

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

ESTUDIO SOBRE EL PROTOCOLO DE EVACUACION DESPUÉS DE LA
ACTIVACIÓN DE LA ALERTA SÍSMICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Raúl Alonzo Tinoco
Felipe Bennetts Toledo
Oswaldo Contreras Reyes
Oscar López Bátiz
Victor Simón Vargas Ortega

Dirección de Investigación
Subdirección de Riesgos Estructurales

Enero 2021



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO Y ALCANCE	4
3. METODOLOGÍA	4
4. PROPUESTA DE PROTOCOLO	9
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
REFERENCIAS	13
AGRADECIMIENTOS.....	14



1. INTRODUCCIÓN

En la Ciudad de México, de igual manera que en la mayor parte del país, existe el requisito, hasta cierto punto voluntario, de que las edificaciones y unidades habitacionales elaboren sus programas internos de protección civil. En el caso de la Ciudad de México, un aspecto importante de estos programas es la elaboración de simulacros de evacuación ante el posible impacto de sismo fuerte.

En este sentido, entre la ciudadanía y los profesionales de la protección civil persiste la duda sobre la necesidad y, hasta cierto punto, obligatoriedad, de realizar una evacuación de los inmuebles una vez que se ha activado la alerta sísmica de la ciudad, ante la cual, en principio, se podría tener aproximadamente entre 20 y 120 segundos de tiempo de oportunidad o alertamiento (Sistema de Alerta Sísmica Mexicano, SASMEX, 2021), antes de la llegada de las primeras manifestaciones del movimiento fuerte del terreno. La entidad responsable del SASMEX refiere sobre el tiempo de oportunidad, sin mencionar si ese tiempo es el que tiene el ciudadano una vez que se activó la alerta, o dentro de ese tiempo de oportunidad se incluye el tiempo para el análisis y la toma de decisión para su activación.

Por otro lado, en la página de la autoridad de gobierno federal (Gobierno de México, 2021) en el Blog *¿Cómo funciona la #alertasísmica?*, se refiere que *El Sistema de Alerta Sísmica, depende del CIRES (acrónimo de Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C.), detecta los sismos importantes en la Brecha de Guerrero y avisa con al menos 50 segundos de anticipación la llegada de ondas sísmicas importantes.*

Existen propuestas y, se puede decir, recomendaciones de los profesionales de la protección civil, e incluso de los especialistas en la elaboración de los programas internos de protección civil, que indican que después de la activación de la alerta sísmica, el usuario de un edificio debe tomar la decisión sobre dos posibles acciones:

- 1) Replegarse hacia un sitio previamente identificado como seguro ante un movimiento fuerte generado por sismo en el edificio y esperar, e
- 2) Iniciar el proceso de evacuación del inmueble, con el lema: no grito, no corro, no empujo

En relación con los dos puntos arriba mencionados, hay poca o nula información proporcionada por los especialistas en el tema, que tenga un sustento con información de campo y cierto nivel de análisis. En ese sentido, el presente trabajo trata de proporcionar información al respecto y, resultado de un análisis simple, se emiten conclusiones y recomendaciones sobre las acciones a tomar principalmente en el caso de los procesos de evacuación de los inmuebles en la Ciudad de México.

Con este trabajo se trata de constituir la punta de lanza para una serie de estudios que permitan contar con información sustentada sobre la toma de decisiones en el ámbito de los protocolos de los programas internos de protección civil y para los esquemas de preparación post-alertamiento ante el arribo de las ondas sísmicas con origen en las costas del Océano Pacífico mexicano.



2. OBJETIVOS Y ALCANCES

Estudiar en campo el comportamiento de un universo finito de personas en su hábitat ante la posibilidad de impacto de sismo fuerte y, con base en ello, determinar parámetros que permitan establecer patrones racionales para las acciones de evacuación y repliegue en el marco de los protocolos de evacuación de los programas internos de protección civil.

Adicionalmente, con base en los mecanismos de falla observados en las edificaciones de la Ciudad de México durante los sismos de septiembre de 1985 y 2017, se proponen acciones que complementan a las propuestas de protocolo de evacuación.

Se pretende que el trabajo sea el parteaguas para el planteamiento de metodologías con sustento racional que permitan generar herramientas para que los especialistas en Programa Interno de Protección Civil puedan definir de manera expedita aspectos como: sitios de repliegue y/o resguardo, zonas de seguridad dentro de los inmuebles y, desde luego, las rutas y procedimientos de evacuación. El estudio abarca únicamente el tema de protocolo de evacuación de edificaciones habitacionales ante la posible ocurrencia de sismo en la Ciudad de México.

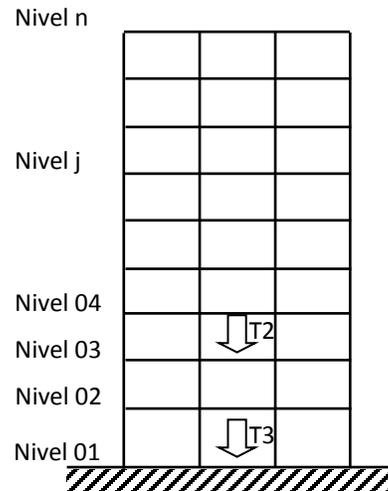
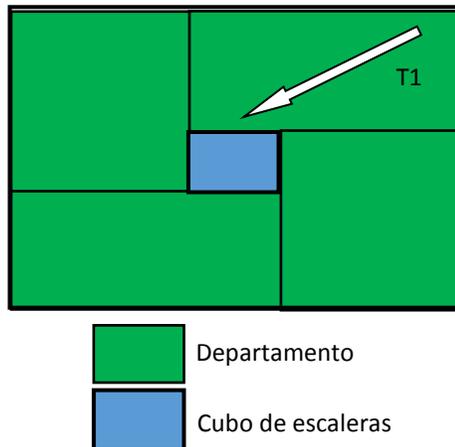
3. METODOLOGÍA

Con el propósito de estudiar en campo el comportamiento de un universo finito de personas en su hábitat ante la posibilidad de impacto de sismo fuerte y, con base en ello, determinar parámetros que permitan establecer patrones racionales para las acciones de evacuación y repliegue, se realizó un estudio sobre los procesos de evacuación de edificaciones habitacionales ubicadas en la Ciudad de México.

Las variables que se estudiaron fueron los tiempos de movilidad dentro del edificio, es decir, el tiempo que requiere para salir de su casa departamento, el tiempo que requiere para descender por las escaleras existentes en el edificio por nivel estándar y, finalmente, el tiempo que requiere para descender del nivel dos al nivel uno (nivel de terreno) y salir de la edificación hacia la calle. Así, se definieron los tiempos de movilidad y evacuación dentro de un edificio multifamiliar promedio en la Ciudad de México, de la manera que se muestra:

- T1 Tiempo promedio de evacuación del departamento hacia el cubo de escaleras y servicios
- T2 Tiempo promedio de descenso por escaleras en cada nivel estándar, excepto del segundo al primero (generalmente denominado como planta baja), considerando un promedio de 15 a 20 escalones
- T3 Tiempo promedio de descenso del Nivel 02 al Nivel 01 y salida a calle, considerando un promedio de 20 a 30 escalones

En la figura 1 se identifican las variables o parámetros básicos que determinan los tiempos de evacuación de un edificio multifamiliar en la CDMX considerados en este estudio.



a) Distribución esquemática de unidades habitacionales por nivel, indicando la variable de evacuación T1

b) Vista en elevación de una edificación, indicando las variables de evacuación T2 y T3

Figura 1. Representación esquemática de las variables que definen el tiempo de evacuación en una edificación multifamiliar promedio en la CDMX

La medición de las variables de tiempo indicadas en la figura 1 se realizó en una muestra de 20 edificaciones ubicadas en la Ciudad de México, cuyas características generales se indican en la Tabla 1.

Tomando en cuenta la muestra de 20 edificaciones multifamiliares en la Ciudad de México, cuyas características promedio se resumen en lo siguiente:

- Edificaciones con más de tres niveles con clasificación de uso y destino para habitación
- La superficie promedio por unidad habitación o departamento, es de 80 m², teniendo un máximo de 120 y un mínimo de 65 m²

Se midieron los tiempos requeridos para que una persona, desde jóvenes menores de 20 años, hasta una persona adulta mayores con capacidades físicas estándar, desalojara un departamento, bajara las escaleras y saliera del edificio. Se obtuvieron valores del tiempo requerido para bajar un nivel con entresijos promedio de 3.0 a 3.5 m de altura, por escaleras con entre 15 a 20 escalones y, finalmente, se midió el tiempo que requiere para bajar del nivel 2 al nivel 1, con alturas de entresijos (en Planta Baja) de entre 3.5 a 4.0 m y salir a la calle. En la figura 1 se representan, de manera esquemática, los movimientos ante los que se midieron los tiempos requeridos para su ejecución, todo en condiciones de situación de evacuación en proceso controlado de simulacro.

Las mediciones de las variables, T1, T2 y T3, permiten definir los intervalos generales, mismos que se muestran en la Tabla 2.



Tabla 1. Características generales de la muestra de edificios considerados en el estudio

Ubicación (alcaldía)	No. de niveles	Características de los departamentos (superficie, número de niveles y edades de usuarios)					Escaleras	
		Superficie (m ²)	Cantidad por nivel	≥60	60> Edad >20	≤20	No. de huellas estándar	No. de huellas PB
Benito Juárez	9	114	3	2	2	4	15	20
Benito Juárez	9	120	3	2	4	4	15	20
Cuauhtémoc	15	85	5	1	4	1	17	25
Venustiano Carranza	4	90	4	0	4	2	16	18
Coyoacán	5	65	6	6	4	2	15	15
Coyoacán	5	65	6	5	3	2	15	15
Coyoacán	5	65	6	4	3	1	15	15
Coyoacán	4	90	1	0	2	1	16	18
Miguel Hidalgo	6	70	4	0	4	2	14	20
Benito Juárez	6	80	8	2	4	2	13	15
Miguel Hidalgo	5	75	4	0	3	2	14	15
Coyoacán	5	65	4	1	2	1	13	14
Coyoacán	11	125	4	3	2	1	14	16
Iztapalapa	4	100	2	2	2	2	15	15
Benito Juárez	3	75	8	1	3	1	13	14
Cuauhtémoc	9	114	6	3	2	0	15	20
Cuauhtémoc	12	120	4	1	3	2	17	22
Cuauhtémoc	8	80	6	2	3	3	15	17
Iztapalapa	5	65	4	1	3	2	14	14
Cuauhtémoc	4	75	6	3	2	3	15	16

Tabla 2. Intervalos de tiempos medidos en edificios habitacionales

Acción, variable	Tiempo medido (s)
T1	15 – 20
T2	10 – 12
T3	15 – 20

De los valores de tiempo mostrados en la tabla anterior, los menores corresponden a los realizados por personas con edades promedio inferiores a 20 años; por otro lado, los valores mayores corresponden a personas con edades promedio superiores a 60 años. Cabe la mención de que no se contó en este estudio con la participación de personas con algún tipo de discapacidad física. Se tiene conocimiento de que en el 1.5% de las edificaciones

visitadas hay personas con dificultad de desplazamiento, siendo un tema a tratar en estudio futuro.

La Tabla 2, representa intervalos de tiempo correspondientes para un solo individuo, condición probable cuando los edificios departamentales están en horarios de baja ocupación. Adicionalmente a estos tiempos se consideraron variables tales como el tiempo en detectar la alerta y reacción, que en promedio puede durar hasta 15 s, y el tiempo de retardo debido al congestionamiento de los espacios comunes, como lo son pasillos, escaleras y la salida del inmueble. Con base en lo anterior, en la Tabla 3, se muestran valores de tiempos de evacuación que involucran las variables mencionadas. Estos tiempos podrían considerarse cortos, especialmente en la acción T2 y T3, hay que recordar que estos tiempos de evacuación consideran sólo el aforo de los niveles inferiores del inmueble, por lo que el aforo de personas es menor al correspondiente del edificio completo.

Tabla 3. Intervalos de tiempos modificados en edificios habitacionales

Acción, variable	Tiempo medido (s)
T1	20 - 25
T2	15 – 20
T3	15 – 25

Resultado de un análisis simple del tiempo necesario para un proceso de evacuación, desde el interior de un departamento, hasta la calle, se obtiene la gráfica de la figura 2. En la gráfica se muestran dos límites, el límite superior, correspondiente a los tiempos que necesita una persona mayor de 60 años para el desalojo de un edificio, considerando el proceso de desalojo desde los departamentos ubicados en el nivel 01 (Planta Baja), hasta el tiempo que se requiere desde el nivel seis; el límite inferior, corresponde a los tiempos medidos para una persona menor de 20 años. En la misma figura se incluye la línea de tiempo correspondiente a 50 segundos, tiempo promedio con que cuenta la ciudadanía en la zona metropolitana, desde que se activa el sistema de alerta sísmico hasta que llega la onda sísmica a la base de los edificios de la ciudad, según información reportada por las páginas y blogs de internet, tanto del gobierno federal, como del gobierno de la ciudad.

Tomando en cuenta la figura 2.a, correspondiente a los tiempos “óptimos”, se puede identificar que, en caso de plantear como acción preferente la evacuación del edificio, una vez que se haya activado la alerta sísmica de la Ciudad de México, se recomienda que el proceso se lleve a cabo solamente para las personas que habitan desde el tercer nivel hacia abajo (coloquialmente denominados como Planta Baja, Piso 1 y Piso 2), lo anterior tomando en cuenta la alta probabilidad de la presencia de personas con edades superiores a 60 años (la distribución de la población en el edificio es un dato con el que no se cuenta en este estudio).

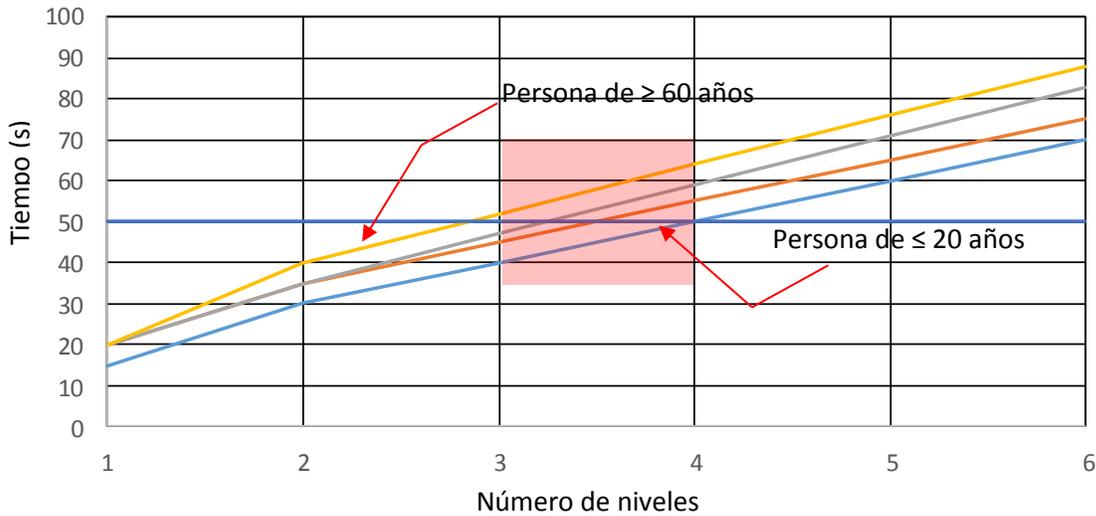


Figura 2.a Gráfica que muestra el tiempo promedio medido para un proceso de evacuación de edificaciones habitacionales en la Ciudad de México (considerando los tiempos óptimos de la Tabla 2)

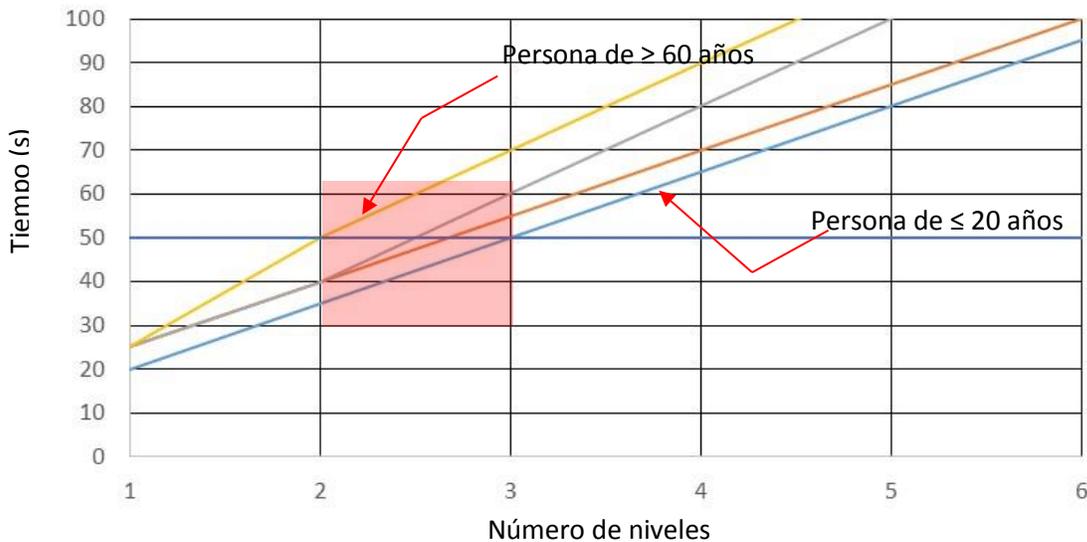


Figura 2.b Gráfica que muestra el tiempo promedio medido para un proceso de evacuación de edificaciones habitacionales en la Ciudad de México (considerando los tiempos de la Tabla 3)

Figura 2. Gráficas que muestran el tiempo promedio medido para un proceso de evacuación de edificaciones habitacionales en la Ciudad de México

Por otro lado en la figura 2.b, correspondiente a los tiempos “reales”, se puede identificar que una vez que se haya activado la alerta sísmica de la ciudad, se recomienda que el proceso se lleve a cabo solamente para las personas que habitan desde el segundo nivel hacia abajo (coloquialmente denominados como Planta Baja y Piso 1), de manera similar

al caso anterior, tomando en cuenta la alta probabilidad de la presencia de personas con edades superiores a 60 años.

Dado que los tiempos dependerán de muchos factores, se recomienda que estos valores estén calibrados y que las personas realicen simulacros para optimizarlos, todo en el marco de las acciones del Comité de Vigilancia de la edificación en los procesos de elaboración del Programa Interno de Protección Civil.

4. PROPUESTA DE PORTOCOLO

Con el propósito de hacer el planteamiento del protocolo para el proceso de evacuación de edificios habitacionales en la Ciudad de México, se tomaron en cuenta los mecanismos de colapsos estructurales más comunes identificados durante los sismos de septiembre de 1985 y 2017. Al respecto, según información del Instituto para la Seguridad de las Construcciones de la Ciudad de México (ISC-CDMX, 2018), los mecanismos de falla que representaron prácticamente el universo de colapsos durante los sismos mencionados, como se indica en la Tabla 3, fueron el de planta baja flexible, ejemplo representativo mostrado en la figura 3, y el de irregularidades en planta, específicamente edificios ubicados en esquina, cuyo ejemplo representativo se muestra en la figura 4. En la Tabla 4 se presentan los porcentajes del universo de edificios colapsados durante los sismos mencionados, asociados a cada uno de los mecanismos (ISC-CDMX, 2018).



Figura 3. Vista general de edificio de cinco niveles con colapso por planta baja flexible (Hernández, et al (2019))

Como se menciona en el capítulo anterior, el protocolo propuesto considera la evacuación solamente para las personas que habitan desde el segundo o tercer nivel hacia abajo. En caso de que en el inmueble no habiten personas mayores de esa edad, se recomienda

hacer una serie de simulacros que permitan determinar los tiempos de evacuación; con base en ello podría definirse, como una decisión propia del Comité de Vigilancia del Inmueble, en el marco de su programa Interno de Protección Civil, la posibilidad de que el protocolo de evacuación del inmueble incluya desde el cuarto nivel hacia abajo. Lo anterior tomando en cuenta los tiempos reportados en la figura 2 y el mecanismo de falla de planta baja flexible. En este sentido, resulta claro que este tipo de fallas difícilmente se manifestarán en los primeros segundos del movimiento, desafortunadamente no hay información confiable al respecto, por lo que en esta propuesta se considera la condición más desfavorable que es la posibilidad de colapso desde el primer segundo de la excitación.



Figura 4. Vista general de edificio de ocho niveles ubicado en esquina que presentó colapso durante el sismo de 2017 (Najar Alberto, 2017)

Tabla 4. Mecanismos de falla más comunes identificados durante los sismos de septiembre de 1985 y 2017 (ISC-CDMX, 2018)

Mecanismo de colapso Característica geométrica y estructural del edificio	Porcentaje de edificios que presentaron colapso con el mecanismo mencionado, para cada año del sismo	
	1985	2017
Irregularidad en elevación (Planta baja flexible, piso suave)	8	50
Irregularidad en planta (edificio en esquina)	42	38

En la figura 5, de manera similar al mecanismo de colapso mostrado en la figura 4, se presenta la falla de un edificio en esquina, comportamiento generalmente asociado a la torsión global en los edificios por una distribución asimétrica de los elementos estructurales verticales, en la mayoría de los casos atribuible a los muros de las colindancias opuestas a las calles.



Figura 5. Vista general de edificio de seis niveles ubicado en esquina que presentó colapso durante el sismo de 2017 (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62587165>)

De observar ambas figuras se identifica cualitativamente que la zona cercana al denominado centro de torsión, asociado a la especie de centroide de las rigideces de los elementos verticales tiende a permanecer en pie, mientras que la parte del edificio más cercana a la esquina definida por el cruce de las calles, la más alejada del centroide de rigideces, es la que falla de manera total.

Con base en lo anterior, cualitativamente se puede mencionar que las personas que se encuentren en los niveles que se protocoliza no evacuar, en el marco del Programa Interno de Protección Civil del inmueble, puede plantearse que definan las zonas de seguridad y/o repliegue en la vecindad de la esquina opuesta al cruce de las calles donde se localiza su edificio. Un esquema de este criterio se muestra en la figura 6.

Este tema, así como el procedimiento para determinar de manera racional las zonas de repliegue dentro de los edificios, será parte de estudios analíticos a desarrollar por el grupo de trabajo de esta subdirección durante los siguientes años.

Para tal efecto, otro de los proyectos de la Subdirección de Riesgos Estructurales es la conformación de una base de datos de daños en bienes expuestos en general, que incluye, desde luego, daños generados por sismo, en la que se tiene, como parte de la información asociada, una breve reflexión sobre el fenómeno y el mecanismo de daño y/o falla.

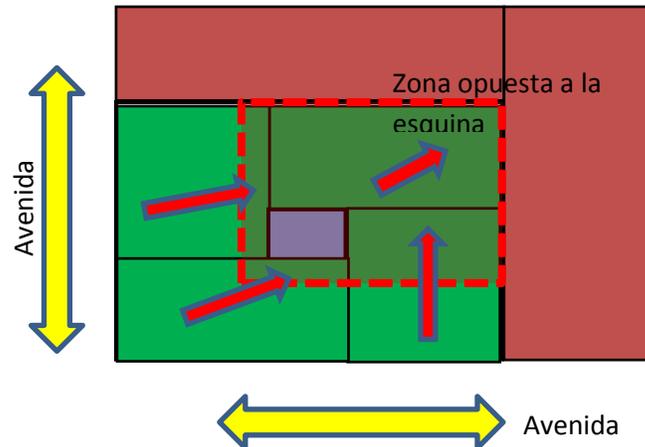


Figura 6. Vista general de propuesta cualitativa de situación para resguardo ante incidencia de sismo en edificio ubicado en esquina

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presenta un estudio de análisis simple sobre tiempos necesarios para desalojar un inmueble con uso habitacional en la Ciudad de México, lo anterior asumiendo que se ha activado el sistema de alerta por sismo que existe en la zona metropolitana. En el entendido que la propuesta de **evacuar previo a que se presente el movimiento del edificio** obedece al supuesto colectivo de que **el edificio presentará comportamiento anómalo o incluso el colapso** durante el movimiento generado por el sismo, se revisaron los mecanismos de colapso con mayor frecuencia observados durante los eventos de septiembre de 1985 y 2017 en la Ciudad de México. Con base en los aspectos antes mencionados y, tomando en cuenta además el tiempo para preparación que proporciona el sistema de alerta sísmica de la ciudad, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se proceda a la evacuación únicamente de los primeros dos niveles del inmueble
- En el marco de los protocolos del Programa Interno de Protección Civil del inmueble, se defina si es posible la evacuación hasta un tercer o cuarto nivel; lo anterior, con base en simulacros en los que se midan los tiempos de desalojo del inmueble.

Las recomendaciones resultado de este trabajo tienen básicamente la intención de orientar al ciudadano y a la autoridad responsable de Protección Civil para tomar decisiones y establecer protocolos de actuación informados. Se debe tener presente que el quehacer del profesional de la construcción, desde el diseño arquitectónico, pasando por el diseño estructural y terminando con el proceso de construcción, supervisión del mismo y entrega de la edificación al usuario, siempre estará basado en el principio básico de lograr una estructura que, además de que permita solventar una necesidad social, en este caso de vivienda, resulte funcional, económica y, sobre todo, segura.

Por lo anterior, una de las opciones de acción después de la activación de la alerta sísmica en la Ciudad de México, es permanecer dentro de la edificación, colocándose en el sitio de



repliegue o zona segura, bajo el principio de que la edificación fue diseñada para que nunca colapse. Pero también se entiende el sentir del ciudadano que ha observado, no solo en México, sino en cualquier parte del mundo, colapsos de edificios producto del impacto de sismo, y que con razón pregunta al profesional de la ingeniería estructural **¿me garantiza que el edificio no fallará?**, pregunta que resulta difícil de responder debido a la incertidumbre en las fuerzas sísmicas que podrían actuar en el inmueble, porque así como no es posible predecir la ocurrencia de un sismo, tampoco es fácil determinar las características de energía y dinámicas que el movimiento, que definirán el tipo de excitación o demanda que generará el sismo en la estructura. Entonces, que una persona decida evacuar una vez que se accionó el alertamiento por sismo, es comprensible; en ese caso se le invita a considerar la información presentada en este trabajo.

Aun tomando en cuenta lo presentado en el documento, se debe tener siempre presente que el ciudadano y la comunidad que se prepara, puede actuar de una manera más efectiva y eficiente, para salvaguardar su vida y, de ser posible, apoyar en tareas para el bien de la comunidad.

Finalmente, como parte de los estudios necesarios a futuro que plantea realizar la Subdirección de Riesgos Estructurales, mismos que pueden considerarse complementarias con el estudio – análisis inicial presentado en este trabajo, son:

- Procedimientos para definir cuantitativamente las zonas de menor riesgo, refugio y/o resguardo dentro de las edificaciones
- Procedimientos para determinar de manera cuantitativa las rutas de evacuación de los inmuebles
- Procedimientos cuantitativos para determinar el tipo de mobiliario que deberá ser fijado mecánicamente a pisos y/o muros, para evitar su posible volteo durante un sismo fuerte

REFERENCIAS

1. Gobierno de México, (2021), ¿Cómo funciona la #alertasísmica?, <https://www.gob.mx/segob/articulos/como-funciona-la-alertasismica>.
2. Hernández F. et al. (2019), Razones estructurales del colapso de edificios debido al terremoto de Puebla – Morelos (Mw 7.1), XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica.
3. Instituto para la Seguridad de las Construcciones de la Ciudad de México, (2018), Seminario sobre el Sismo de Septiembre de 2017
4. Najjar Alberto (2017), BBC Mundo, Ciudad de México.
5. Sistema de Alerta Sísmica Mexicano, 2021, http://www.cires.org.mx/sasmex_n.php

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las personas que permitieron el acceso a sus edificios y a sus departamentos para la medición de los tiempos reportados en este estudio.

También se agradece a los autores de las fotografías referidas en el trabajo, independientemente que se les menciona en las referencias, por la pertinencia de las fotografías para los propósitos del estudio son invaluablees.

La referencia de la fotografía de la figura 5 se obtuvo de internet y es propiedad de AntoFran - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62587165>