

CONSTRUCCIÓN

647

Año 66
Febrero
2021

\$60

FINANZAS

Clasificación
de estimados de costos

INNOVACIÓN

Sistemas de Información
en la construcción

GREMIO

Constru Compra, una solución
para un 2021 complicado

PLANEACIÓN

Arrendamientos,
tratamiento contable y fiscal

Desafíos y perspectivas del sector construcción

Modificaciones a las NTC-DCEA y su impacto en el diseño estructural de edificios



En memoria del maestro Óscar de Buen López de Heredia

En este trabajo se presenta un breve resumen de los aspectos más significativos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero de la Ciudad de México 2020; se hace énfasis en algunos de los temas que han experimentado los cambios más importantes.

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

El principal objetivo de este artículo es presentar una breve descripción de los aspectos más importantes de las principales modificaciones y aportaciones que realizó el Comité Técnico Asesor del Gobierno de la Ciudad de México a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero correspondientes al Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, en su edición 2019, publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el pasado 7 de julio de 2020 (en lo sucesivo: NTC-DCEA-CDMX-2020). Se hace énfasis particular en los puntos medulares en que las NTC-DCEA-CDMX-2020 difieren de las ediciones anteriores.

La utilidad de este trabajo será muy limitada si a lo largo de su lectura no se consultan simultáneamente las normas vigentes.

Luego de los sismos del 7 y el 19 de septiembre del 2017, se publicó el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (RC-CDMX-2017) con sus normas técnicas complementarias de diseño y construcción de los tipos comunes de estructuras para edificios urbanos e industriales. Sin embargo, los graves daños ocasionados por los sismos referidos no fueron precisamente la razón principal para publicar el nuevo reglamento y sus normas técnicas, ya que desde varios años antes los comités técnicos asesores del Gobierno de la Ciudad de México habían avanzado sustancialmente en la actualización de la normatividad.

En su caso particular, las NTC-DCEA-CDMX-2020 se han actualizado completamente; de hecho, algunos capítulos se volvieron a escribir, para incluir: las lecciones aprendidas de sismos intensos alrededor del mundo, los resultados de pruebas de laboratorio sobre el comportamiento de este tipo de estructuras, sistemas estructurales novedosos, requisitos estrictos

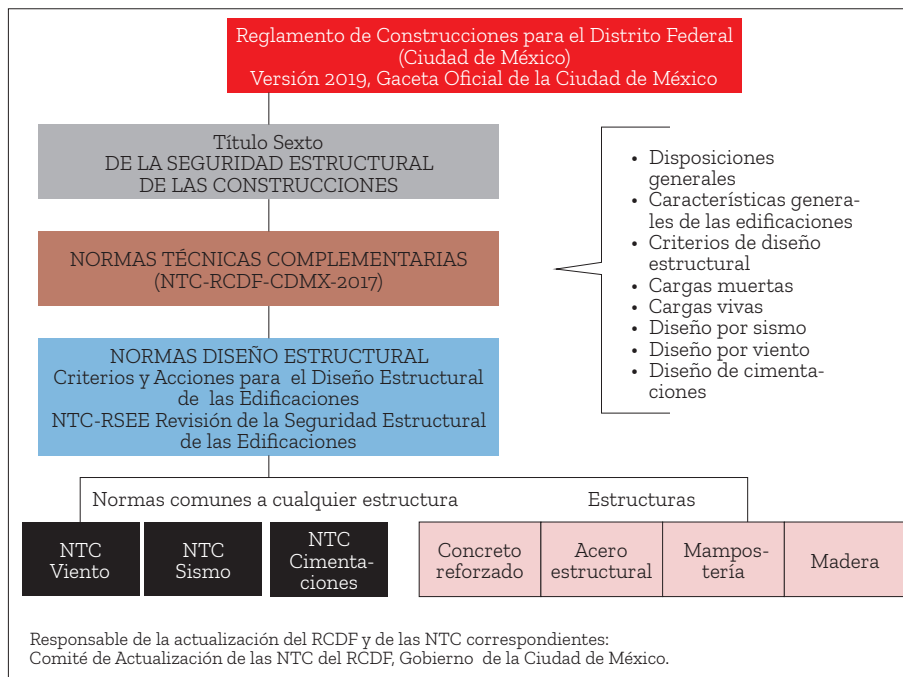


Figura 1. Normas técnicas complementarias en el reglamento de construcciones de la ciudad.

para estructuras de acero ubicadas en zonas de alta sismicidad, nuevas disposiciones para el diseño y fabricación de conexiones soldadas y atornilladas, así como aportaciones de los especialistas que intervinieron en las modificaciones más importantes de dichas normas, encabezados por Óscar de Buen López de Heredia, quien fue el líder máximo de las estructuras de acero en nuestro país durante muchos años. Tanto las valiosas aportaciones como las meritorias experiencias prácticas del maestro Óscar de Buen López de Heredia quedaron plasmadas en comentarios y citas en el cuerpo principal de estas reglas de diseño.

Es evidente que las NTC-DCEA-CDMX-2020 son más estrictas y restrictivas, y su correcta aplicación y vigilancia por parte de las autoridades permite obtener la seguridad

adecuada en las edificaciones de acero contemporáneas que se están construyendo en México.

Las NTC-DCEA-CDMX-2020 están compuestas por las 13 secciones y siete apéndices siguientes:

Secciones

1. Consideraciones generales
2. Análisis y diseño de elementos y sistemas estructurales
3. Propiedades geométricas
4. Miembros en tensión
5. Miembros en compresión
6. Miembros en flexión (vigas y trabes armadas)
7. Miembros en cortante
8. Miembros bajo cargas combinadas
9. Miembros compuestos
10. Conexiones
11. Estados límite de servicio
12. Estructuras dúctiles
13. Ejecución de las obras

Apéndices

- a) Diseño plástico
- b) Placas base
- c) Conexiones de perfiles estructurales huecos (HSS) y en cajón de paredes de grueso uniforme
- d) Diseño por fatiga
- e) Edificios de un piso
- f) Análisis sísmico
- g) Documentos de consulta

Criterios de diseño

Se conserva la filosofía de diseño con base en la verificación de los estados límite de falla y de servicio (relativos a seguridad estructural y condiciones de servicio). Dichos estados representan los límites de utilidad estructural de un miembro o de una estructura completa.

Acción de diseño ≤ resistencia de diseño

$$\Sigma F_c (CM + CV + S) \leq F_R R_n$$

donde:

F_c = factores de carga: 1.3 para la carga muerta (CM) y 1.5 para la viva (CV)

CM = carga muerta (acción permanente)

CV = carga viva (acción variable)

S = sismo (acción accidental)

F_R = factor de resistencia. Toma en cuenta el modo de falla del elemento estructural. = 0.75 (falla frágil ocasionada por fractura o ruptura del acero o de los sujetadores: tornillos de alta

Sigue >>>

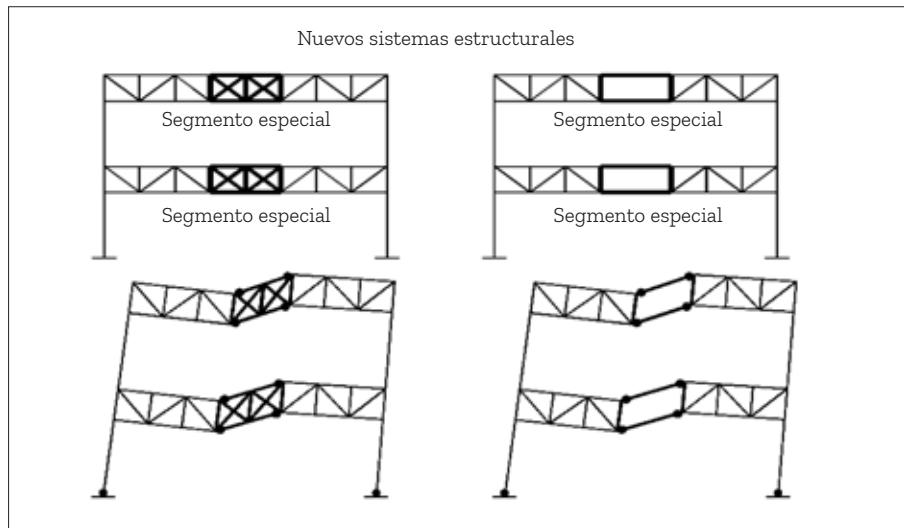


Figura 2. Sistemas estructurales.

resistencia ASTM (NMX-B) o soldaduras de cualquier tipo = 0.90 (falla dúctil por fluencia en los diversos miembros o conexiones de acero)

R_n = Resistencia nominal que se obtiene de las NTC-DCEA-CDMX-2017

Las disposiciones y recomendaciones de diseño tienen por objeto obtener estructuras que se comporten correctamente en condiciones de trabajo y que tengan una seguridad adecuada contra el colapso, al mismo tiempo que satisfagan consideraciones muy importantes de funcionamiento y economía.

Principales modificaciones

Los cambios más importantes en las NTC-DCEA-CDMX-2020 se resumen en los siguientes:

1. Inclusión de perfiles pesados, laminados o fabricados con placas soldadas (perfiles IS).
2. Incorporación de tornillos ASTM F1852, A354 (H-122) grado BC y BD, F2280.

3. Definición de las características de rigidez, resistencia y ductilidad de conexiones semirrígidas.
4. Métodos de análisis y diseño de estructuras, que incluyen los efectos de estabilidad:

- a) Método directo
- b) Método de longitud efectiva

Se basan en las imperfecciones iniciales y en aplicar fuerzas laterales ficticias (FLF). Estas fuerzas también se denominan virtuales o nocionales en la bibliografía especializada.

5. En miembros en tensión, se definen claramente los factores de rezago por cortante U, que reducen el área neta de las conexiones extremas de dichos miembros.
6. Miembros armados.
7. Se adicionaron tablas similares a la especificación ANSI-AISC 360/16, que indican los estados límite aplicables a diversas secciones de vigas.
8. En sistemas estructurales, se adicionaron disposiciones de

diseño para marcos con contraventeos excéntricos (MCE) y se incluyeron marcos con contraventeos restringidos contra el pandeo (MCRP), los marcos con armaduras especiales (MAE) que contienen tableros con diagonales en X y tipo Vierendeel y marcos con tableros de placas dúctiles (TPD) para estructuras con ductilidad alta ($Q = 4$).

9. En las conexiones trabe-columna, se introducen nuevos conceptos: soldaduras de demanda crítica, zonas protegidas que influyen notablemente en el comportamiento sísmico de los edificios de acero y que ameritan precauciones especiales de diseño, detallado y fabricación.

Esta información se basa en las juntas precalificadas ensayadas tras el sismo del 17 de enero de 1994 de Northridge, California, y del 17 de enero de 1995 de Kobe, Japón (exactamente un año después).

Es importante mencionar que los dos temblores indicados ocasionaron prácticamente los mismos modos de falla y colapsos parciales y totales en edificios de concreto reforzado. El de Northridge representa otra catástrofe natural en la historia de las estructuras de acero en Estados Unidos, y el de Kobe, una gran lección para los ingenieros estructurales de Japón, quienes se han distinguido por contar con una ingeniería sismorresistente de vanguardia mundial.

Para facilitar la aplicación de las NTC-DCEA-CDMX-2020 se han incluido figuras aclaratorias en buena parte de las normas. Hace ocho años, se publicó el Manual de Diseño de Estructuras de Acero, en el que se propuso la iniciativa para interpretar el contenido de las normas de uso común en México con figuras ilustrativas.

Temas pendientes

En la siguiente edición de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero sería conveniente incluir los siguientes temas especiales:

1. Acción de palanca (*prying action*) en el diseño de miembros en tensión
2. Métodos de diseño para grupos de soldaduras y tornillos de alta resistencia cargados excéntricamente
3. Recomendaciones generales para la incorporación de disipadores de energía.

Ayudas de diseño

Como parte complementaria de las NTC-DCEA-CDMX-2020, se sugiere asimismo desarrollar una buena cantidad de ayudas de diseño para miembros estructurales y conexiones.

Requisitos sísmicos

Como es sabido por los especialistas de este tipo de construcción, las estructuras de acero diseñadas en zonas de alta sismicidad deben tener

una capacidad importante de deformación inelástica ocasionada por la fluencia por flexión de las traveses.

Ahora el diseño no se hace para las fuerzas obtenidas del análisis estructural, sino para las resistencias nominales de los miembros que se emplean realmente en la estructura, y se evita de este modo que las conexiones fallen antes de que se presenten las deformaciones inelásticas necesarias.

Se considera que las traveses dúctiles tienen deformaciones plásticas importantes y conciben un momento máximo probable cuando se desarrollan las articulaciones plásticas.

La conexión trabe-columna debe admitir una distorsión de entrepiso igual a 0.04 rad. La resistencia en flexión de la conexión, determinada en la cara de la columna, debe ser igual o mayor que el 80% del momento plástico de la trabe conectada.

da, cuando la distorsión del entrepiso es de 0.04 radianes.

Las zonas extremas de traveses sujetas a deformaciones inelásticas se consideran zonas protegidas (ZP), que deben cumplir con varios requisitos. Las ZP son las partes de miembros de la estructura que resisten las acciones sísmicas; se espera que se comporten inelásticamente durante sismos moderados y fuertes.

Zonas protegidas

En los patines superiores de las traveses, por ejemplo, no se deben colocar piezas de apoyo para elementos no estructurales. No se permite colocar pernos conectores de cortante soldados, ni elementos de la lámina de piso unidos por medio de soldaduras. Se prohíben, además, las discontinuidades creadas por cambios bruscos de sección de las traveses, agujeros, cortes con arco aire o soplete. En los planos

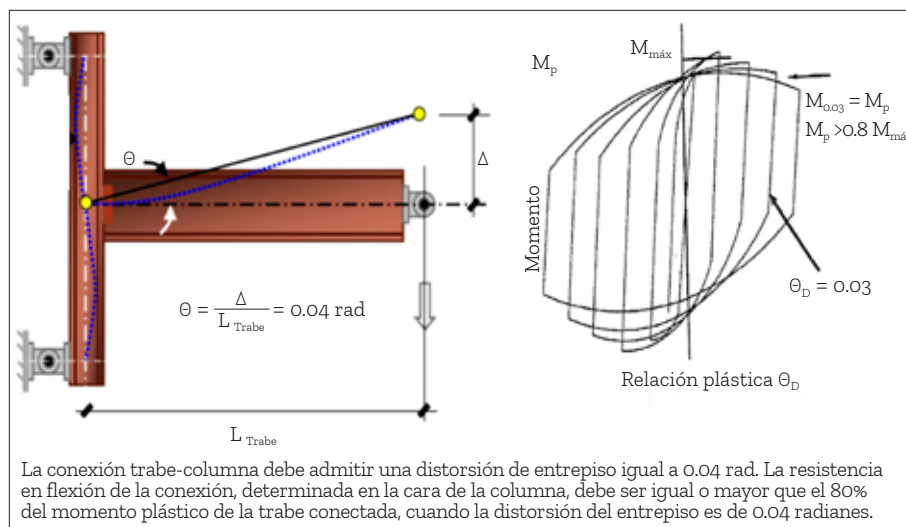


Figura 3. Conexión trabe-columna.

estructurales y en las piezas fabricadas deben indicarse las partes de miembros estructurales que resisten las acciones sísmicas y que se espera que se comporten inelásticamente durante varios sismos relevantes.

Es importante:

1. No soldar conectores de cortante.
2. No hacer perforaciones, no atornillar, ni soldar.
3. No ligar ningún componente no estructural (instalaciones, ductos u otros).
4. Recordar que se permiten puntos de soldadura para fijar la losa.
5. No hacer empalmes de ningún tipo en traveses o en cubreplacas de vigas.

Se considera que las soldaduras de penetración completa entre los patines de traveses y columna y las de las placas de continuidad son soldaduras de demanda crítica (SDC). Estas son las que resisten las acciones sísmicas y que requieren metal de aportación con propiedades particulares y condiciones especiales de colocación e inspección.

Las soldaduras de penetración completa (SPC), consideradas soldaduras DC, se depositan con el proceso de soldadura de electrodo con corazón de fundente (FCAW).

Materiales de aportación

Deben utilizarse electrodos con $4,900 \text{ kg/cm}^2$ (480 MPa) de resistencia a la ruptura en tensión:

Requisitos sísmicos
Las estructuras de acero diseñadas en zonas de alta sismicidad deben tener una capacidad importante de deformación inelástica ocasionada por la fluencia por flexión de las traveses.

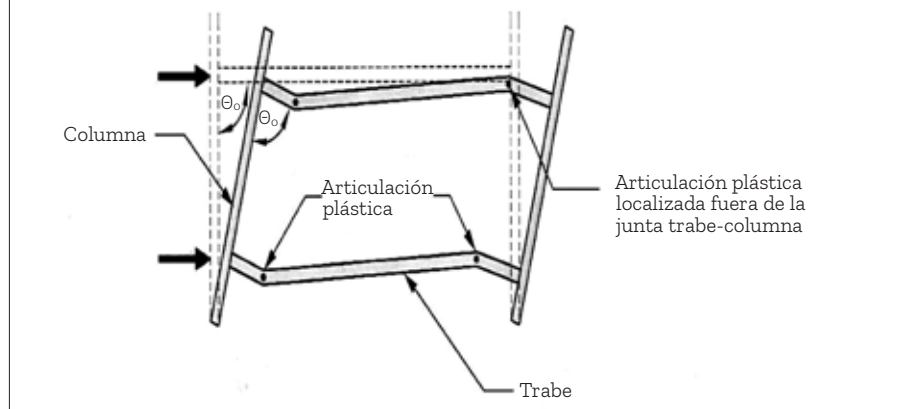


Figura 4. Estructuras de acero en zonas de alta sismicidad.

E7018H4R
E70T-1MJH8

donde

H4: Nivel de hidrógeno

R: Cumple con los requisitos de la prueba de absorción de humedad

T: Tubular

1: Uso y desempeño

M: Mezcla de gases

Todo el metal de aportación tendrá una tenacidad, determinada con pruebas Charpy en V, no menor que 27 J a 255 K (-18°C) (20 ft-lb a 0°F).

El metal de aportación para las soldaduras definidas como de demanda crítica tendrán una tenacidad Charpy en V no menor que 27 J a 255 K (-18°C) (20 lb-ft a 0°F) ni que 54 J a 293 K (20°C) (40 ft-lb a 70°F) ni 83 K (10°C , 50°F).

Si la temperatura de servicio mínima esperada (TSME) de la estructura terminada es menor que 283 K

(10°C , 50°F), el valor mínimo de 54 J (40 lb-ft) indicado se proporcionará a una temperatura no mayor que 10 K (10°C , 20 arriba de la TSEM).

Otros títulos y normas obligatorias para el diseño de estructuras de acero para edificios

Recuérdese que las NTC-DCEA-CDMX-2020 se complementan con otros títulos y normas obligatorias para el diseño de estructuras de acero para edificios en la Ciudad de México, publicados en la Gaceta Oficial de dicha ciudad:

1. Título Sexto. De la Seguridad Estructural de las Construcciones (actualmente en revisión final)
2. Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (publicadas el 15 de diciembre de 2017)

3. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo con Comentarios (publicadas el 9 de junio de 2020)
4. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento
5. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones

Otra referencia complementaria y de gran importancia en el proyecto ejecutivo de las edificaciones de la Ciudad de México es el Manual del DRO, que es un apoyo para el director responsable de obra y para el corresponsable, el constructor, el supervisor y el propietario de una edificación urbana.

Finalmente, se debe mencionar la importancia de las actividades al servicio de la sociedad que realiza el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México, que atiende principalmente las solicitudes de dictámenes estructurales de edificios afectados por sismos en esta gran ciudad y detecta, previene y mitiga daños estructurales en aquellos que se encuentran altamente vulnerables.

Conclusiones generales

Se ha presentado un breve resumen de los aspectos significativos y más importantes de las NTC-DCEA-CDMX-2020; en éste, se ha hecho énfasis en algunos de los temas que han experimentado cambios más sustanciales.

Las disposiciones de diseño contenidas en las NTC-DCEA-CDMX-2020 tienen como propósito obtener estructuras que se comporten satisfactoriamente durante sismos moderados y fuertes, con una seguridad adecuada contra el colapso y que al mismo tiempo satisfagan premisas importantes de funcionamiento y economía razonable. Con la edición de las NTC-DCEA-CDMX-2020, la Ciudad de México cuenta con una de las especificaciones más avanzadas y actualizadas de América Latina y del mundo. Es decir, con la reciente actualización de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (que son normas oficiales locales), se han perfeccionado las bases técnicas para poner a la CDMX a la par de cualquier otro país de alto nivel de desarrollo tecnológico.

Así pues, los ingenieros estructuralistas mexicanos tienen una normatividad muy avanzada (aliada imprescindible) para diseñar los megaproyectos de acero estructural con la máxima eficiencia en los siguientes años. Para ello, se requiere gran responsabilidad y alta calidad profesional.

Hace falta vigilar de manera más estricta la actuación de todos los involucrados en esta especialidad para reducir los riesgos estructurales de las edificaciones de acero durante sismos futuros en la CDMX, aplicando valores éticos y morales en beneficio de la sociedad a la que nos debemos.

Por otro lado, con la publicación del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (RC-CDMX-2019), los estados de la República mexicana tienen la oportunidad de actualizar de una vez por todas las normas de diseño y construcción de estructuras de sus ciudades y municipios, tomando como modelo las normas de la Ciudad de México. Solamente hay que tener en cuenta que en la elaboración de las normas del interior del país han de considerarse sus condiciones locales: tipos de suelo y sismicidad.

En provincia pocas veces se efectúa una revisión cuidadosa del diseño estructural de una edificación en el momento de tramitar su licencia de construcción. Frecuentemente este documento se entrega con requisitos mínimos, a veces solamente con su pago en ventanilla.

Consecuentemente, si se cumplen las disposiciones de las normas indicadas, los edificios de acero que se construyan en el futuro inmediato tendrán la seguridad requerida, indicada en los reglamentos de construcciones y normas técnicas complementarias, que tienen la finalidad de proteger principalmente la vida humana y el contenido de las edificaciones 🛑

Este artículo se basa en la conferencia Modificaciones a las normas de estructuras de acero en México y su impacto en el diseño de edificios después de los sismos de 2017, presentada durante la celebración del XVII Ciclo de Conferencias Nuevos Retos en la Gestión de Infraestructura a Partir de la Experiencia del Sismo de Septiembre de 2017 con homenaje a Luis Palomino Rivera, llevado a cabo del 1 al 5 de octubre de 2018 en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.