



CONSTRUCCIÓN

ENTREVISTA

Ramón Aguirre Díaz
El Sacmex necesita una
mayor capacidad ejecutora

DESARROLLO

Panorama general
de los proyectos de APP

TECNOLOGÍA

Análisis dinámico ante
acciones sísmicas

ESTUDIOS

Patologías en estructuras
de concreto armado



Propuestas de la CMIC

para el desarrollo



Evaluación de edificios de acero tras sismos fuertes



HÉCTOR SOTO RODRÍGUEZ
Director general del Centro Regional
de Desarrollo en Ingeniería Civil.

*A la memoria de
Óscar de Buen López de Heredia*

El objetivo fundamental de este artículo es presentar una visión general sobre el comportamiento sísmico de los edificios de acero en el mundo a partir de las experiencias y lecciones específicas derivadas de su desempeño, a fin de mejorar las bases para una metodología actualizada de la evaluación estructural preliminar de este tipo de edificios.

La humanidad ha sufrido a lo largo de su historia el efecto destructivo de los sismos o temblores de tierra de origen natural. Los

Los edificios deben resistir temblores menores sin sufrir daños; temblores moderados sin daños estructurales, pero con algunos daños en elementos no estructurales, y temblores muy intensos sin colapso, pero con daños estructurales y no estructurales, que pueden ser severos. Pero puede ocurrir que, aunque no se presente el colapso, los daños que sufra la estructura sean tales que no resulte económico repararlos, y la construcción se pierda por completo.

Óscar de Buen López de Heredia

tres aspectos fundamentales del problema sísmico son: 1) características propias del temblor: cuándo, dónde y cómo ocurre el sismo; 2) el movimiento del terreno, y 3) el efecto del sismo en las edificaciones.

Los dos primeros aspectos representan el peligro o amenaza sísmica de una determinada región. El tercero se relaciona con la vulnerabilidad (susceptibilidad o predisposición de las edificaciones a sufrir daños estructurales severos ante la ocurrencia de un sismo moderado o fuerte).

Actualmente no es posible modificar la amenaza sísmica, pero sí se dispone de soluciones de ingeniería estructural y sísmica para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones. En general, el comportamiento sísmico de los edificios de acero durante varios sismos moderados y fuertes en el mundo ha resultado satisfactorio, excepto en los temblores de Northridge, California (Estados Unidos), en 1994, y Kobe (Japón) en 1995 (el temblor de Hanshin).

Durante varios sismos intensos (1957, 1979, 1985, 2017), en general las estructu-

ras de acero situados en la Ciudad de México tuvieron un comportamiento satisfactorio. Los pocos daños en edificios de acero en el sismo de 2017 se atribuyen a una ingeniería estructural y sísmica pobres o deficientes.

Daños por sismo en el mundo

La incidencia sísmica global ha aumentado en los últimos años de manera continua y drástica. Los sismos que han afectado gravemente la economía de los países donde acontecen y que han influido en los avances científicos y tecnológicos de las estructuras de acero son: México (1985), Northridge (1994), Kobe (1995) y Nueva Zelanda (2011).

La detección y evaluación correcta de los daños en estructuras de acero tras sismos moderados y fuertes permite a los ingenieros estructuralistas reducir la vulnerabilidad en obras nuevas, lo que redundará en la seguridad sísmica de edificaciones. Por eso importa la participación de los ingenieros especialistas durante cada una de las

fases del proyecto estructural a través de una supervisión oportuna y estricta.

¿De qué le sirve al ingeniero estructuralista, por ejemplo, elaborar un modelo matemático tridimensional muy preciso y abundar en detalles en sus planos estructurales si el constructor o fabricante de la estructura no los realiza adecuadamente y además la supervisión es nula?

Por mencionar otro ejemplo, ¿de qué le sirve al fabricante y montador tomar precauciones especiales en la construcción de la estructura si la conceptualización estructural del edificio es deficiente o desventajosa para resistir los embates de un sismo moderado o fuerte?

Si se elige una configuración estructural desventajosa, puede ser imposible lograr un edificio sano, a pesar de que el diseño estructural sea correcto. Los errores en la concepción general de la estructura que debe soportar las acciones sísmicas son causa frecuente de daños estructurales severos.

Emilio Rosenblueth Deutsch (1926-1994), cofundador del Instituto de Ingeniería de la UNAM (1956), afirmaba en

sus conferencias magistrales en foros internacionales de ingeniería sísmica que esta especialidad es la corona de todas las materias de diseño estructural, y que en los temblores fuertes es donde salen a relucir las deficiencias del diseño estructural; sin embargo, también mencionaba que muchas estructuras no se colapsaban por las sobrerresistencias de los materiales de construcción.

Causas particulares de daños en la CDMX, Northridge y Kobe

Los daños causados en los edificios metálicos por los sismos de septiembre de 1985 en la Ciudad de México, de acuerdo con el proyecto de evaluación, se resumen en los siguientes:

1. Problemas estructurales severos en estructuras antiguas por la eliminación de muros que contribuían a resistir las acciones sísmicas.
2. Pandeo local y general de diagonales de contraventeo concéntrico en X.
3. Insuficiente ductilidad en estructuras de marcos rígidos con vigas de alma abierta (armaduras).

4. Pandeo local en columnas tipo cajón de cuatro placas soldadas al desprenderse las soldaduras de filete que unen las placas.

Las causas específicas de daños por el sismo de 1994 en Northridge, California, fueron las siguientes:

1. Falla frágil de soldaduras en miles de conexiones trabe-columna en más de 150 edificios de acero de mediana altura.
2. Pandeo local y general por pandeo inelástico de diagonales de contraventeo concéntricos en X, bajo cargas repetidas en marcos rígidos de edificios de mediana altura.
3. Fracturas de placas base de columnas.
4. Fracturas de las placas de cortante de conexiones soldadas rígidas trabe-columna.

En Kobe, Japón, durante el sismo del año 1995, las causas de daños en edificios de acero fueron:

1. Aproximadamente 40% de las estructuras con colapso parcial y total eran de concreto reforzado, de acuerdo con información de Óscar López Bátiz del Centro Nacional de Prevención de Desastres.
2. Fallas en contraventeos concéntricos en forma de X, similares a las detectadas tras el sismo de Northridge.
3. Fallas frágiles en miles de soldaduras de penetración completa de conexiones rígidas trabe-columna. Columnas de secciones estructurales huecas HSS.

Sigue >>

SI BIEN EN LA CIUDAD DE MÉXICO NO SE HAN PRESENTADO DAÑOS SIMILARES A LOS DETECTADOS DURANTE LOS SISMOS DE NORTHRIDGE Y KOBE, EL AUGE RECIENTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS ALTOS OBLIGA A CONTAR CON UNA SUPERVISIÓN MÁS ESTRICTA Y A TOMAR PRECAUCIONES ESPECIALES EN EL DISEÑO (CONCEPCIÓN EFICIENTE), DETALLADO Y FABRICACIÓN DE LAS CONEXIONES RÍGIDAS TRABE-COLUMNA.

4. Fractura frágil horizontal de columnas del conjunto habitacional Ashiya.
5. Daños cuantiosos por incendios en una gran superficie de la ciudad.

Reforzar las conexiones trabe-columna de un edificio de acero dañadas severamente por sismos de magnitud moderada es corregir, tarde y a mayor costo, lo que debió hacerse antes y durante cada una de las etapas de diseño y ejecución de dichas uniones.

Si bien en la Ciudad de México no se han presentado daños similares a los detectados durante los sismos de Northridge y Kobe, el auge reciente en la construcción de edificios altos obliga a contar con una supervisión más estricta y a tomar precauciones especiales en el diseño (concepción eficiente), detallado y fabricación de las conexiones rígidas trabe-columna.

Otros sismos

Tras el sismo de Nueva Zelanda del 22 de febrero de 2011, $M = 6.3$, el comportamiento de los edificios de acero de mediana altura fue satisfactorio. A continuación se describen tres ejemplos.

Caso 1. Edificio Club Tower de 12 niveles. Estructuración a base de marcos rígidos y marcos con contraventeos excéntricos. Sistema de piso compuesto acero-concreto a base de los acero. Forma geométrica irregular en planta. Desplome ≈ 35 -45 mm, dentro de las tolerancias de construcción (70 mm); 0.14% deflexión residual máxima; daños mínimos: la guía carril del elevador se tuvo que realinear. Los eslabones de marcos con contraventeo excéntrico (EBF) fluyeron. Sin otro daño estructural



o no estructural que reparar; el edificio se ocupó inmediatamente después del sismo.

Caso 2. Edificio de 23 niveles. Marcos rígidos y marcos con contraventeos excéntricos. Sistemas de piso a base de los acero y diafragma de transferencia en nivel 6. Desplome de 60 mm a media altura, el cual se redujo a 45 mm en réplicas posteriores; 30 mm de desplome en la azotea; abajo de 0.1% de la deflexión residual. Daño mínimo: se reemplazaron dos eslabones de corte de los marcos rígidos excéntricos y se realinearon guías carriles de elevadores; la construcción se ocupó poco después del sismo. Los edificios de altura similar con es-

tructura de concreto reforzado resultaron con mayor daño.

Caso 3. Estacionamiento. Edificio de tres niveles con estructura de concreto prefabricado; sistema estructural a base de marcos resistentes a momento y marcos con contraventeos excéntricos de acero. Alta redundancia de la estructura en dos direcciones ortogonales.

Los marcos resistentes a cargas verticales presentaron daños estructurales mínimos. Los marcos a momento con los contraventeos excéntricos desarrollaron demandas inelásticas y fractura en algunos eslabones, la mayoría sin daño estructural severo. Los eslabones de corte con daño estructural severo se reemplazaron. Se colocaron soportes laterales para mejorar la resistencia al pandeo lateral por flexotorsión de las trabes de los marcos excéntricos. Se detectaron fallas por pandeo en algunas diagonales de contraventeo. El edificio regresó a operar al término de esta reparación. En edificios estructurados a base de marcos resistentes a momento se cayeron los pretilos de concreto, y hubo otros daños en elementos no estructurales. Muchos edificios de concreto reforzado se demolieron por haber sufrido daños estructurales graves.

Después del sismo de Haití del 12 de enero de 2010, se presentó la destrucción total de Puerto Príncipe. Se trató de un movimiento superficial en zona densamente poblada. Hubo más de 300 mil víctimas fatales.

Con respecto al sismo de Chile del 27 de febrero 2010, se tuvieron daños esencialmente por la acción combinada de tsunamis, viento, sismo e incendio.

Bases de la metodología para la CDMX

Se presentan a continuación puntos de vista particulares que están sujetos a discusión con los especialistas en ingeniería estructural y sísmica. Se tienen diversos casos de evaluación estructural preliminar en la Ciudad de México ante una contingencia sísmica:

- Edificaciones que deben ser demolidas por haber sufrido daños severos durante los sismos de 1985 y que continúan representando un riesgo para la población y su entorno (edificios de alto riesgo).
- Edificios y vecindades en malas condiciones ubicados en el Centro Histórico de la Ciudad de México, los cuales carecen de medidas de seguridad y en los que habita un número elevado de familias de bajos recursos económicos.
- Edificios que sufrieron daños estructurales durante los sismos de 1985 y 2017

y que a la fecha no han sido dictaminados seriamente.

- Edificios que tuvieron un comportamiento satisfactorio durante los sismos de 1985 y que fueron diseñados con reglamentos anteriores al vigente.
- Edificios antiguos que sufrieron daños estructurales considerables y que se encuentran en mal estado; algunos son casas y monumentos históricos. Sus reparaciones requieren procedimientos especiales y costosos.

Después de cada sismo intenso, un buen número de edificios con daños estructurales fuertes y muy severos deben evaluarse para decidir si se reparan o demuelen. En caso de repararlos, es preciso definir cómo debe llevarse a cabo el refuerzo.

Inmediatamente después de ocurrir un sismo moderado o fuerte en la Ciudad de México o en el interior del país, existe la necesidad de coordinar varias dependen-

cias de gobierno y a la sociedad. Es deseable que los diversos grupos de atención que colaboran en situaciones de emergencia estén debidamente organizados. Esto trae como consecuencia una mayor eficiencia de las instituciones que participan, mejor planeación de actividades y manejo del riesgo.

Evaluaciones estructurales tras sismos fuertes

Evaluación preliminar

Revisión ocular rápida de una estructura dañada por sismo para identificar y describir el edificio (ubicación, uso, número de pisos, año de construcción, superficie construida, zona sísmica a la que pertenece, etc.) y daños existentes, sistema estructural y comportamiento general. Incluye un informe breve del resultado de la inspección, recomendaciones generales sobre el estado que guarda la construcción y un reporte fotográfico para identificar las zonas de mayor daño. Uno de los objetivos principales de esta evaluación es clasificar las edificaciones que revisten mayor riesgo estructural, con el fin de efectuar en una segunda etapa un estudio más detallado (inspección detallada), así como identificar aquellas que no presentan problemas de seguridad estructural y que pueden continuar en uso.

Evaluación detallada del estado estructural general

Consiste en determinar las condiciones en que se encuentra cada uno de los elementos estructurales dañados que conforman el esqueleto del edificio, es decir; identificación y descripción de daños en una estruc-



Proporcionada por el autor

LA EVALUACIÓN DETALLADA DEL ESTADO ESTRUCTURAL GENERAL CONSISTE EN DETERMINAR LAS CONDICIONES EN QUE SE ENCUENTRA CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DAÑADOS QUE CONFORMAN EL ESQUELETO DEL EDIFICIO, ES DECIR, IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE DAÑOS EN UNA ESTRUCTURA: GRIETAS EN LOSAS, TRABES, COLUMNAS, MUROS, UNIONES TRABE-COLUMNA, PLACAS BASE Y CONTRAVENTEOS; HUNDIMIENTOS, DESPLONES Y DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

tura: grietas en losas, trabes, columnas, muros, uniones trabe-columna, placas base y contraventeos; hundimientos, desplomes y daños en elementos no estructurales (cubos de elevadores, escaleras, instalaciones, recubrimientos, plafones, fachadas, etcétera).

Recomendaciones para las grandes obras de infraestructura de la CDMX

1. Los centros urbanos y obras de infraestructura importantes deben desarrollarse de acuerdo con las áreas de menor riesgo sísmico.
2. Limitar el tamaño de las concentraciones urbanas y servicios estratégicos en zonas de alta sismicidad.
3. Para los edificios construidos en suelos blandos, se recomienda llevar un control periódico de nivelaciones y desplomes.
4. Los edificios construidos con normas de diseño y construcción anteriores a 1985 deberán ser reforzados para que tengan un comportamiento satisfactorio durante sismos moderados y fuertes.
5. Durante las operaciones normales de un edificio, se recomienda dar man-

tenimiento continuo adecuado a su estructura, equipo e instalaciones para evitar una falla prematura o un funcionamiento incorrecto.

6. Los propietarios o poseedores de inmuebles dañados por sismo deberán recurrir a un director responsable de obra y a un corresponsable en seguridad estructural para efectuar un dictamen de estabilidad estructural.

Conclusiones

Construir edificios de acero altos con excesivas irregularidades en zonas de riesgo potencial elevado (zona de suelo blando de la Ciudad de México) obliga a diseñar estructuras absolutamente seguras, con una concepción ventajosa contra sismos moderados y fuertes y un costo elevado para los inversionistas, que debe incluir un diseño estructural muy cuidadoso y bien remunerado.

Hoy en día, la ingeniería estructural y sísmica mexicanas disponen de soluciones adecuadas que, mediante el uso de métodos de análisis confiables, criterios de diseño reconocidos, estudios geotécnicos profesionales, distintos materiales de construcción, sistemas estructurales novedosos y ventajosos, disipadores de energía

y aisladores de base, permiten reducir la respuesta a sismos fuertes y moderados en cualquier estructura.

Gracias a estos avances tecnológicos recientes y al comportamiento sísmico satisfactorio de las estructuras de acero, éstas tendrán una mayor presencia en las obras de infraestructura a lo largo y ancho del México moderno. Sin embargo, hablando de otro tipo de estructuras, en numerosas comunidades de la costa del Pacífico falta mucho por hacer, especialmente en vivienda rural, donde la intervención del especialista en estructuras es poca y continúan repitiéndose errores, por ejemplo, el uso de mampostería de adobe sin confinamiento, combinada con sistemas de cubiertas que no están adecuadamente unidas a dichos muros.

Tanto la vulnerabilidad como el peligro sísmico están íntimamente relacionados con la marginación y pobreza extrema de nuestro país 🛑

El Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil invita a los lectores a las siguientes actividades: Seminario Práctico de Naves Industriales, Toluca, 27 al 29 de septiembre de 2018; Reunión Nacional de Vivienda Sismorresistente y Sustentable, Morelia, 5 al 7 de diciembre de 2018. Informes al teléfono 01-(443) 3 19 89 37 o a los correos electrónicos crdic@hotmail.com, crdic@prodigy.net.mx y hectorsotomor@gmail.com