas que se encuentran por encima del plano de falla descienden. Con frecuencia se encuentran en regiones de la litósfera donde dos placas se alejan entre sí (dorsales oceánicas), o bien en el interior de las placas, lejos de sus límites. (Cruz, 2017)</p>		<p>Finalmente pueden llegar a afectar el comportamiento sísmico del edificio causando torsión, concentración de esfuerzos o interrupción del flujo de fuerzas. Esto puede derivar en colapsos, formación de grietas, y fallas de elementos estructurales y no estructurales.</p>



Magnitud	<p>Hace referencia al tamaño del sismo. Depende principalmente de: i) la extensión de la falla geológica en la que se produce el terremoto y ii) de la distancia que se desliza un lado de la falla con respecto al otro. Estas dos características están relacionadas: cuanto más extensa es la falla que se rompe, mayor es el deslizamiento en ella.</p> <p>La escala de magnitud no es lineal. Por ejemplo, un sismo de magnitud 8, es aproximadamente 32 veces más grande que otro de magnitud 7. Con respecto a uno de magnitud 5, el de 8 es treinta y dos mil veces mayor (es decir, <math>32 \times 32 \times 32 \approx 32\ 000</math>)</p> <p>El aumento en la magnitud de un terremoto no supone un incremento en la intensidad de las sacudidas del suelo. (Cruz, 2017)</p>
Mecanismo de subducción	<p>Mecanismo presentado en las regiones donde las placas se acercan entre sí y una placa se hunde por debajo de otra. Estas zonas son aquellas en donde la litósfera comienza su regreso al interior del planeta. (Cruz, 2017)</p>
Mediana altura	<p>En el documento el término lo refiere a edificios de vivienda que van de 2 a 19 niveles.</p>
Peligro sísmico	<p>Capacidad destructiva de los terremotos. Al peligro también se le llama amenaza, y suele estudiarse a través de estimaciones de las sacudidas más violentas que podría provocar un sismo en los próximos años. (Cruz, 2017)</p>

Rehabilitación	<p>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.</p>
Riesgo sísmico	<p>Probabilidad de sufrir daños como consecuencia de las sacudidas de un sismo (Cruz, 2017)</p>
Vivienda multifamiliar:	<p>En el documento se utiliza el término para referir a aquellos edificios que están destinados a dar alojamiento a dos o más familias y que se encuentra en un terreno común a las unidades que lo contiene. Se caracteriza por estar basada en un régimen de propiedad en condominio.</p>

## Anexo A

Se presenta la información recabada de los dictámenes estructurales emitidos por las instituciones gubernamentales de los edificios con daños severos. Los edificios que no se presentasen debido a que no se encontró la información solicitada al momento de la consulta en la plataforma CDMX al mes de febrero de 2019, ya que la plataforma ya no tenía disponible la información a esa fecha.

Se obtuvieron 22 dictámenes estructurales de 30 edificios que presentaron daños severos.

Figura L. Edificio en la colonia Narvarte en proceso de rehabilitación.  
Créditos fotográficos: Vanja Catalán, Marzo de 2019



I. CUA-07      DS3- Daño alto

Ubicación:  
**Aguascalientes 12,  
Roma Sur**

Año de construcción:  
**Antes de 1985**

Número de niveles:  
**10**

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
**I. Irregularidad en planta**



Figura A.1 Fachada del edificio habitacional Aguascalientes 12 a dos años y medio del evento sísmico. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020

Este edificio con dirección Aguascalientes 12, en la colonia Condesa, es de uso habitacional compuesto de un inmueble de 10 niveles y un semisótano destinado a estacionamiento.

Está estructurado a base de columnas de concreto armado y losas planas aligeradas. La edificación presentó afectaciones en columnas del nivel de sótano hasta el tercer nivel, las cuales constan de grietas y fisuras con formación diagonal, afectando toda la sección transversal del elemento.

El edificio además, presentó daños en los muros diafragma cabeceros de fachada de mampostería que mostraron fracturas, el cubo de escaleras, así como en algunos muros divisorios de mampostería exterior.



Figura A.2 Fachada del edificio habitacional Aguascalientes 12 a dos años y medio del evento sísmico. El edificio aún se encuentra deshabitado y sin comenzar un proyecto de reestructuración. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020

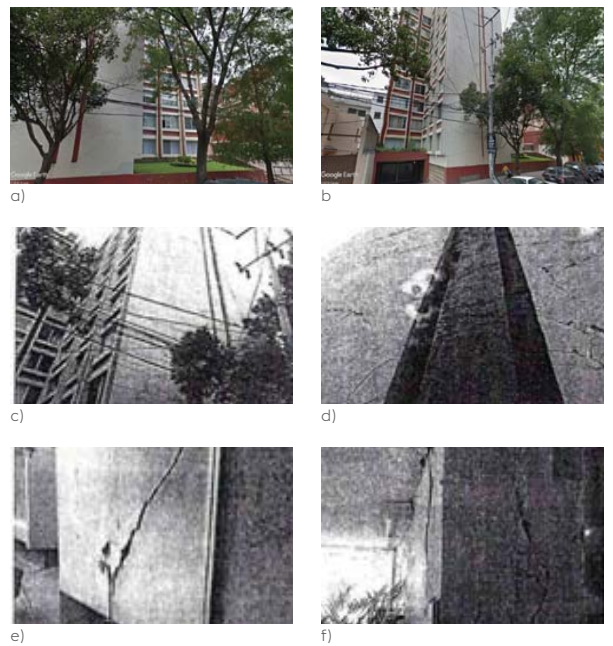


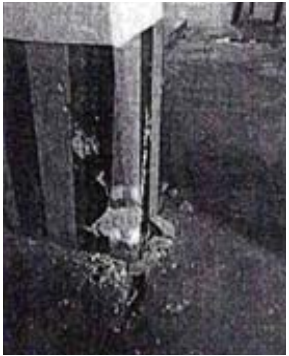
Figura A.3. Edificio considerado de Riesgo Alto: (a) Fachada norte previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ALCdOt>), (b) Vista exterior de sótano. Acceso vehicular previo al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ALCdOt>), (c) Fachada norte con daños presentados después del sismo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (d) Detalle de fracturas en los muros diafragma de fachadas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (e) Grieta diagonal en muro interior (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (f) Grietas en columnas que van desde nivel de sótano hasta tercer nivel (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (g) Desconchamiento de concreto en muro de planta baja (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (h) ????, (i) Desconchamiento de concreto en columnas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (j) Grietas en columnas de sótano en forma diagonal (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (k) Falla de columna en sótano (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>), (l) Agrietamiento del suelo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2zuMYII>)



g)



h)



i)



j)



k)



l)

Figura A.3. Continuación

Figura A.4 Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico de 2017. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.



2. CUA-16

DS4- Daño  
muy alto-  
Demolición

Ubicación:  
Ámsterdam 219,  
Hipódromo Condesa

Año de  
construcción: 1968

Número de niveles: 8

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:

1. Golpeteo
2. Irregularidad  
en planta
3. Columna corta
4. Edificio en esquina
5. Planta baja débil



Figura A.5 Trabajos de demolición  
del edificio. Créditos fotográficos:  
Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Ámsterdam 219, colonia Hipódromo Condesa, que fue construido para uso habitacional hace aproximadamente 50 años. El inmueble se desplanta en suelo de la zona III.

El sótano y la planta baja en forma parcial, estaban destinadas para estacionamiento. Además, se utilizaba la planta baja para uso comercial, cuenta con un local. Del primer al octavo nivel estaba destinado a departamentos. Sobre la azotea se encontraban los cuartos de servicio, y además un nivel más que utiliza el cuarto de máquinas del elevador.

El edificio presentaba una estructura irregular: en planta adoptaba la forma de un cuarto de círculo con una saliente en la parte posterior para alojar dos cubos de iluminación, situación por la que no cumplía con las condiciones de regularidad que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal-2017.

El sistema estructural estaba resuelto a base de marcos de concreto reforzado, formados por columnas de sección rectangular y una losa plana reticular que también funcionaba como sistema de entrepiso y cubierta. Contaba con muros diafragma en las colindancias, así como muros divisorios en fachadas y al interior de los departamentos a base bloque hueco tipo santa julia sin contar con refuerzo en su interior. Las rampas de las escaleras de servicio eran de concreto armado que se empotraban en las nervaduras del sistema de entrepiso. El cubo de circulaciones verticales (escaleras y elevador) se encontraba en la parte central del edificio hacia la parte posterior y estaba constituido por muros diafragma de mampostería confinada. La cimentación consistía en un cajón de concreto reforzado constituido por muros perimetrales de contención y una losa de fondo rigidizada con contratraves.

De acuerdo con las evaluaciones post sísmicas realizadas al edificio, manifestó un desplome ligero hacia la colindancia norponiente, así como la falta de mantenimiento durante varios años.



Figura A.6 Trabajos de demolición del edificio. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Además, el edificio sufrió daños menores en el sismo de 1985 de acuerdo con la información obtenida del Anexo Estadístico Los Sismos de 1985, control de edificaciones, publicado por la Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal.

Es importante destacar que la colindancia con los edificios vecinos se observó insuficiente o nula, motivo por el cual existía golpeteo entre los edificios durante un sismo intenso.

A raíz del sismo de septiembre de 2017, el edificio presentó grandes desplazamientos y distorsiones de entrepiso debido a su tipo de estructuración irregular, losa plana y planta flexible, lo que ocasionó severos esfuerzos de torsión en los elementos estructurales, ocasionando que los muros de mampostería presentaran fracturas diagonales en forma de "X", verticales y horizontales, que en algunos casos ocasionaron colapsos parciales de los mismos hacia el interior de la edificación, lo cual es debido a la interacción de los muros con la estructura, también se generaron severos desprendimientos de acabados en todos los niveles del edificio.

Las columnas se apreciaron en buen estado, salvo una de la planta baja en la que se observó una fisura diagonal por efectos del cortante con una abertura del orden de 1 mm.

Los propietarios del inmueble solicitaron pruebas de laboratorio de las columnas de planta baja y sótano, obteniendo como resultado una baja resistencia a la compresión del concreto, por lo que se concluye que los materiales y dosificación no cumplieron con la resistencia del diseño original del edificio y la resistencia mínima que estipula el Reglamento de Construcciones para el DF

Dado que el edificio contaba con una planta baja flexible, losa plana, baja resistencia a la compresión en columnas y una estructura irregular en planta, así como por el riesgo de continuar el golpeteo con las edificaciones vecinas, se concluyó que el edificio presentaba un alto riesgo de colapso.

Figura A.7 Estado del edificio a dos años del sismo de 2017. Acceso peatonal. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2019.

Posteriormente, los condóminos solicitaron una cotización de rehabilitación del edificio, misma que se valoró en 25 ' 362,189.59 sin incluir arreglos interiores de departamentos, montaje y desmontaje del elevador y permisos.

Se llegó a la determinación de solicitar a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda llegar a la reconstrucción del condominio vía demolición.

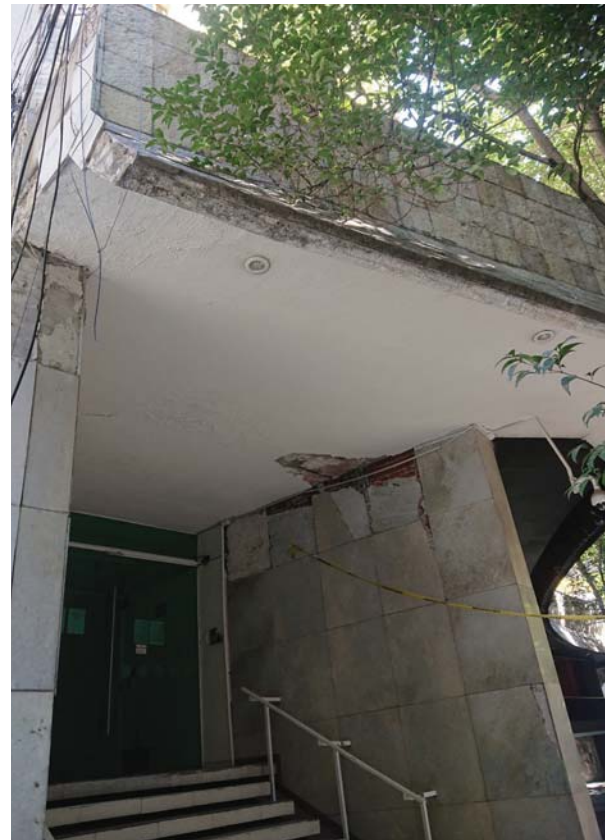






Figura A.8. Edificio considerado para demolición: (a) Vista aérea del edificio. Planta irregular en forma de semicírculo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RzkXRx>), (b) Fachada oriente previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RzkXRx>), (c) Pedacería de mampostería en patios después del sismo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (d) Detalle de fracturas en "X" en los muros diafragma (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (e) Grietas en muros interiores (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (f) Daños en cubo de circulaciones verticales. Elevador. (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (g) Desprendimientos de acabados (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (h) Desprendimientos de acabados (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (i) ???, (j) Daño en cubo de circulaciones verticales. Escaleras. (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (k) Golpeteo con edificios colindantes (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (l) Desprendimiento de acabados en columnas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>), (m) ???, (n) Grietas en "X" en muros interiores divisorios. (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RyeTJ2>)

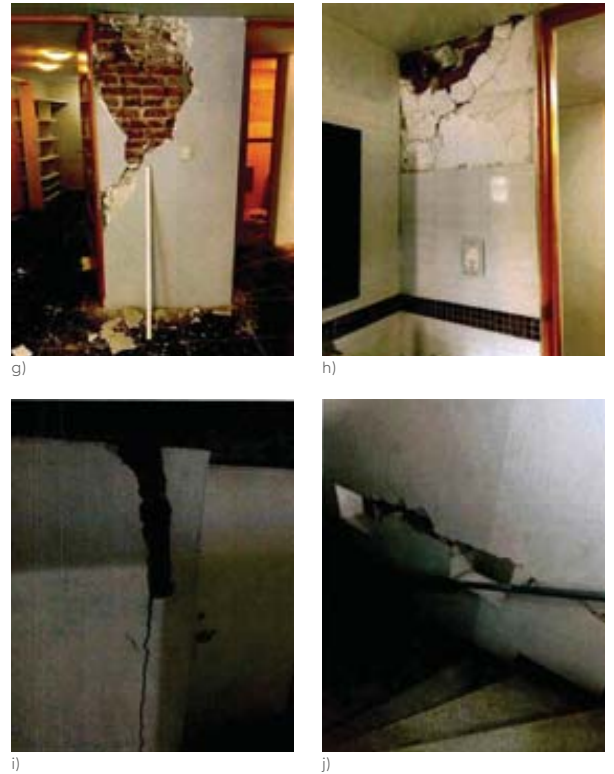


Figura A.8. Continuación.



k)



l)



m)



n)

Figura A.8. Continuación

Figura A.9 . Trabajos de demolición del edificio. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.



### 3. CUA-I8 DS3- Daño alto

Ubicación:  
Ámsterdam 232,  
Hipódromo Condesa

Año de construcción:  
1970

Número de niveles:9

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Piso débil  
3. Columna corta



Figura A.10. Vista de los daños en fachada. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.

Se trata de un inmueble con dirección Ámsterdam 232, colonia Hipódromo Condesa, destinado a uso habitacional de 11 niveles.

El edificio estructurado a base de columnas de concreto armado y losas planas aligeradas, sufrió afectaciones a causa del golpeteo con el edificio colindante (Ámsterdam 228), fracturando muros de mampostería en los niveles sexto, séptimo y octavo, teniendo además agrietamientos y fracturas en los confinamientos de concreto armado.

Presentó desprendimiento de aplanados de los muros de la fachada principal. Finalmente el edificio se solucionó vía reconstrucción.



a)



b)



c)

Figura A.11 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada oriente previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PbjLHj> ),(b) Vista aérea del edificio (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PbjLHj> ) , (c) Vista de la fachada oriente posterior al sismo (Diciembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2yUa5b8>)

Figura A.12. Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico. El edificio se solucionará vía reconstrucción. Créditos fotográficos: Vania Catalán, marzo de 2020.

4. CUA-50 DS4- Daño muy alto- Demolición

Ubicación:  
Chapultepec Av.  
444, Roma

Año de  
construcción: 1982

Número de  
niveles: 10

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Planta baja débil  
2. Irregularidad  
en planta  
3. Irregularidad  
en alzado



Figura A.13. Edificio en proceso de reconstrucción. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Chapultepec 444, Colonia Roma Norte, que constaba de tres torres ligadas estructuralmente: la torre frontal era de 10 niveles, la segunda de 9 y se ubicaba al centro del terreno y la tercera torre contaba con seis niveles, en la parte posterior del predio. La planta baja estaba destinada a estacionamiento. La estructura del edificio era a base de marcos de concreto reforzado formados por columnas y losas planas como sistemas de entrepiso. Contaba con muros de mampostería en cubos de escaleras, colindancias y como muros divisorios en los departamentos. En cubos de iluminación y colindancias se observaron contraventeos de concreto, así como traveses de liga de los marcos. Posterior al sismo la estructura sufrió daños, como grietas en las columnas y dislocamientos de contraventeos de los primeros niveles, además de grietas y desprendimientos de acabados en los muros de mampostería. Se observó que las columnas en la dirección corta de la estructura presentan una escasa sección para resistir fuerzas horizontales. Además, dos niveles de la torre frontal de origen no fueron considerados en el proyecto original. La estructura del edificio era muy esbelta por lo que no cumplía con las condiciones de regularidad del Reglamento de Construcciones.

Finalmente el edificio se reconstruirá.



Figura A.14 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada norponiente previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ALCdOt>), (b) Vista aérea del edificio (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2ALCdOt>), (c) Daños en parte baja de columnas en fachada principal ??? (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (d) Fracturas en columnas de fachada principal (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (e) Daño en intersección de columna-piso en calle (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (f) Desprendimiento de acabados en muros divisorios de planta baja (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (g) Grietas en muros de mampostería en "X" (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (h) Desprendimientos de acabados en muros de mampostería de fachadas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (i) ???, (j) ???, (k) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería divisorios en interiores (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (l) Vista interior de los departamentos posterior al sismo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (m) Daños en marcos de ventanas y desprendimiento de acabados en muros de colindancia de mampostería (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (n) Daño en columna y circulación horizontal (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (o) Daños en cubo de circulación vertical (Escaleras), (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>), (p) ??? (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2AMP9mK>)



g)



h)



m)



n)



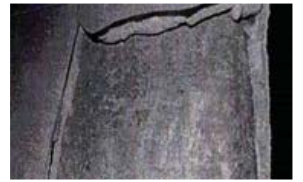
i)



j)



o)



p)



k)



l)

Figura A.14 Continuación.

Figura A.14 Continuación.

5. CUA-51      DS3- Daño alto

Ubicación:  
Chapultepec  
484, Roma

Año de  
construcción: 1979

Número de niveles: 9

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Planta baja débil  
3. Irregularidad  
en planta



Figura A.15. Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico . Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Av. Chapultepec 484, colonia Roma Norte, que fue construido para uso habitacional en 1979.

El inmueble cuenta con 9 niveles. En planta baja el uso de suelo era comercial. En planta el edificio adopta una forma de "L", el cual está estructurado por medio de marcos de concreto armado formados por columnas y trabes y como sistema de entrepiso, losa maciza. Cuenta con muros de mampostería en cubo de escaleras, colindancias y para dividir los espacios de los departamentos.

En la azotea se colocó una estructura metálica de un anuncio espectacular de considerables dimensiones. A raíz del sismo, sufrió graves daños graves en los muros de mampostería al grado de ocasionar fracturas y colapsos parciales en las colindancias e interiores, quedando remanentes que podían desprenderse hacia las edificaciones vecinas. La estructura del edificio es irregular y tuvo fuertes desplazamientos laterales y torsiones por la irregularidad.





a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)



k)



l)

Figura A 16. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada norte previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PfhomR>), (b) Vista aérea del edificio (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (c) Desprendimiento de acabados en muros interiores (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (d) Grietas en columnas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (e) Daños en columnas e interiores de departamentos (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (f) Desprendimiento de acabados de muros (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (g) Grietas de columnas en fachada norte (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (h) Desprendimiento hacia edificaciones vecinas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (i) Vista exterior de la torre después del sismo, desprendimiento hacia edificaciones vecinas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (j) Vista exterior de la torre después del sismo, desprendimiento hacia edificaciones vecinas (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (k) Daños en cubo de circulación vertical (escaleras) (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2PfhomR>), (l) Vista del edificio desde el exterior hacia la fachada poniente (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PfhomR>)

Figura A 16. Continuación



Figura A 17. Edificio deshabitado en espera de proyecto de reestructuración. Vista de fachada. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.



Figura A 18 Edificio en espera de proyecto de reestructuración. Acceso peatonal y vehicular. Fachada dañada en los acabados. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

6. CUA-52      DS3- Daño alto

Ubicación:  
Chapultepec  
Av. 511, Roma

Año de construcción:  
1970

Número de niveles: 6

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad  
en planta



Figura A 19 Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Chapultepec 511, colonia Juárez, que fue construido para uso habitacional en 1970 en suelo zona III. Cuenta con 6 niveles. La planta baja estaba destinada a uso comercial. Está estructurado a base de columnas y trabes de concreto, los muros son a base de mampostería y el sistema de entrepiso que utiliza es losa maciza. El edificio se encuentra fuera de verticalidad aproximadamente 40 cm hacia el nororiente. Se observaron desprendimientos de los acabados en colindancia nororiente. Además, de que se encuentra parcialmente recargado en el edificio contiguo.



Figura A 20 Fotografía donde se observa que el edificio está recargado en su colindancia. Fachada del edificio. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Figura A 21 Fotografía donde se observa el golpeteo que generó el sismo de 2017 entre el edificio de vivienda y su edificio vecino. Choque losa-entrepiso. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Anexo A



a)



b)

Figura A 22. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada suroriente previa al sismo (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RBAPMU>), (b) Vista aérea del edificio (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2RBAPMU>)

Anexo A

7. CUA-64      DS3- Daño alto

Ubicación:  
Citlaltepetl 45,  
Hipódromo Condesa

Año de construcción:  
Antes de 1985

Número de niveles: 6

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Irregularidad  
en planta  
4. Edificio en esquina



Figura A 23. Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico . Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Citlaltepec 45, colonia Hipódromo Condesa, que fue construido para uso habitacional y cambió el uso de suelo; ahora está destinado a uso mixto. Cuenta con 7 niveles. El edificio está estructurado a base de columnas de concreto armado y losas planas aligeradas. Después del sismo se observaron daños como fracturas y agrietamientos en columnas, dejando el acero expuesto con un exceso de pandeo, se apreció el refuerzo transversal formado por estribos con grandes separaciones y diámetro pequeño, lo que generó un escaso confinamiento. De igual manera los muros divisorios de mampostería presentaron fracturas en la mayoría de ellos.



Figura A 24. Acceso vehicular y peatonal. Edificio deshabitado en espera de proyecto de reestructuración. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019

Figura A 25 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada surponiente del edificio previa al sismo. (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Di7M-jW>), (b) Vista aérea del edificio. Planta regular en forma de "L" (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Di7MjW>), (c) Grietas en fachada del edificio (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2B35aFo>), (d) Daños en columnas de concreto que dejan expuesto el acero de refuerzo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2B35aFo>), (e) Daños en columnas de concreto armado (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2B35aFo>), (f) Grietas en diagonal en muros (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2B35aFo>)



a)



b)



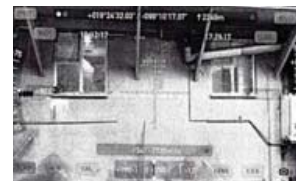
c)



d)



e)



f)

8. CUA-83      DS3- Daño alto

Ubicación:  
Dinamarca 39, Juárez

Año de construcción:  
Antes de 1985

Número de niveles: II

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Planta baja débil



Figura A 26. Estado del proceso de rehabilitación del edificio de vivienda. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.

Se trata de un inmueble con dirección Dinamarca 39, colonia Juárez que cuenta con 10 niveles sobre banqueta y un sótano. El uso de sótano y planta baja está destinado a estacionamiento y el resto del inmueble como uso habitacional. Cuenta con estructuración a base de columnas de concreto y losas planas aligeradas que funciona también como sistema de piso con muros diafragma de mampostería en algunas zonas y muros divisorios en los departamentos. Su cimentación es profunda.

No se encontraron afectaciones por humedad, salitre o fugas del sistema hidrosanitario, ni daños en la estructura principal, sin embargo se observaron agrietamientos diagonales en algunos de los muros divisorios de la mayoría de los niveles, así como también la caída de los repellados de la estructura principal y muros de mampostería.

Por una parte el edificio contaba con deformaciones laterales debido a una estructuración de planta baja flexible y al sistema de entrepiso a base de losas planas aligeradas.



Figura A 27. Edificio rehabilitado completamente y habitado. Estado a dos años y medio del evento sísmico. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Figura A 28. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AbaFA2>) , (b) Fachada oriente del edificio previa al sismo. (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AbaFA2>), (c) Daños en fachada y desprendimiento de acabados (Junio 2018) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2DT6VHF>), (d) Desprendimiento de repellado de estructura principal, (Junio 2018) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2DT6VHF>) , (e) Vista desde la calle con edificios vecinos. Deformaciones laterales. (Junio 2018) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2DT6VHF>) , (f) Daños en acabados y repellado de estructura principal (Junio 2018) (Imagen obtenida de <https://bit.ly/2DT6VHF>)



a)



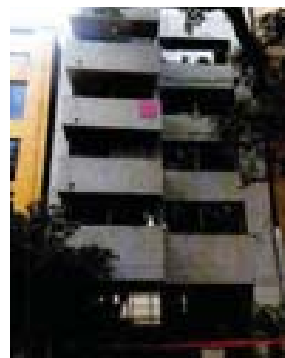
b)



c)



d)



e)



f)



9. CUA-93 DS4-Daño muy alto- Demolición

Ubicación: Dr. Lucio IO2, Doctores

Año de construcción: 1968

Número de niveles: 15

Irregularidades arquitectónico-estructurales:

1. Irregularidad en planta
2. Columa corta
3. Edificio en esquina



Figura A 29 Estado actual del edificio a dos años y medio del evento. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Doctor Rafael Lucio No. 102, colonia Doctores, que cuenta con 15 niveles sobre el nivel de piso. Dicha edificación está destinada a uso habitacional. Se encontró que el inmueble estaba desplomado 1.28 (17.2 cm) en el cuerpo norte y 3.28 (44.4 cm) en el cuerpo sur. Teniendo en cuenta que de conformidad con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones el desplomo permitido es de .7078 ó 9.76 cm, no cumplía con dicha normatividad.



a)



b)



c)

Figura A.31 Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada norponiente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DErqH5>), (b) Vista aérea de los edificios (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DEsLOz>), (c) Croquis de medición de desplomo (enero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2BrFBh7>)

Figura A.30. Edificio en trabajos de rehabilitación. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

IO. CUA-96 DS4-Daño muy  
alto- Demolición

Ubicación: Dr. Lucio  
IO3, Doctores

Año de construcción:  
1970

Número de niveles: 15

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:

1. Irregularidad  
en planta
2. Columna corta
3. Edificio en esquina



Figura A 39 Estado actual del  
edificio a dos años y medio del  
evento. Créditos fotográficos: Vania  
Catalán. Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Doctor Rafael Lucio 103 edificio A3 (Osa mayor), colonia Doctores, constituido por 2 torres de 15 niveles con uso habitacional, con irregularidad en planta en forma de "L", con junta de construcción en el cubo de escaleras. Su relación altura base es mayor a 5, con lo cual se considera una estructuración esbelta que propicia grandes desplazamientos y momentos de volteo elevados en su base.

La estructuración es a base de columnas y traves de concreto armado, con muros de rigidez del mismo material y muros de mampostería. Los dos cuerpos presentaron un desplomo superior al límite permisible establecido por el Reglamento de Construcciones (67 cm > 18 cm). Siendo visible el desplomo de cuerpo sur hacia el sur y el cuerpo norte hacia el norte, situación que generó importantes separaciones en el cubo de escaleras. Derivado del movimiento telúrico, se incrementó la pérdida de verticalidad, además de ocasionar daños severos en muros de mampostería, con el riesgo de caídos hacia la vía pública.

La cimentación excedió la capacidad de carga en los pilotes de fricción bajo los muros de rigidez, generando una rotación en el cajón de cimentación, ocasionando levantamientos del cajón respecto del nivel de banqueta y fracturas en extremos de los muros de rigidez con varillas expuestas. El número de personas desalojadas en dicho edificio fue de aproximadamente 225.

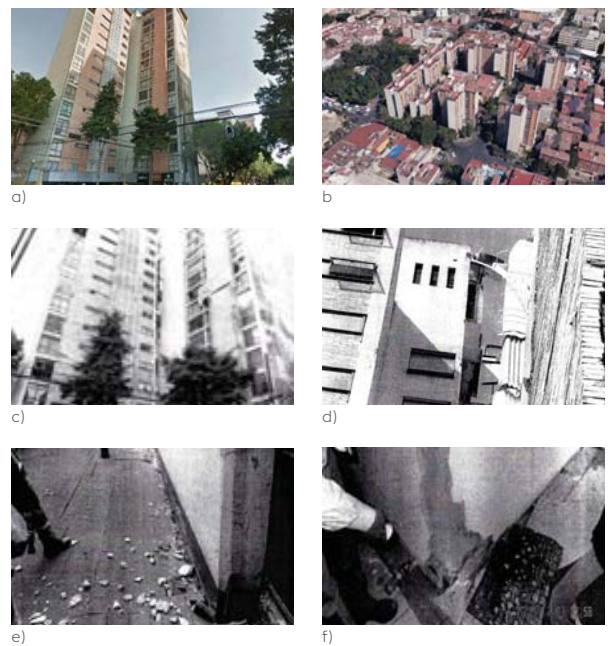


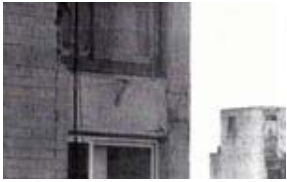
Figura A 33. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada suroriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TzsthO>), (b) Vista aérea de los edificios (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TzsthO>), (c) Fachada suroriente posterior al sismo (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (d) Pérdida de verticalidad en el edificio (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (e) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería, que generan caídos hacia la vía pública (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (f) Fracturas en extremos de muros de rigidez, dejando expuestas las varillas (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (g) Fractura en muro de rigidez que deja expuestas las varillas (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (h) Detalle de las varillas expuestas en los muros de rigidez (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (i) Daños en muros de mampostería que generan caídos en vía pública (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (j) Grietas en forma de "X" en muros de rigidez (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (k) Grietas en forma de "X" en muros de mampostería (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>), (l) Fisuras en muros de rigidez (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KtTNck>)



g)



h)



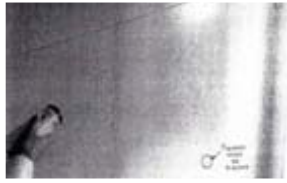
i)



j)



k)



l)

Figura A 33. Continuación

Figura A 34. Estado de os muros de los edificios después del evento sísmico de 2017. Créditos fotográficos: Lucia Vergara. Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3ej6QfA>



II. CUA-II3 DS4 - Daño muy alto - Demolición

Ubicación:  
Florencia 60

Año de construcción:  
1970

Número de niveles: 14

Irregularidades arquitectónico-estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Irregularidad en planta



Figura A 35 Estado actual del edificio a dos años y medio del evento. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Florencia 60, colonia Juárez, construido a principios de la década de los 70's. El edificio constaba de planta baja y doce niveles sobre el nivel de banqueta, aloja las denominadas "suites florencia", constituida por 44 departamentos. Sobre la azotea se encontraba el cuarto de máquinas del elevador. La planta baja era a doble altura y alojaba la recepción, lobby y un local comercial. La edificación contaba con un estacionamiento en sótano.

La edificación era irregular en planta ya que adoptaba la forma de una "H" y no cumplía las condiciones de regularidad que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. La estructuración era a base de marcos rígidos de concreto reforzado, formado por columnas y trabes de sección rectangular, el sistema de entrepiso para los niveles superiores y hasta el nivel de azotea era una losa plana nervada y en el nivel sótano una losa nervada con vigueta y bovedilla. Los muros divisorios eran de block hueco comprimido sin contar con refuerzo en su interior y en las colindancias eran muros son tipo diafragma adosados a los elementos estructurales. Las rampas de las escaleras de servicio eran losas de concreto armado. El cajón de cimentación estaba constituido por muros perimetrales de contención de concreto armado y una losa de fondo, el cual considerando la zonificación geotécnica en que se desplanta el edificio, zona lacustre, se infirió que estaba apoyado en pilotes de fricción.

Como consecuencia del terremoto y por la irregularidad de la estructura, presentó grandes desplazamientos y distorsiones de entrepiso, lo que ocasionó severos esfuerzos de torsión en los elementos estructurales, ocasionando que los muros de los primeros seis niveles presentaran fallas por cortante, con grietas diagonales en forma de "X" y con aberturas de más de 5 mm, que generaron severos desprendimientos de acabados y el riesgo de colapso de dichos muros al desligarse de la estructura. En la zona de las escaleras hubo ruptura y grietas en la conexión de la rampa con las nervaduras. En muros del cubo del elevador se encontraron fallas por cortante y desprendimientos de bloques de los muros. En las uniones de las columnas y trabes se apreciaron grietas diagonales, síntomas de grandes esfuerzos en estos elementos, de los cuales algunas trabes acusaron fuertes desconchamientos de concreto dejando ver el acero longitudinal y estribos con severas deformaciones y en algunas columnas se apreciaron grietas a 45° con exposición del acero vertical y de los estribos. En los niveles superiores se observaron las mismas fallas y en los mismos sitios pero con las diferencias que eran menos severas. En general en todos los niveles había una pronunciada inclinación, señal de la pérdida de verticalidad de la estructura.

Aunado a lo anterior la edificación se encontraba abandonada y no había sido reforzada, situación que se veía agravada por la falta de recursos de los propietarios para reparar los daños del inmueble, por lo cual quedaría en una situación

de inestabilidad estructural por tiempo indefinido, generando la degradación y el deterioro de los materiales y de los elementos estructurales que conformaban el inmueble, llevándolo a un estado de inestabilidad crítica.

Debido a los daños que presentaron los elementos estructurales, a la irregularidad en planta de la estructura, así como planta baja flexible, 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. Para una posible remodelación o demolición del inmueble se sugirió proceder de la siguiente manera:

1. Realizar un estudio de mecánica de suelos, estudio de verticalidad y revisión de la estructura con las nueva normas técnicas complementarias, relacionado con el concreto y factores de seguridad, hacer pruebas de laboratorio de los elementos estructurales.

2. Era un inmueble de alto riesgo por las fallas estructurales observadas, por lo que era más viable que procediera la demolición.

Finalmente el edificio se encuentra actualmente en espera de su reconstrucción.

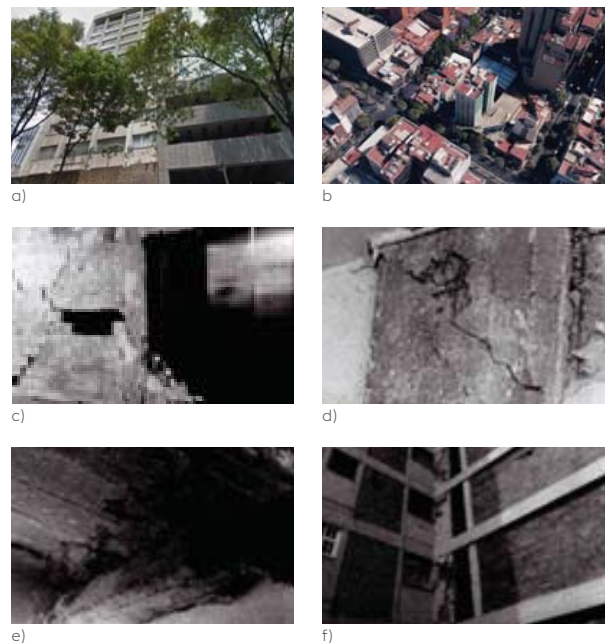


Figura A 36. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Fachada sur del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OZOMe5>), (b) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OZOMe5>), (c) Muros sin refuerzo vertical ni horizontal. Daños en mampostería y grietas en "X" (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Au85p9>), (d) Columna con escaso refuerzo por tensión diagonal (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Au85p9>), (e) Concreto mal vibrado (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Au85p9>), (f) Falla de columna a lo largo de todo el edificio. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Au85p9>)



12. BEJ-121

DS4 - Daño  
muy alto -  
Demolición

Ubicación: Gabriel  
Mancera 33, Del Valle

Año de construcción:  
1970

Número de niveles: 13

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad  
en planta



Figura A 37 Edificio en proceso de  
demolición. Créditos fotográficos:  
Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Gabriel Mancera 33, colonia Del Valle Norte. Constaba de sótano y planta baja para uso de estacionamiento y II niveles más destinados a uso habitacional. El edificio estaba estructurado a base de columnas de concreto armado y losas planas aligeradas con muros diafragma de mampostería en algunas zonas. Se infirió que su cimentación era profunda. Ubicado en los límites entre la zona geotécnica II de transición y III de lago, de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, por encontrarse en los límites de la zona III, pertenece al grupo BI según la clasificación del artículo 139 del Reglamento. La estructura de la edificación sufrió afectaciones en sus elementos principales, se observaron fisuras en columnas, de igual manera los muros diafragma y divisorios de mampostería mostraron desplomes, fractura y agrietamientos por cortante, esta avería se presentó principalmente en los primeros 6 niveles y en gran parte de las plantas también se tenían desprendimientos de aplanados en fachada. El edificio mostró un desplomo significativo hacia su costado norte que correspondía al .88. La edificación contaba con un apuntalamiento deficiente.

Los daños referidos fueron atribuibles a las grandes deformaciones laterales debido a que presentaba una estructuración de planta baja flexible y de forma geométrica irregular, y al sistema de entrepiso a base de losa plana, por lo que se sugirió que se revisaran numéricamente sus desplazamientos laterales ante cargas sísmicas mediante un análisis estructural, con el fin de corroborar que estuvieran dentro de los límites permisibles por el RCDF-17. Además, hacer las reparaciones correspondientes a los muros de mampostería, realizar un apuntalamiento de las escaleras mediante un marco con polines para dar seguridad durante el periodo de reparación.

En el predio colindante, lado poniente se estaban realizando obras para la construcción de un complejo de 49 viviendas, lo cual ocasionó que la empresa constructora solicitara la demolición del muro colindante, por el riesgo que este representaba sobre todo a las excavaciones que se estaban llevando a cabo.

Posteriormente a la revisión estructural ocular y física del inmueble se llegó a la conclusión de que debía demolerse en su totalidad.



Figura A 38. Edificio considerado para demolición: (a) Fachada sur y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2R6tOp8>), (b) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Re3hv2>), (c) Daños en muros diafragma de cubo de escaleras (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (d) Fisuras en elementos estructurales (columnas) (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (e) Fisuras en losa aligerada (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (f) Calas en traves para determinar profundidad de fisuras y determinar si se había provocado daño en ellas (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (g) Desprendimiento de acabados en muros (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (h) Falla en muros de mampostería ??? (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (i) Grietas en muros diafragma (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (j) Daños en elementos estructurales principales (columnas) (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (k) Grietas en muros diafragma en forma diagonal (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (l) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería y grietas en "X" (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (m) Grietas en "X" de muros diafragma y desprendimiento de acabados (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (n) Separación de la columna del muro diafragma (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (o) Daños en sistema de entrepiso y muros divisorios de mampostería y desprendimiento de acabados. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (p) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería y grietas en muro. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (q) Grietas en muros diafragma (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (r) Daños y grietas en columnas. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (s) Derrumbes parciales en planta baja (febrero 2018). (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (t) Vista de fachada oriente después el evento sísmico. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (u) Separación de elementos estructurales (columnas) (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (v) Derrumbes parciales en planta de estacionamiento. Daños en muros de colindancia. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (w) Grietas en diagonal en muros de mampostería de colindancia. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (x) Fisuras en traves de concreto reforzado. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (y) Grietas en muros de mampostería de fachada en "X". (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>), (z) Vista de fachada principal después del sismo. Desprendimiento de acabados, daños en traves y cubo de escaleras. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHvUzr>)

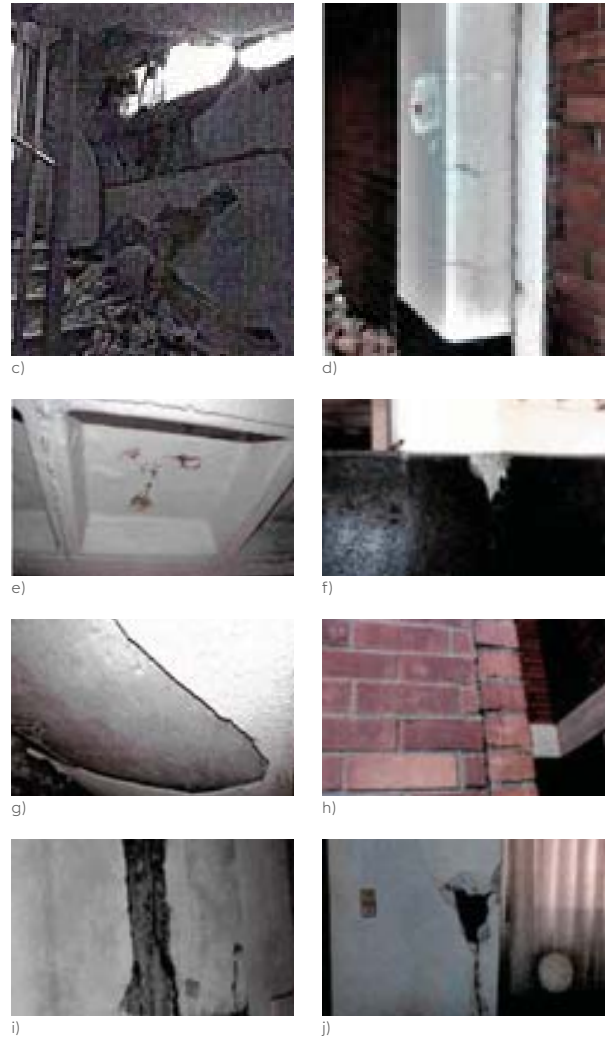


Figura A 38. Continuación



k)



l)



m)



n)



o)



p)



q)



r)

Figura A 38. Continuación



s)



t)



u)



v)



w)



x)



y)



z)

Figura A 38. Continuación

13. BEJ-122 DS4 - Daño muy alto - Demolición

Ubicación: Galicia 253, Álamos

Año de construcción: 1970

Número de niveles: 9

Irregularidades arquitectónico-estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad en planta

Figura A 39 Proceso de demolición del edificio. Créditos fotográficos: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y PC. Enero de 2018. Imagen obtenida de: <https://bit.ly/3b7Bd6r>



Se trata de un inmueble con dirección Galicia 253, colonia Álamos. Contaba con 8 niveles destinado a uso habitacional, con planta baja para estacionamiento.

Estaba estructurado por marcos de concreto reforzado formados por columnas y losas planas como sistemas de entrepiso, así como muros de mampostería en colindancias, en cubos de escaleras y elevadores, así como en interiores de departamentos. La cimentación se estimó que era un cajón de concreto reforzado apoyado en pilotes de punta, llegando a la primera capa dura. Se localiza en la zona III, zona lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles.

De acuerdo a la revisión de la estructura, el edificio acusó una emersión de 70 cm, que rebasó el límite permitido por el Reglamento de Construcciones vigente en la CDMX (30 cm), lo que le originó un desplomo en dirección norte de 18 cm que de igual forma sobrepasaba el límite permisible en el RCDF (12.5 cm), que generó la disminución de la junta de construcción y el contacto en la parte superior con el edificio colindante al norte (edificio de 6 niveles ubicado en Galicia 245)

A raíz del terremoto el edificio sufrió golpeteo con el edificio colindante al norte, dañándose localmente los elementos estructurales como columnas y muros de colindancia en dicha zona. Asimismo, al interior de la edificación, se apreció que los muros de niveles inferiores presentaban grietas diagonales y en algunos casos fracturas. Existía gran cantidad de desprendimientos de acabados de yeso y otros recubrimientos en zona de baños y cocinas (azulejos). Los elementos de confinamiento (castillos) de dichos muros presentaban fracturas dejando el acero expuesto, lo que dejó de manifiesto que la estructura era muy flexible ante acciones horizontales, ya que carecía de elementos de rigidez ante las acciones sísmicas. Como resultado de la emersión adicionaron tres escalones en la banqueta para mejorar el acceso de los usuarios al edificio, los cuales presentaron fracturas, dislocamiento de las piezas y agrietamientos de los firmes de concreto de las banquetas.

Dicha edificación fue considerada de alto riesgo de colapso, por lo que no se habitó y se destinó a demolerse.



a)



b)



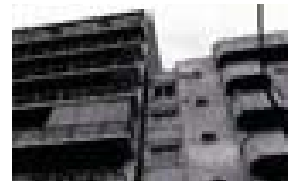
c)



d)



e)



f)



g)



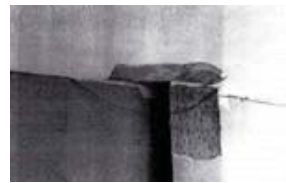
h)



i)



j)



k)



l)

Figura A 40. Edificio considerado para demolición: (a) Fachada oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PTW9HM>), (b) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Q2EU0>), (c) Fachada oriente del edificio después del sismo (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (d) Daños en escalones y rampas (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (e) Fracturas, dislocamientos de las piezas y agrietamiento de los firmes en escalones de acceso al edificio por emersión (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (f) Desplomo en dirección norte de 18 cm, que generó la disminución de la junta de construcción y el contacto en la parte superior con el edificio colindante al norte (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (g) Desprendimiento de acabados interiores y grietas en muros, (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (h) Daños en elementos estructurales (columnas y traveses) de fachada (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (i) Desprendimientos severos de acabados y yeso en muros (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (j) grietas en diagonal en muros y daños en estructura principal (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (k) Desprendimiento de acabados en traveses y columnas y grietas en diagonal en muros (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (l) Desprendimiento de acabados en interiores de departamentos (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (m) Desprendimiento de acabados de yeso en muros interiores de mampostería (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (n) Grietas en columnas (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (o) Agrietamiento del firme de concreto en piso, desprendimiento de azulejos (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (p) Grietas y desprendimiento de acabados en columnas de concreto (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (q) Grietas en "X" en muros de mampostería en cubo de escaleras (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>), (r) Fachada interior del edificio después del sismo, daño en muros de mampostería, grietas y desprendimiento de acabados de yeso. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DVjFOp>)

Figura A 40. Continuación



m)



n)



o)



p)



q)



r)

Figura A 4Q. Continuación

Figura A 4I. Edificio demolido. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Febrero de 2019.





14. BEJ-134 DS3- Daño alto

Ubicación: Heriberto Frías 1301, Del Valle

Año de construcción: 1968

Número de niveles: 9

Irregularidades arquitectónico-estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Irregularidad en planta  
3. Columna corta  
4. Edificio en esquina



Figura A 42. Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Heriberto Frías 1301, colonia Del Valle sur. Es un edificio de 8 niveles de aproximadamente 50 años. Tiene uso habitacional en los niveles superiores, uso comercial en planta baja y estacionamiento en sótano. Tiene forma de "L" en planta y se encuentra en una esquina de manzana, por lo que es irregular.

Está estructurado a base de marcos de concreto formados por columnas y losa plana, la cual constituye el sistema de entrepiso, cuenta con muros diafragma y muros de carga de mampostería de tabique cemento-arena. Las escaleras de servicio son de concreto y se encuentran adosadas a muros y losas. Se infirió que la cimentación consiste en un cajón de concreto reforzado.

El dictamen menciona que la inspección visual al interior no se permitió, que tenía tapias en las áreas comerciales, y los accesos estaban cercados por una línea de protección civil de la delegación.

El inmueble ha presentado un mantenimiento aceptable a lo largo de su historia, sin embargo se observó que había sufrido asentamientos diferenciales por lo cual el edificio presentaba un desplomo hacia el nororiente. A raíz del sismo se observaron daños en los muros de las fachadas, los cuales presentaron grietas, fisuras, caída de acabados, así como pérdida de piezas, vidrios rotos y cancelles dañados. En cerramientos, columnas y muros de concreto se apreciaron fisuras, grietas de 2 a 4 mm, desconchamiento, exposición del armado, en algunos casos se apreciaron estribos con separaciones mayores a 50 cm. En las banquetas se observaron grietas. Es probable que el desplomo incrementó después del movimiento telúrico. Además, se observó que las separaciones en las juntas de colindancias eran escasas, por lo que se generó golpeteo.

La estructura es de planta baja flexible por lo que se recomendó la revisión numérica de los desplazamientos laterales ante carga sísmica para verificar que no excedieran los límites reglamentarios vigentes.

Por lo anterior el edificio se consideró de alto riesgo para los inquilinos.

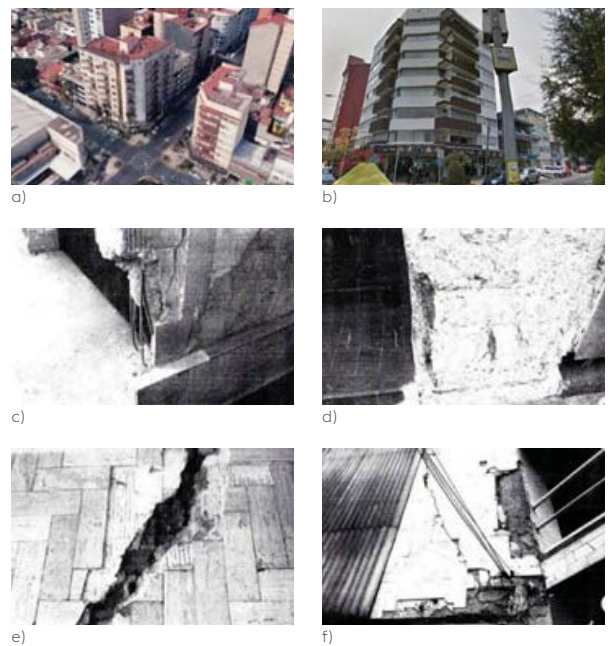


Figura A 43. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2Kze2W9>), (b) Fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2R19e9L>), (c) Colapso de columnas de planta baja debido al deficiente confinamiento del núcleo de concreto en su base (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (d) Exposición del armado en columnas de concreto (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (e) Grietas en pisos (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (f) Grietas en muros y desprendimiento de acabados dejando expuesto el acero de refuerzo (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (g) Fisuras en columnas de concreto (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (h) Desprendimiento de acabados en fachada (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (i) Desconchamiento de concreto dejando expuesto el acero de refuerzo en traves y muros (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (j) Grietas en muros de mampostería y desprendimiento de acabados de yeso (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>), (k) Fachada norte después del sismo (Abril 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RgIjvs>)



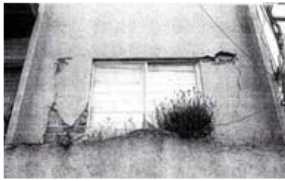
g)



h)



i)



j)



k)

Figura A 43. Continuación

Figura A 44. Estado actual de los accesos peatonal y vehicular al edificio. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.



15. CUA-192 DS3- Daño alto

Ubicación: Liverpool 47, Juárez

Año de construcción: 1980

Número de niveles: 10

Irregularidades arquitectónico-estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad en planta
4. Columna corta
5. Edificio en esquina



Figura A 45. Estado del edificio a dos años y medio del evento sísmico . Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

Se trata de un inmueble con dirección Liverpool 47, colonia Juárez. El edificio cuenta con 9 niveles destinado a uso habitacional, con aproximadamente 38 años de antigüedad.

El edificio es irregular en planta y está estructurado mediante marcos rígidos de concreto armado de columnas y losa plana aligerada con casetones, cuenta con muros de mampostería de block hueco sin refuerzos horizontales y escasamente cuenta con algunos verticales. La cimentación es de cajón de concreto que era usado como estacionamiento. En planta baja cuenta con vanos para acceso al estacionamiento y a los departamentos, por lo que el edificio es de planta baja flexible.

La inspección visual se realizó únicamente en planta baja, el sótano y por el exterior de acuerdo a la decisión de los ocupantes.

La edificación presentó falta de mantenimiento, por lo que existieron daños severos previos al sismo, tales como: humedad, desconchamientos en traveses de sótano por causa de la humedad ya que el cajón carecía de un sistema de impermeabilización. A raíz del terremoto una columna del lado sur falló, presentando varillas que perdieron continuidad y otras flexionadas, los estribos también fallaron. Además, presentó daño estructural en un nodo entre columna y trabe que se encontraba en la rampa de acceso al estacionamiento de planta baja en la colindancia sur con lo que su resistencia se vio afectada; también, se presentaron daños en muros y recubrimientos a tal grado que urgía reforzar los primeros y eliminar los segundos. En los recubrimientos de fachadas se apreciaron caídos. El inmueble presentó asentamientos diferenciales, inclinaciones notorias que probablemente se incrementaron con el sismo.

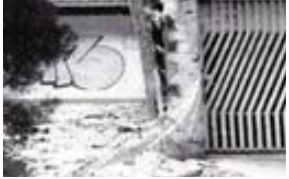
Por contar con planta baja flexible y por ser irregular en planta, se recomendó que se realizara un análisis numérico de la estructura para verificar que los desplazamientos laterales ante carga sísmica se encontraban por debajo de los valores del reglamento vigente.

Acorde a lo anterior se consideró al edificio de alto riesgo, por lo que no pudo ser habitado por sus ocupantes y se sugirió que se rehabilitara con un proyecto de reforzamiento y verticalización.

Actualmente aún no inician los trabajos de rehabilitación.



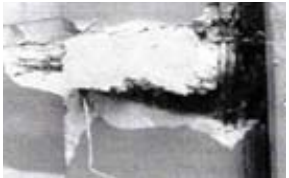
Figura A 46. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FJfiaA>), (b) Fachada oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AsWK8w>), (c) Grietas en muros de fachada y daños por humedad. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (d) Grietas por humedad en muros de fachada (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (e) Pérdida de verticalidad del edificio, en el extremo superior se toca con el edificio colindante en la junta constructiva. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (f) Grietas en muros de mampostería y daños en columnas (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (g) Fallo de columna que dejó el acero expuesto con las varillas flexionadas. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (h) Vista de varillas flexionadas y que perdieron continuidad. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (i) Grietas en muro de block y daño estructural en un nodo entre columna y trabe en la zona de rampa. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (j) Desprendimiento de acabados en muros de block (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>), (k) Daños en sótano y casetones de losa aligerada. (febrero 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OYQCdz>)



e)



f)



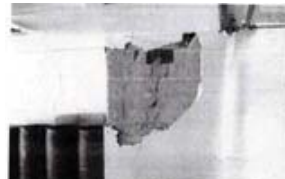
g)



h)



i)



j)



k)

Figura A 46. Continuación

Figura A 47. Estado de las fachadas a un año y medio del evento. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.



16. BEJ-215 DS4- Daño muy alto- Demolición

Ubicación: Manuel Rincón 142, Pedro Ma. Anaya

Año de construcción: 1967

Número de niveles: 5

Irregularidades arquitectónico-estructurales:  
1. Planta baja débil  
2. Irregularidad en planta



Figura A 48. Trabajos de demolición del edificio. Créditos fotográficos: Secretaría de Obras y servicios. Marzo de 2018. Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2VpMnNo>

Se trataba de un inmueble con dirección General Manuel Rincón 142, col. General Pedro María Anaya que data del año 1967, aproximadamente. Contaba con 2 edificios, los cuales no se encontraban ligados en la estructura superior sólo ligados por la cimentación, cada edificio constaba de 6 niveles, el primer nivel (planta baja) era para estacionamiento, del segundo al quinto nivel eran departamentos, en el sexto nivel se encontraban los cuartos de servicio.

La estructura estaba compuesta a base de columnas de concreto reforzado, trabes de concreto reforzado, las losas estaban constituidas aparentemente con un sistema de tridilosa que presentaba evidencia de fisuras y deflexiones, y en cuanto a los muros divisorios interiores presentaban daño de importancia principalmente en el nivel superior a la planta baja o sea el nivel 1, igual grado nivel 2 y menor daño en el nivel 3, y aparente sin daño del nivel 4 al 6 ni en el tanque de almacenamiento correspondiente al nivel 7, la cimentación era a base de zapatas aisladas de concreto armado con sección de 30 x 30 cm de las cuales se desconoció su armado y su recubrimiento sin embargo no presentaban daños de importancia, pero sí presentaban evidencia de falla que se debería atender en adelante.

Los principales daños en la estructura se observaron en columnas, en el segundo nivel de ambos edificios se observaron columnas fracturadas, y en el segundo y tercer nivel se observaron columnas con agrietamiento diagonal y vertical, en la planta baja se observaron fisuras diagonales en las columnas, además se observó fractura en la junta de la losa con la trabe y columna de esquina trasera de cada una de los

edificios, también las losas presentaron deflexiones y fisuras en todos los niveles, incrementándose la deflexión en los niveles inferiores y en el claro de mayor longitud, se observó mala calidad del concreto (concreto pobre) ya que en algunas zonas el material se disgregaba al contacto. Este daño se presentó debido inicialmente al grado y características del sismo del 19 de septiembre de grado 7.1 en la escala de Richter y a que en cada nivel los propietarios realizaron modificaciones y estas al ser diversas generaron un comportamiento irregular ante las acciones sísmicas, por lo que se debía estudiar minuciosamente mediante un proyecto de reestructuración para poder reutilizar y hacer seguros los inmuebles de acuerdo a las nuevas normatividades y reglamento vigente en la Ciudad de México. La estructura del edificio era de planta baja débil y debido a los daños observados el edificio permaneció desalojado.

Esta edificación pertenecía al subgrupo B2. El tipo de suelo estaba clasificado como de compresibilidad en una especificación de capacidad de carga cercana a 5.0 ton/m<sup>2</sup> con presencia de niveles freáticos a 2.0 m de profundidad. Había evidencia de hundimiento en los ejes de la zona de escaleras y circulación interior.

Se presentaron daños de importancia en muros divisorios internos, desprendimiento general de recubrimientos, grietas con desprendimiento de partes de la mampostería, daño en los niveles 1, 2 y 3 de las rampas de las escaleras, en columnas en el área central de los edificios principalmente en los niveles 1, 2 y 3, deflexión en losas de claro mayor del sistema de tridilosa.

Finalmente el edificio se solucionó vía demolición.

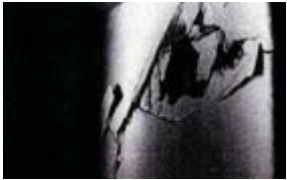




k)



l)



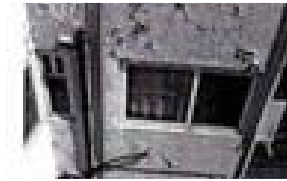
m)



n)



o)



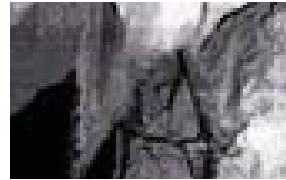
p)



s)



t)



u)



v)



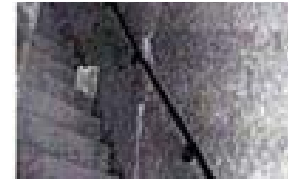
w)



x)



y)



z)

Figura A 49. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2FHfdUP>), (b) Fachada poniente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2SbZEWd>), (c) Columnas fracturadas en la parte superior dejando expuesto el acero de refuerzo (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (d) Fachada poniente del edificio después del sismo. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (e) Apuntalamiento de losa de primer nivel con sección 4" x 4" a cada 1.20 m aproximadamente. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (f) Daños por humedad y desprendimiento de acabados en fachadas. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (g) Apuntalamiento al interior de los departamentos de losa tridimensional con polines de madera de 4" x 4" (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (h) Mala calidad de concreto en columnas, disgregación del elemento al contacto. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (i) Columna fracturada dejando expuesto el acero de refuerzo que perdió verticalidad. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (j) Desprendimiento de acabados y derrumbes parciales en muros de celosía interior. Daño en columna y pérdida de verticalidad. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (k) Desprendimiento considerable de acabados en fachadas, grietas en muros de mampostería. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (l) Grietas en trabe en "X" y apuntalamiento de la misma a través de polines de madera. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (m) Daños en losa y desprendimiento de acabados. Deflexión en losa. Apuntalamiento de losa tridimensional. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>), (n) Grietas en muros de cubo de escaleras y circulaciones verticales. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PYsCfS>)

Figura A 49. Continuación

## 17. CUA-241 DS3- Daño alto

Ubicación: Monterrey  
275, Roma

Año de construcción:  
Antes de 1985

Número de niveles: 7

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Irregularidad  
en planta  
3. Edificio en esquina



Figura A 50. Edificio deshabitado en espera de solución por parte del gobierno de la CDMX. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.

Se trataba de un inmueble con dirección Eje 2 Poniente Monterrey 275, colonia Roma Sur; el cual constaba de 9 niveles para uso habitacional, en planta baja se alojaba el acceso y el estacionamiento. Estaba estructurado por columnas que recibían un sistema de piso a base de losas macizas. Contaba con muros de mampostería en cubo de escaleras, colindancias y para dividir los espacios de los departamentos. La edificación a raíz del evento sísmico, sufrió daños en los muros de mampostería al grado de ocasionar grietas y colapsos parciales en las colindancias principalmente en los 3 primeros niveles, quedando remanentes que podían desprenderse hacia las vías de circulación, también en la planta baja se observó que los muros de relleno se separaron de la losa. Asimismo, en estos niveles se detectó al menos una columna con falla por cortante. Por dichas anomalías, los tres primeros niveles se apuntalaron. Se sugirió que el edificio fuera evaluado por un especialista en estructuras para su reforzamiento. Cuando se realizó esta inspección visual, se estaban llevando a cabo las reparaciones en donde se detectó que al menos una columna en el 2° nivel estaba encamisada con soleras de acero.

El edificio correspondía al subgrupo BI y estaba considerado en riesgo alto, por lo que debía ser rehabilitado mediante un proyecto de reforzamiento avalado por un Corresponsable en Seguridad Estructural.

Finalmente el edificio se destinó a demolición.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)

Figura A 51. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2PIBfBb>), (b) Fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2P5RahB>), (c) Fachada norte y oriente posterior al sismo. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>), (d) Apuntalamiento interior de losa maciza. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>), (e) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>), (f) Derrumbes parciales de muros de mampostería divisorios en departamentos. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>), (g) Apuntalamiento interior de losas. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>), (h) Encamisado de acero en columnas de concreto, apuntalamiento de losas, derrumbes parciales de muros de mampostería divisorios. (diciembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KBIHDj>)

Figura A 52. Edificio demolido en espera de ser reconstruido. Créditos fotográficos: Vania Catalán. Marzo de 2020.



18. CUA-243 DS3- Daño alto

Ubicación: Morelia IO7, Roma

Año de construcción: 1980

Número de niveles: 10

Irregularidades arquitectónico-estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad en planta
4. Columna corta
5. Edificio en esquina

Figura A 53. Edificio en proceso de rehabilitación. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.



Se trata de un inmueble con dirección Morelia IO7, col. Roma Norte. El edificio consta de 9 niveles, con uso habitacional. Estaba estructurado a base de marcos de concreto reforzado, con un sistema de piso a base de losa plana de concreto y contaba con muros no estructurales de mampostería tanto en fachadas como en interiores. Se observaron elementos estructurales principales como son las columnas con agrietamientos, además de daños en los muros de mampostería interiores y de fachadas, en algunos casos con colapso parcial. Conforme a lo descrito, la estructura de la edificación se consideró en alto riesgo, y solo podía ser ocupado una vez que sea rehabilitado de acuerdo con proyecto estructural de reforzamiento avalado por un Corresponsable en Seguridad Estructural. Actualmente el edificio ya se encuentra rehabilitado y en uso.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)

Figura A 54. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RhlyHU>), (b) fachada norte y oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2zulufO>), (c) Desprendimiento de acabados en muros divisorios de mampostería, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>), (d) Fachada norte después del sismo con daños severos de grietas y fisuras en muros de mampostería y desprendimiento de acabados, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>), (e) Grietas en "X" en muros de mampostería en fachada, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>), (f) Desprendimiento de acabados en fachada y grietas en muros de mampostería, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>), (g) Desprendimiento de acabados en muros de mampostería de fachada, fisuras en columnas y traves de estructura principal, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>), (h) Vista de fachada con desprendimiento de acabados y fisuras en columnas y traves desde calle, (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2TQuwOe>)



Figura A 55. Edificio rehabilitado y habitado. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Marzo de 2020.

19. BEJ-252 DS3- Daño alto

Ubicación: Nevado 69, Portales

Año de construcción: 1984

Número de niveles: 9

Irregularidades arquitectónico-estructurales:  
1. Planta baja débil  
2. Irregularidad en planta  
3. Edificio en esquina

Figura A 56. Edificio deshabitado en espera de solución por parte del gobierno de la CDMX. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.



Se trata de un inmueble con dirección Nevado 69, colonia Portales. Está conformado por 9 niveles sobre el nivel de banquetta destinado a uso habitacional, el edificio está estructurado a base de marcos de columnas de concreto reforzado y losas planas aligeradas, con muros diafragma en algunas zonas. Es probable que la edificación cuente con una cimentación profunda.

La edificación a raíz de los fenómenos sísmicos recientes, sufrió daños en su estructura principal encontrando grietas por cortante en columnas de planta baja, así también se reportaron daños en los muros del cubo de escaleras en la mayoría de sus niveles, de igual manera la mayoría de sus muros diafragma y divisorios de mampostería mostró agrietamientos por cortante. Los daños referidos fueron atribuibles a grandes deformaciones laterales debidos a una estructuración de planta baja flexible y al sistema de piso a base de losa plana, por lo que debían revisarse sus desplazamientos laterales ante cargas sísmicas, con el fin de corroborar que se encontraran dentro de los límites permisibles por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente.

Conforme a los descrito, se consideró que el edificio se encontraba en alto riesgo, por lo que se solicitó a sus habitantes desalojar hasta que fuera sometido a un proyecto de rigidización y reforzamiento estructural avalado por un Corresponsable en Seguridad Estructural.



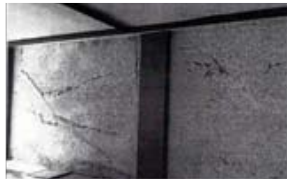
a)



b)



c)



d)



e)



f)



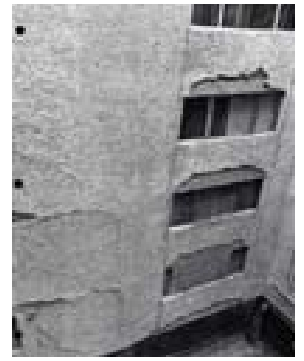
g)



h)



i)



j)

Figura A 57. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DYEpEE>), (b) Fachada sur y poniente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2QjV9vW>), (c) Fachada sur y poniente posterior al sismo (Noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (d) Fisuras en muros divisorios y desprendimiento de acabados (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (e) Desprendimiento de acabados al interior de los departamentos y grietas en muros diafragma (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (f) Grietas en "X" en muros diafragma y desprendimiento de acabados. (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (g) Detalle de fisuras en columnas planta baja. (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (h) Fisuras en muros divisorios en departamentos. (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (i) Desprendimiento de acabados y agrietamiento de muros diafragma por cortante. ??? (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>), (j) Desprendimiento de acabados en muros. (noviembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ByTpqa>)

Figura A 57. Continuación

20. BEJ-252 DS4-Daño  
muy alto  
-Demolición

Ubicación: Paseo  
del Río 10, Paseos  
de Churubusco

Año de  
construcción: 1981

Número de niveles: 9

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:

1. Golpeteo
2. Planta baja débil
3. Irregularidad  
en elevación
4. Irregularidad  
en planta
5. Columna corta

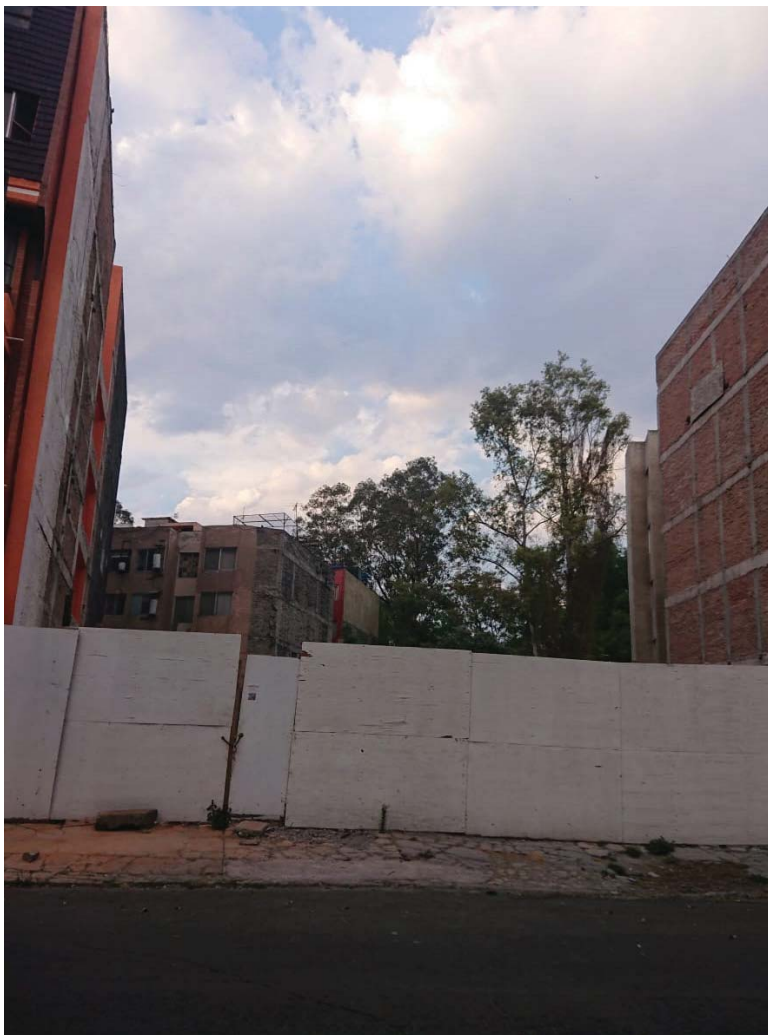


Figura A 58. Edificio demolido.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán,  
Febrero de 2019.

Se trataba de un inmueble con dirección Paseos del Río 10, col. Paseos de Taxqueña. El edificio constaba de 10 niveles con cuartos de servicio en azotea, con uso habitacional y 3 sótanos.

Estaba estructurado a base de marcos de concreto armado y losas planas como sistemas de piso, cuenta con muros de mampostería en colindancias

La edificación a raíz del terremoto presentó una severa falla en su cimentación la cual ocasionó un asentamiento diferencial provocando una fuerte inclinación de la estructura hacia la colindancia oriente de 3 $\%$ , generando que se recargara en el edificio vecino de cinco niveles induciéndole fuerzas laterales que podían generar inestabilidad. También, se observaron algunas grietas en columnas del 3er y 4to nivel. Se observaron daños severos en los elementos arquitectónicos de la fachada principal.

De la evaluación postsísmica realizada al inmueble, se detectó que el edificio presentó un desplomo hacia la colindancia oriente de 71 cm, por lo que no cumplía con las Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones, en donde menciona que el estado máximo de desplomo es de 13.88 cm. Rebasaba claramente el estado límite de servicio.

Conforme a lo descrito, la estructura del edificio se consideró en alto riesgo de colapso, por lo que no podía ser ocupado en razón de que por las condiciones de inestabilidad que presenta dicho inmueble, ponía en riesgo la vida de los ocupantes, vecinos, peatones y automovilistas.

Finalmente el edificio se destinó a demolición.





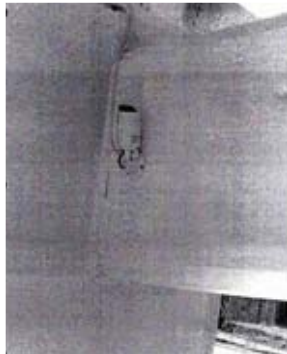
a)



b)



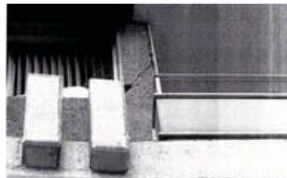
c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

Figura A 59. Continuación.

Figura A 59. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2QOWpot>), (b) Fachada sur y poniente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DM51kv>), (c) Vista de fachada y desplomo de edificio hacia colindancia oriente (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (d) Fallo columna-trabe, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (e) Fisuras en fachada y daños en columnas. Desprendimiento de acabados en fachada, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (f) Grietas en diagonal en columna y desprendimiento de acabados en fachada, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (g) Columna de sótano con desprendimiento de recubrimiento ocasionada por humedades, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (h) Losa de planta baja presenta desprendimiento en recubrimiento de concreto por la presencia de humedades, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (i) Detalle de desplomo de edificio hacia colindancia oriente, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>), (j) Vista de fachada del edificio posterior al sismo, (octubre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RiShwj>),

21. BEJ-276 DS4-Daño  
muy alto  
-Demolición

Ubicación: Patricio  
Sanz 612, Del Valle

Año de  
construcción: 1977

Número de niveles: 8

Irregularidades  
arquitectónico-  
estructurales:  
1. Golpeteo  
2. Planta baja débil  
3. Irregularidad  
en planta  
4. Columna corta



Figura A 60. Edificio demolido.  
Créditos fotográficos: Vania Catalán,  
Febrero de 2019.

Se trataba de un inmueble con dirección Patricio Sanz 612, col. del Valle Norte. Contaba con 6 niveles sobre el nivel de banqueta, y su uso era habitacional. La estructura estaba resuelta en planta baja a base de columnas de concreto reforzado y losas planas como sistema de entrepiso, encontrando muros diafragma de mampostería en algunas zonas. Se infirió que su cimentación era a base de un cajón de concreto reforzado. La edificación a raíz de los eventos sísmicos sufrió daños en su estructura, presentando fractura de columnas en planta baja, observando el acero de refuerzo expuesto, así también fractura de muros diafragma y divisorios en la mayoría de los niveles, lo anterior fue el resultado de los grandes desplazamientos horizontales provocados por el sismo, mismas que la estructura no fue capaz de resistir y no se contó con el apuntalamiento requerido. Los daños de las columnas se consideraron graves, aunado a los resultados presentados por los vecinos, de la resistencia del concreto de las mismas, mediante el informe de la empresa CREA Ingeniería en donde se indicó una resistencia a la compresión de las columnas de  $f'c = 156 \text{ kg/cm}^2$  considerablemente inferior a la indicada en el RCDF-2017, situación que genera una inestabilidad estructural importante, por lo que no se permitió el paso a ninguna persona. Finalmente cuando se realizó la inspección de banqueta el edificio ya se encontró demolido.



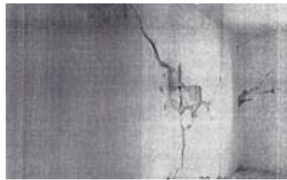
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



g)



h)

Figura A 6I. Continuación.

Figura A 6I. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2KAfoLk>), (b) Fachada poniente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2RhlpmY>), (c) Desprendimiento de acabados y fracturas de muros divisorios en planta baja. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OKCpAO>), (d) Grietas en diagonal en muros de mampostería y desprendimiento de acabados. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OKCpAO>), (e) Fracturas y desprendimiento de mampostería en muros divisorios, fisuras en columnas. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OKCpAO>), (f) Fractura de columnas en planta baja dejando el acero expuesto, colapso parcial de muros de mampostería al interior del edificio. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OKCpAO>), (g) Grietas en diagonal en muros de mampostería. (septiembre 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2OKCpAO>).

22. BEJ-280 DS3- Daño muy alto

Ubicación: Pestalozzi 27-31, Narvarte

Año de construcción: Antes de 1985

Número de niveles: 9

Irregularidades arquitectónico-estructurales:  
I. Columna corta



Figura A 62. Edificio en espera de resolución por parte del gobierno de la CDMX. Créditos fotográficos: Vania Catalán, Febrero de 2019.



Se trata de un inmueble con dirección Pestalozzi 27-31, col. Piedad Narvarte. Es un conjunto habitacional denominado "Plaza Narvarte", el cual está constituido por cuatro torres: A, B, C y D, de 9 niveles cada una. El inmueble se identifica con el número 27 de la calle de Pestalozzi, aunque los accesos son: hacia la calle de Pestalozzi, la Torre A con el no. 27 y la Torre B con el número 31; por la calle Enrique Rébsamen, la Torre C con el no. 18 y la torre D con el no. 22. Todas comparten el semisótano el cual es destinado para estacionamiento; están unidas en planta baja por una plazoleta que junto con los niveles superiores son de uso habitacional. En la azotea existen 105 cuartos de servicio con espacios para tendederos, correspondientes cada uno a cada departamento del Conjunto Habitacional. De acuerdo con el dictamen, la inspección estructural se realizó en las cuatro torres.

Todas las torres tienen forma irregular en planta. Las torres A, B y D alojan 28 departamentos cada una, y la torre C cuenta con 21 departamentos. La estructuración de las torres es análoga y consiste en todos los niveles, excepto en el superior, en marcos de concreto formados por columnas de concreto reforzado y losas planas que forman el sistema de entrepiso. En el nivel superior el sistema de azotea consiste en tridillosas metálicas de 40 cm de espesor, estas presentan

capas compresión de concreto en el lecho inferior y superior. Las estructuras cuentan con muros divisorios y de fachadas de bloque hueco sin refuerzo interior. Cabe mencionar que a pesar de que el conjunto habitacional data de antes del sismo de 1985, ninguna de las torres había sido reforzada. Se infirió que la cimentación consiste en un cajón de cimentación con pilotes de punta. De acuerdo a la Zonificación Geotécnica del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, el inmueble se localiza en la Zona IIIb o de Lago Virgen.

A raíz del terremoto en todas las torres se presentaron fallas estructurales en algunas columnas de los primeros niveles por cortante y torsión. En prácticamente todos los muros existían fisuras y grietas, en algunos casos se encontraron grietas diagonales en "X" existiendo casos de derrumbes parciales. También se apreciaron deformaciones y grietas en los muros de los cubos de elevadores. Además, todas las torres presentaron desplomos significativos, probablemente preexistentes al sismo. Del mismo modo se observaron afectaciones importantes en instalaciones hidráulicas y sanitarias. Los daños antes descritos redujeron la capacidad de resistencia a fuerzas laterales de cada una de las cuatro Torres, y de este modo quedaron inhabilitadas para soportar un sismo de igual magnitud o mayor.

Conforme a lo descrito, las cuatro torres que constituyen el Conjunto Habitacional "Plaza Narvarte" se consideraron en riesgo alto, debido a los daños en columnas y en muros de mampostería, así como por el desplomo que presentaron las cuatro torres, por lo que se sugirió ser rehabilitadas conforme a un proyecto de reestructuración y verticalización.

Figura A 63. Daños en el edificio posteriores al sismo de 2017. Créditos fotográficos: Expansión. Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2JJ5dWm>



a)



b)



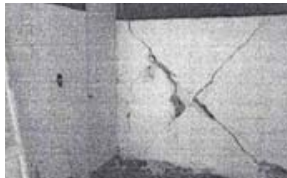
c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

Figura A 64. Continuación.

Figura A 64. Edificio considerado de alto riesgo: (a) Vista aérea del edificio (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2ArTme7>), (b) Fachada oriente del edificio previo al sismo (Abril 2017) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2DWaiOO>), (c) Grietas y colapsos parciales en cubo de escaleras. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (d) Fachada de edificio A "Palmas" Pestalozzi 27. Grietas en diagonal en cubo de escaleras y desprendimiento de acabados en fachada. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (e) Daños en cubo de escaleras y desprendimiento de acabados. Grietas en diagonal. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (f) Grietas en "X" en muros divisorios. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (g) Edificio B "Fuentes" Pestalozzi 31. Se observa que se están retirando los elementos de riesgo de caer para estudio y rehabilitación en base a proyecto que autorice el ISC. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (h) Edificio C "Parques" Rébsamen 18. Fracturas en fachada en diagonal (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (i) Edificio "D" Bosques Rébsamen 22 posterior al sismo. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>), (j) Fracturas en muros de mampostería, colapsos parciales de muros. (mayo 2018) (Imagen obtenida de: <https://bit.ly/2AaEOvT>)

## Referencias

- Allier, M. E. (2018). Memorias imbricadas: terremotos en México, 1985 y 2017. *Revista mexicana de sociología*, 80(SPE), 9-40.
- Catalán, V. I., (2020) ¿Cómo se comportaron los multifamiliares que tenían daño previo después del sismo del 19 de septiembre de 2017?. *Academia XXII*, 11(21), 83-113.
- Cruz, A. V. M. (2013). Los sismos: una amenaza cotidiana. Ciudad de México. La caja de cerillos ediciones.
- Cruz, V., Krishna, S., & Schroeder, M. (2017). ¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México? Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Recuperado de <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-deseptiembre-de-2017-en-mexico>. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2020
- Fundación, I. C. A. (1988). Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985. Noriega editores. México
- Gallego, M., & Sarria, A. (2006). El concreto y los terremotos. Editorial ASOCRETO.
- Gálvez, A. H. Antes del próximo sismo en la Ciudad de México. *Arquine*, 26 septiembre 2017, <https://www.arquine.com/antes-del-proximo-sismo-ciudad-de-mexico/>, fecha de consulta: 23 de febrero de 2020.
- Galvis, F., Miranda, E., Heresi, P., Dávalos, H., & Silos, J. R. (2017). Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake. John A. Blume Earthquake Engineering Center and Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University, <http://learningfromearthquakes.org>.
- Hernández, M. A. (2017). Revisión de estructuras dañadas en sismos ocurridos en la Ciudad de México a la luz de nuevos conocimientos, Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- INFONAVIT (2018), Diccionario de terminología especializada Infonavit.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. -- México : INEGI, c2017.
- Jaimes, M. A., & Angulo, E. R. (2006). Comparación del comportamiento de edificios en el valle de México ante sismos de subducción y de falla normal. *Revista de Ingeniería Sísmica* Núm. 75 (2006), pp 1-22. <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807501>> Fecha de última consulta: 23 de febrero de 2020.
- Jaimes, M. A. (2017). Sismo del 19 de septiembre de 2017 M7.1, Puebla-Morelos. Instituto de Ingeniería UNAM. Disponible en: [http://www.smis.org.mx/pdf/Sismo%20M7L\\_Puebla\\_Morelos\\_MAJT.pdf](http://www.smis.org.mx/pdf/Sismo%20M7L_Puebla_Morelos_MAJT.pdf). Fecha de consulta: 23 de febrero de 2020.
- Ley de Reconstrucción, (2017)
- 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., & Miranda, E. (1986). Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México. Parte I: Evaluación de daños. México: Instituto de Ingeniería.
- Normas de Emergencia, (1957)
- Normas de Emergencia (1985)
- Ortín, P. (2018). La geometría como mecanismo compositivo en la historia de la arquitectura: la retícula en la arquitectura moderna (Tesis de doctorado).
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (1966)
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (1976)
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (2004)
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal (2017)
- Salcido, I. (2018). El terremoto de 2017. Diecinueve de septiembre negro. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Casa de las Campanas Editores.
- Salcido I, (2018) El terremoto de 1985. Treinta años en nuestra memoria. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Casa de las Campanas Editores.

**Plataformas digitales:**

1. Plataforma CDMX (plataforma.cdmx.gob.mx)
2. ¿Por qué se cayó mi edificio? - Mexicanos Contra la corrupción y la impunidad (miedificio.contralacorrupcion.mx)
3. Portal de Reconstrucción - Reconstrucción CDMX (reconstruccion.cdmx.gob.mx)
4. Google Earth y Google Street View

*La estudiante agradece el apoyo brindado por el Instituto de Ingeniería durante la estancia de investigación llevada a cabo para la realización de este trabajo de tesis.*

*Así mismo los resultados obtenidos a través de las diferentes colaboraciones realizadas durante los meses de marzo a octubre de 2020.*

*Un artículo de investigación científica para la Revista Academia XXII, Núm 21. Dos colaboraciones para la Revista Internacional de Arquitectura y Ciudad Arquine. Algunas participaciones en conversatorios y ponencias. Y colaboraciones con blogs de divulgación.*

*Este trabajo ha sido merecedor de 2 reconocimientos: el Premio a la excelencia del Servicio Social a nivel Facultad de Arquitectura y el Premio Nacional de Servicio Social en la categoría estudiante individual que otorga la Comisión Interuniversitaria de Servicio Social.*

*Ciudad Universitaria, CDMX, octubre de 2020.*





# FACTORES ARQUITECTÓNICO- ESTRUCTURALES

QUE INFLUYERON EN EL DAÑO SEVERO DE VIVIENDAS  
MULTIFAMILIARES ANTE EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE  
2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

*“Si nuestro edificio de departamentos ya soportó un sismo de cierta magnitud y no tuvo daños evidentes, soportará el siguiente”*

Esta tesis trata de analizar esta afirmación como una premisa que muchos habitantes toman como verídica sobre el comportamiento de sus edificios de vivienda ante los sismos.

Revisa en términos generales por qué la vivienda multifamiliar cobra importancia ante este fenómeno natural que se ha presentado constantemente en la ZMVM.

A través del estudio de una muestra del Instituto de Ingeniería de la UNAM, analiza qué factores que corresponden directamente al campo de la arquitectura (que se relaciona con la configuración geométrica y por lo tanto con la estructura) se han repetido constantemente en la vivienda colectiva y al parecer no han funcionado correctamente en una zona considerada de alto peligro sísmico.



Vania Catalán  
Tesis  
Facultad de Arquitectura  
UNAM

Miguel Jaimes  
Director  
Instituto de Ingeniería  
UNAM



Ciudad Universitaria, CDMX, 2020

