ANÁLISIS DE UN EDIFICIO DAÑADO POR EL SISMO DE 1985 Y REFORZADO MEDIANTE CONTRAVIENTOS Y DISIPADORES VISCOSOS

M. JARA¹, G. I. GARCÍA¹, J. A. AGUILAR²

¹ Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México

² Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar la eficiencia del refuerzo aplicado a un edificio dañado por sismo en la Ciudad de México. La metodología consiste en el análisis de la respuesta del edificio original y reforzado con contravientos, cuando se les somete a los registros de los sismos de 1985 y 2017. La eficiencia del refuerzo se compara con el uso de disipadores viscosos. Los resultados muestran que, el incremento de rigidez logrado mediante los contravientos, reduce los desplazamientos, distorsiones de entrepiso y elementos mecánicos. Los disipadores de energía mejoran ligeramente la respuesta del edificio, sin justificar plenamente su uso, atribuido al reducido periodo que se logra con los contravientos, situación que lo aleja bastante de los máximos espectrales.

Palabras clave: Rehabilitación sísmica; daños por sismo; respuesta sísmica; contravientos; disipadores viscosos.

ABSTRACT

The study aims to assess the effectiveness of the reinforcing system adopted in a building damaged by the 1985 Mexico City earthquake. Initially, the original building and the building reinforced by means of steel diagonal braces are analyzed under the 1985 and 2017 Mexico City earthquakes, and the responses are compared to the results obtained for the analysis of the building equipped with viscous energy dissipators. The level of stiffening achieved with the steel braces reduce considerably the displacements, story drifts and mechanical elements. Viscous dissipators slightly improve the building responses, but their use is not worthy, because the low period achieved with the steel braces moves the building far away from the peak spectral responses.

Keywords: Seismic rehabilitation, seismic damage; seismic response; steel bracing; viscous dissipators.

1. INTRODUCCIÓN

Después de ocurridos los trágicos sucesos de septiembre de 1985, un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana y de la Universidad de Texas en Austin, escribieron un reporte técnico (Aguilar, et al, 1996) en el cual se presentan doce edificios de concreto reforzado que resultaron dañados durante el sismo y que fueron reforzados con muy variadas técnicas, algunas de ellas empleadas por vez primera. Los edificios incluidos en el reporte fueron sometidos treinta y dos años después al sismo del 19 de septiembre de 2017 que causó también severos daños a la ciudad.

El objetivo del presente trabajo es analizar la respuesta dinámica de uno de los edificios reforzados que se presentan en dicho reporte ante los efectos de ambos sismos, para evaluar la eficiencia de las técnicas de refuerzo. El estudio consiste en determinar algunos de los parámetros que definen la respuesta del edificio mediante un análisis en la historia del tiempo, considerando los registros de aceleración medidos en la SCT durante los sismos del 19 de septiembre de 1985 y del 19 de septiembre de 2017. Además, se analiza el edificio considerando los registros de aceleración del sismo de 2017 medidos en las estaciones cercanas a la estructura. El análisis se realiza para el edificio original y para el edificio tal y como fue reforzado después de 1985. Posteriormente se propone un refuerzo mediante disipadores de energía de tipo viscoso, y se comparan ambas técnicas de refuerzo.

2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de un edificio de oficinas que se construyó en 1974, ubicado en la zona del lago de la Ciudad de México. Tiene seis plantas, un sótano y un pent-house. La altura total del edificio es de 22 m y tiene un área aproximada de 460 m² en cada planta. Las medidas del edificio en planta y alzado se muestran en la Figura 1.

Originalmente las columnas eran de concreto reforzado de 35 cm x 45 cm y la losa de tipo reticular se apoya directamente sobre las columnas, dando origen a un sistema de losa plana. La cimentación es de tipo parcialmente compensado, formada por un cajón de cimentación sobre pilotes de fricción. Además de los muros divisorios, existían muros de mampostería de tabique rojo ubicados en los ejes A y D, ligados a la estructura.

La losa y las columnas no sufrieron daños durante el sismo de 1985, sin embargo, los muros perimetrales en los ejes A y D tenían pequeñas grietas de la planta uno a la tres. La mayor parte del recubrimiento de los muros también se agrietó ligeramente. Los daños observados pueden considerarse dentro de los límites de seguridad que marcan las normas para sismos extraordinarios, como el de 1985. Aunque una evaluación estructural realizada después del sismo indicó que el edificio no necesitaba mayor rehabilitación, los dueños decidieron mejorarlo y así cumplir los requerimientos de seguridad de las Normas de Emergencia de 1985.

Figura 1. Distribución en planta y alzado del edificio

3. ANÁLISIS DEL EDIFICIO ORIGINAL

Las características de los elementos estructurales que se utilizaron para el modelo numérico (Figura 2) fueron tomadas básicamente del reporte de Aguilar (1996). A partir del análisis modal se determinan las frecuencias y modos de vibrar del edificio, lo cual nos permite valorar su relación con las características del movimiento a través de los espectros de respuesta de los sismos de 1985 y 2017. Los resultados se indican en la tabla 1. El periodo fundamental del edificio $T_1=1.44$ s corresponde a la dirección transversal a causa de la gran flexibilidad de la estructura en esa dirección (Figura 1); el segundo modo del edificio es rotación alrededor del eje Z con un periodo $T_2=0.498$. La configuración de los dos primeros modos se ilustra en la Figura 3.

Para el análisis sísmico se utilizaron los acelerogramas de la estación SCT de 1985 y 2017. Dicha estación registró una aceleración importante en 1985 y se ubica en la misma zona sísmica que el edificio (zona de lago III b según las NTC 2017). En septiembre de 2017 se contaba con un mayor número de estaciones, por lo que, además del registro de la SCT, se emplearon seis estaciones más que también registraron el movimiento, ubicadas en el mismo tipo de suelo y más cerca del edificio.

La aceleración máxima del terreno en la SCT fue de 160 gales en 1985 y de 103 gales en 2017. Sin embargo, la aceleración espectral que corresponde al periodo fundamental del edificio ($T=1.4$ s) es prácticamente la misma, 335 gales en 1985 y 300 gales en 2017 (Figura 4). Una vez determinados los periodos se realiza un análisis en el tiempo y se determinan las principales respuestas del edificio: desplazamientos de la azotea, derivas de los entrepisos y elementos mecánicos de las columnas de la planta baja. Dado que el edificio no experimentó daños estructurales, el análisis en el tiempo bajo los registros de ambos sismos es lineal. Los principales resultados se describen a continuación.

Figura 2. Vista en 3D del edificio

Tabla 1. Propiedades dinámicas del edificio

Modo	Periodo (s)	Frecuencia circular(rad/s)
1	1.441	4.36
2	0.498	12.61
3	0.477	13.18

(a)

(b)

Figura 3. Modo 1, flexión en dirección transversal (a); modo 2, torsión (b)

Figura 4. Espectros de pseudoaceleración para la estación SCT, 1985 y 2017

3.1 Desplazamientos

Con el registro de la SCT de 1985, el desplazamiento máximo que se obtuvo fue de 12.7 cm bajo la componente N-S del sismo; para el sismo de 2017 se obtuvo un desplazamiento máximo de 17.9 cm en la misma dirección, lo que representa un incremento de 41% del desplazamiento de 1985. La Figura 5 es la historia de desplazamientos para ambos sismos, en las dos direcciones del edificio. Como se ve en la gráfica, la componente de los sismos que más afecta al edificio es la N-S, mientras que la componente E-O presenta desplazamientos muy pequeños, con un desplazamiento máximo de 0.69 cm. Ese comportamiento se atribuye a la rigidez del edificio en dirección E-O. En la figura siguiente se muestran los desplazamientos máximos de cada nivel para las dos componentes de los sismos. Con el registro N-S de 2017 el edificio tuvo los mayores desplazamientos debido a que para el periodo fundamental ($T=1.44s$) el edificio registra las mayores aceleraciones, mientras que con el registro E-O los desplazamientos son mayores para el sismo de 1985.

Figura 5. Desplazamiento del edificio bajo el registro de la SCT de 1985 y 2017

Figura 6. Desplazamiento de entrepiso en dirección N-S y E-O para los sismos de 1985 y 2017

3.2 Distorsiones

Las distorsiones máximas, definidas como el desplazamiento de entrepiso dividido entre su altura, ocurren en el primer nivel y son 0.012 y 0.015 para los sismos de 1985 y 2017 respectivamente. Las distorsiones correspondientes a cada nivel se presentan en la Figura 7. Se observa que hay un cambio abrupto en la distorsión del nivel uno y dos, lo que se atribuye al cambio de área de la planta de los niveles uno y dos, lo que produce un cambio de rigidez entre ambos niveles.

Figura 7. Distorsiones de entrepiso

Según las NTC 2017 el límite de la distorsión para prevenir daños ante sismos frecuentes en marcos de concreto es de 0.002 y la distorsión máxima para el límite de colapso es de 0.005. Ambos sismos exceden el límite de colapso en los niveles inferiores del edificio, en especial para el evento de 2017. Para muros de mampostería confinada de piezas macizas de la tabla 4.2.3 de las NTC 2017, el límite de la distorsión es de 0.005.

3.3 Elementos mecánicos

Se compara la fuerza cortante, momento flexionante y fuerza axial en las columnas con mayor demanda. Los valores máximos de cortante para el sismo de 1985 y 2017 son de 22.4 t y 30.6 t respectivamente. El momento máximo es igual a 41.6 t-m en 1985, mientras que para el sismo de 2017 el momento máximo es 33% mayor e igual a 55.2 t-m. La máxima carga axial es de 22.4 t en compresión para el sismo de 1985 y de 23.3 t en compresión para el sismo de 2017. La compresión axial es mayor con el sismo de 2017, lo cual puede resultar benéfico para el elemento.

3.4 Registros de 2017 medidos en estaciones cercanas al edificio

Cuando ocurrió el sismo de septiembre de 2017 se tenía instalado un número mayor de estaciones, por lo que fue posible obtener las respuestas para cinco estaciones más, ubicadas a una distancia máxima de 3.6 km del edificio. Las estaciones, su distancia al inmueble y las aceleraciones del terreno y espectrales se muestran en la tabla 2 y en la Figura 8. Además, se calculó el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para los resultados de las distintas variables obtenidas con los registros de las cinco estaciones y las del registro de la SCT.

Tabla 2. Estaciones cercanas al edificio y en el mismo tipo de suelo consideradas

Nombre de la estación	Distancia (m)	Aceleración terreno (gales)	Aceleración espectral (gales)
Alameda	830	114	274
Escuela Secundaria Técnica No. 2	1314	111	261
Balderas	1501	101	240
Centro Cultural Universitario Tlatelolco	2070	-80	249
Venustiano Carranza	3687	-125	294
SCT	4833	98	339

En la tabla 3 se presentan los promedios, las desviaciones estándar y el coeficiente de variación de todas las estaciones, en donde se observa que el coeficiente de variación de los desplazamientos es bastante uniforme en todos los niveles, con valores comprendidos entre 5.5 y 6.5 %. Las distorsiones de todos los entresijos y sus valores estadísticos se presentan en la tabla 4. Se observa que nuevamente hay un cambio significativo en las distorsiones del nivel 1 y 2 por el cambio de área de la planta entre estos dos niveles.

El promedio de las fuerzas cortantes obtenidas con los seis registros fue de 28.3 t para la componente N-S, con desviación estándar de 2.2 t y coeficiente de variación de 7 %. El promedio de los momentos fue de 50.7 t-m, la desviación estándar de 5.2 t-m y el coeficiente de variación de 10%. Si se considera la compresión debida a la carga muerta y viva la fuerza axial promedio es de 23 t, la desviación estándar de 0.4 t y el coeficiente de variación de 1.7%. Al considerar los valores de carga muerta y carga viva, las fuerzas de tensión se eliminan y solo hay compresión actuando en la columna.

Figura 8. Estaciones más cercanas y estación SCT

Tabla 3. Valores estadísticos de los desplazamientos de las seis estaciones usadas en el análisis

Nivel	Promedio Desplazamientos (cm)	Desviación estándar (cm)	Coefficiente de variación (%)
7	17.14	0.942	5.5
6	16.83	0.929	5.5
5	15.75	0.882	5.6
4	14.01	0.799	5.7
3	11.70	0.692	5.9
2	8.92	0.551	6.2
1	5.78	0.373	6.5

Tabla 4. Distorsiones de entrepiso

Nivel	Promedio Distorsiones (10E-3)	Desviación estándar (10E-3)	Coefficiente de variación (%)
7	1.05	0.05	4.9
6	3.71	0.020	5.3
5	5.99	0.030	5
4	7.88	0.039	5
3	9.37	0.051	5.4
2	10.50	0.061	5.9
1	14.45	0.093	6.5

4. ANÁLISIS DEL EDIFICIO REFORZADO CON CONTRAVIENTOS

Según el reporte de Aguilar, et al. (1996), el edificio fue reforzado mediante la adición de contravientos en toda la altura del edificio, el encamisado de las columnas del perímetro del inmueble con ángulos y placas de acero y los muros de mampostería comprendidos entre los ejes 1-3 y 4-6 de los ejes A y D, se reforzaron con la colocación de malla electrosoldada en la superficie interna de los muros con una capa de concreto lanzado de 8 cm. Los muros que se reforzaron y la posición de los contravientos se muestran en la Figura 9.

Figura 9. Detalles del refuerzo del edificio después del sismo de 1985 (Aguilar, et al., 1996)

Se analizó el edificio considerando el refuerzo descrito (Figura 10) y se obtuvo un periodo fundamental del edificio de $T=0.67$ s, en lugar del periodo original de 1.44 s. En la tabla 5 se presentan los periodos y frecuencias de los primeros modos de vibrar.

4.1 Resultados del análisis

Como resultado de la rigidización del edificio, el promedio del desplazamiento máximo en el nivel seis es de 2.9 cm en la componente N-S, mucho menor que el obtenido en el edificio original. El valor más alto de la distorsión ocurre en el nivel 3 con $\gamma_{m\acute{a}x} = 0.0018$. Según las NTC 2017, la distorsión máxima para el límite de servicio es de 0.002, y para el colapso es de 0.005. El límite para prevenir daños en los muros es de 0.002. Con el uso de contravientos, las distorsiones de entrepiso se encuentran dentro de los límites que marca la norma.

Figura 10. Modelo final del edificio

Tabla 5. Propiedades dinámicas del edificio

Modo	Periodo (s)	Frecuencia circular (rad/s)
1	0.675	9.3
2	0.342	18.4
3	0.21	29.9

En cuanto a los elementos mecánicos, la demanda de fuerza cortante promedio fue de 4.92 t; el promedio de los momentos fue de 10.7 t-m, la desviación estándar de 2.03 t-m y el coeficiente de variación del 19%. La estación SCT da los valores menores para cortante y momento. Considerando la carga muerta y la carga viva actuante se obtiene un valor promedio de fuerza axial de 19.6 t, con valores de tensión muy bajos comparados con los valores de compresión debidos a la carga muerta y viva por lo cual solo se producen esfuerzos de compresión en las columnas.

5. EDIFICIO REFORZADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA

En este capítulo se presenta una técnica de refuerzo que se ha aplicado recientemente en el mundo y que no era una alternativa común después del sismo de 1985. La técnica consiste en la adición de disipadores de energía de tipo viscoso a los contravientos, con el fin de incrementar el amortiguamiento del sistema y reducir los desplazamientos y elementos mecánicos en la estructura. Para evaluar la eficiencia de este esquema de refuerzo se realizaron análisis no lineales con los mismos registros del sismo de 2017. Se realizarán dos evaluaciones, la primera, un estudio paramétrico para conocer las características de los disipadores viscosos que conducen a los menores desplazamientos. La segunda, la respuesta del edificio con los valores que dieron los resultados más favorables en el estudio paramétrico, para comparar el comportamiento del edificio original, del edificio reforzado con

contravientos y del edificio reforzado con disipadores viscosos. La evaluación de las respuestas se realiza mediante los desplazamientos de los niveles, las distorsiones de entrepiso y los elementos mecánicos en la columna con mayor demanda.

5.1 Estudio paramétrico

Se estudiaron las variables que determinan el comportamiento del amortiguador viscoso, y que son las que aparecen en la fórmula general para un disipador de este tipo:

$$F = cv^{\alpha} \quad (2)$$

Donde c es una constante de amortiguamiento; v es la velocidad relativa del amortiguador; α es el exponente de la velocidad; y F es la fuerza que genera el disipador. Con base en valores empleados en edificios reales, se eligieron seis valores del coeficiente c , tres del coeficiente α y tres de k para comenzar el estudio paramétrico (tabla 6), lo que da un total de 54 combinaciones de los parámetros. El modelo del edificio se realizó colocando 24 disipadores en diagonal ubicados en los ejes 1, 3, 4 y 6, mismas posiciones en las que se colocaron los contravientos en el refuerzo real del edificio (Figura 11). Los contravientos se distribuyeron en toda la altura.

Tabla 6. Valores que se utilizaron en el análisis paramétrico

c (kg-s/cm)	k (kg/cm)	α
50000, 30000, 10000, 5000, 2500, 1000	265451, 219302, 173080	1, 0.7, 0.4

Con base en los resultados del análisis paramétrico, se concluye que la variable que tiene mayor impacto en la respuesta es c . Por lo tanto, las respuestas se determinarán para todos los registros de las estaciones cercanas y para los seis valores indicados de c , considerando constantes $\alpha = 0.7$ y $k = 265451$ kg/cm.

6.2 Análisis con los seis registros del sismo de 2017

Para el análisis se consideró la configuración de contravientos igual a la del refuerzo que se construyó en 1985. Se colocaron 48 disipadores en las diagonales, igual al número de contravientos que se colocaron en el refuerzo original.

6.3 Desplazamientos en el tiempo

Los ciclos histéricos del disipador más esforzado ubicado en el eje seis del primer nivel se grafican en la Figura 12, en la que el ciclo de un disipador con $c=1000$ kg-cm/s tiende a ser una elipse, como la forma típica de los ciclos de histéresis para un disipador viscoso, con desplazamiento máximo de 1.3 cm y fuerza de 3.5 t. Para un disipador con $c=30000$ kg-cm/s la elipse es más alargada con desplazamientos de 0.3 cm y fuerza de 40.8 t.

La Figura 13 muestra los desplazamientos en el nivel seis para un $c=50000$ kg-cm/s y con las seis estaciones acelerográficas en estudio y su promedio. Además, se presentan los desplazamientos del edificio reforzado con contravientos, su promedio, y el promedio de desplazamientos del edificio original. Si se considera el promedio de los resultados los desplazamientos se reducen de 16.83 cm a 2.84 cm con contravientos y a 1.21 cm con disipadores, éste último caso representa el 93 % de disminución en la respuesta, mientras que con el edificio reforzado con contravientos es del 83%.

Figura 11. Configuración de los disipadores en el edificio. Eje 1

Figura 12. a) Ciclo histerético con $c=1000$ kg-cm/s. b) Ciclo histerético con $c=30000$ kg-cm/s

6.4 Distorsiones de entrepiso

Las Figuras 14 y 15 muestran las distorsiones de los seis registros sísmicos. Las curvas con relleno a la izquierda del área del gráfico representan las distorsiones del edificio con disipadores, y las curvas sin relleno son las distorsiones del edificio reforzado con contravientos. Los promedios se muestran en rojo y con línea discontinua. Se observa que el edificio original presenta la máxima deriva en el nivel uno, por lo que se espera que el daño sea mayor en ese nivel, mientras que, en los dos esquemas de refuerzo, tanto con disipadores como con contravientos la distribución de las distorsiones se vuelve más uniforme. Considerando los promedios del nivel uno, donde ocurre la distorsión máxima, los valores disminuyen de 1.4% a 0.14% con el edificio con contravientos que representa un 90% de disminución, y para el edificio con disipadores la distorsión se reduce hasta 0.10%, es decir, un 93% menor.

Figura 13. Desplazamientos para $c = 50000 \text{ kg-cm/s}$

Figura 14. Distorsiones de entrepiso del edificio original, con contravientos y con disipadores

6.5 Elementos mecánicos

Con el uso de los contravientos la demanda de fuerza cortante disminuyó 88%; mientras que, con el uso de disipadores, la fuerza cortante se redujo 83%. Los momentos flexionantes para las seis estaciones, considerando los promedios, disminuyeron 79% usando contravientos y para el edificio con disipadores el promedio se reduce el 83 %.

El flujo de carga del edificio se ve alterada por la presencia de contravientos y contravientos-disipadores, por tal motivo, la fuerza axial en las columnas se modifica. Se observa que el incremento en la carga axial fue mayor cuando se incluyen los disipadores que al usar solamente contravientos. La acción del sismo genera fuerzas de compresión y tensión en la columna, a pesar de ello, al considerar la carga muerta y viva, las fuerzas de tensión se contrarrestan y solo hay esfuerzos de compresión actuando en la columna. En la tabla 7 se compara la eficiencia de las dos técnicas de refuerzo

consideradas. Se comprobó que las respuestas tales como desplazamientos, distorsiones, fuerzas cortantes y momentos disminuyeron más del 80% respecto al edificio original. Con los dos tipos de refuerzos se obtienen resultados favorecedores para todas las respuestas. Las distorsiones para los dos refuerzos están dentro de los límites que exigen las normas consideradas. Los resultados del edificio con disipadores se obtuvieron para un coeficiente del amortiguador igual a $c = 50000$ kg-cm/s, si se desea se puede utilizar un factor $c = 30000$ kg-cm/s con el cual también se obtienen distorsiones dentro de los límites. Otro coeficiente de c no puede utilizarse si se desean respetar los límites de distorsión de entrepiso.

Figura 15. Promedio de las distorsiones del edificio original, con contravientos y con disipadores

Tabla 7. Reducción de la respuesta para las dos alternativas de refuerzo

Respuesta	% de disminución Edificio con disipadores	% de disminución Edificio con contravientos
Desplazamientos	93	83
Distorsiones de entrepiso	93	90
Fuerza cortante	88	83
Momento flexionante	83	79
Fuerza axial	55 C 53 T	61 C 65 T

6. CONCLUSIONES

Se estudia la respuesta de un edificio de concreto que fue afectado por el sismo de 1985 en la Ciudad de México. El daño que experimentó el edificio se limitó a los elementos no estructurales debidos a los desplazamientos laterales provocados por el sismo. Por tal motivo, se decidió rigidizar a la estructura mediante un sistema de contravientos, encamisado metálico de las columnas y refuerzo de los muros de mampostería ligados a la estructura. En septiembre de 2017 ocurre otro temblor que genera nuevamente daños a una cantidad importante de estructuras en la ciudad. Este nuevo evento se caracteriza por un contenido de frecuencias más altas que las del sismo de 1985, lo que afectó principalmente a estructuras con periodos menores.

Al rigidizar a la estructura mediante la adición de contravientos, el periodo del edificio reforzado quedó en la región donde se concentró la energía sísmica, lo que pudo incrementar el riesgo sísmico del

sistema. Como parte del trabajo se evaluó el comportamiento del edificio reforzado con los registros medidos en 2017 y también se evaluó la respuesta utilizando disipadores de tipo viscoso.

A pesar de la posición más desfavorable del edificio en el área del espectro, los resultados de los análisis mostraron que el uso de los contravientos fue positivo y no se esperarían daños en ningún elemento estructural o no estructural, tal y como ocurrió en el edificio real. Por otra parte, el uso de disipadores viscosos mejoró también la respuesta del edificio, pero la ventaja sobre el sistema de contravientos que se obtiene con la demanda sísmica de 2017 es marginal, y es probable que no se justifique el costo de usar estos dispositivos. Para llegar a conclusiones definitivas, es necesario considerar otros posibles escenarios sísmicos para el tipo de suelo donde se ubica el edificio.

7. REFERENCIAS

- Aguilar, J.A., Breña, S.F., Del Valle, E., Iglesias, J., Picado, M., Jara, M. y Jirsa, J.O., (1996), *“Rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in Mexico City”*. Case Studies. Ferguson Structural Engineering Laboratory, PMFSEL 96-3, The University of Texas at Austin.
- Cruz, A., Singh, V.M., Shri, K., y Ordaz, M. (2017), *“¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?”* Revista Digital Universitaria, 18(7).
- Normas Técnicas Complementarias, NTC (1976), *“Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo”*. Diario Oficial del Gobierno del Distrito Federal.
- Normas Técnicas Complementarias, NTC (2017), *“Reglamento de las Construcciones para la Ciudad de México. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo”*. Diario Oficial del Gobierno de la Ciudad de México.
- Plataforma CDMX. (2018). Ciudad de México.: *Comisión para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la CDMX en una ciudad mas resiliente*. Recuperado de <https://plataforma.cdmx.gob.mx/contenido>, 27 agosto de 2018.
- Sismos México. (2017). Ciudad de México.: *Colegio de Ingenieros Civiles de México*. Recuperado de <https://www.sismosmexico.org/mapas>, 30 de julio de 2019.