

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



VOLÚMEN 4. Seguridad Estructural

TOMO 6. Estructuras de Acero y Compuestas

NORMATIVIDAD E INVESTIGACIÓN
Revisión Junio 2023



INDICE

ESTRUCTURAS DE ACERO Y COMPUESTAS	5
1 Disposiciones generales	5
1.1 Alcance	5
1.2 Unidades	5
1.3 Especificaciones	5
1.4 Materiales	6
1.5 Planos y especificaciones de diseño y fabricación	7
2 Requisitos de diseño	7
2.1 Disposiciones generales	7
2.2 Bases del diseño	7
2.3 Bases de diseño en conexiones	8
3 Propiedades de las secciones	8
3.1 Dimensiones y propiedades geométricas	8
3.2 Áreas netas	8
3.3 Clasificación de secciones para pandeo local	9
3.4 Clasificación de las secciones para diseño sismorresistente	9
4 Diseño por Estabilidad	9
5 Diseño de miembros de acero estructural	9
5.1 Miembros en tensión	9
5.2 Miembros en compresión	10
5.3 Miembros en flexión	10
5.4 Miembros en cortante	10
5.5 Miembros en torsión y bajo cargas combinadas de torsión, flexión, cortante y/o carga axial	10
5.6 Miembros en flexocompresión y en flexotensión	11
6 Diseño de miembros compuestos	11
7 Diseño de conexiones	11
7.1 Disposiciones generales	11

7.2 Soldaduras	12
7.2.1 Soldaduras de ranura con penetración en la junta	12
7.2.2 Soldaduras de filete	13
7.2.3 Soldaduras de tapón circular y tapón alargado	14
7.3 Tornillos y barras roscadas	14
7.4 Elementos de conexión	16
7.5 Placas de relleno en conexiones soldadas	17
7.6 Resistencia al aplastamiento	17
7.7 Placas base en columnas y aplastamiento del concreto	17
7.8 Pernos de anclaje y empotramientos	17
7.9 Patines y almas con fuerzas concentradas	17
7.10 Conexiones entre perfiles con secciones estructurales huecas (SEH)	18
8 Diseño de miembros de acero formados en frío	18
9 Estados límite de servicio	19
9.1 Contraflechas	20
9.2 Expansiones y contracciones	20
9.3 Deflexiones	20
9.4 Vibraciones	21
9.5 Desplazamientos laterales	22
9.6 Fuego y explosiones	22
9.7 Corrosión	22
10 Requisitos de ductilidad para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas	23
10.1 Marcos rígidos ordinarios	23
10.2 Marcos rígidos especiales	24
10.3 Marcos rígidos con armaduras especiales	24
10.4 Sistema de columnas de acero en voladizo	25
10.5 Marcos con contraventeo concéntrico ordinario	25
10.6 Marcos con contraventeo concéntricos especial	25
10.7 Marcos con contraventeo excéntricos	25
10.8 Marcos con contraventeo restringido a pandeo	25

10.9	Marcos con muros de cortante con placa de acero	26
10.10	Marcos compuestos con muros de concreto	26
10.11	Marcos con muros compuestos rellenos de concreto	26
10.12	Otros sistemas estructurales	26
11	<i>Ejecución de las obras</i>	26
12	<i>Control y aseguramiento de la calidad</i>	27
13	<i>Diseño por cargas de encharcamiento</i>	27
14	<i>Diseño por fatiga</i>	27
15	<i>Evaluación y reparación de estructuras existentes</i>	27
16	<i>Casos especiales</i>	27

ESTRUCTURAS DE ACERO Y COMPUESTAS

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Alcance

La presente sección aplica al diseño de estructuras de acero, con o sin trabajo en acción compuesta con el concreto, de la infraestructura física educativa. Las presentes disposiciones establecen el criterio para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero en edificios y en otras estructuras similares a edificios, destinadas para la infraestructura física educativa.

Los requisitos generales de diseño se presentan en los tomos respectivos respectivamente.

En este tomo se permite que el diseño de las estructuras de acero, sin o con acción compuesta con secciones de concreto, se realice aplicando la Especificación IMCA, o bien, las NTC-Acero siempre que todo el diseño sea consistente al aplicar solo uno de estos documentos. No se permite combinar estos documentos para un mismo diseño, a menos que se demuestre consistencia en el nivel de seguridad.

Cuando se juzgue pertinente, la aplicación de normas, especificaciones, guías o manuales distintos a los referidos en presente tomo, regirán las especificaciones que provean a la estructura del mayor nivel de seguridad.

Cuando existan condiciones no previstas en esta sección, se permite que el diseño se base en pruebas o análisis sujeto a la aprobación de la autoridad local. Se permiten otros métodos de análisis y diseño siempre que sean aceptados por la autoridad local.

1.2 Unidades

Se debe aplicar lo que se estipula en el Tomo I. Por conveniencia con la práctica local, algunas disposiciones de este Capítulo también incluyen datos en unidades del sistema inglés entre paréntesis.

1.3 Especificaciones

Los materiales deben cumplir con las Normas Mexicanas (NMX) que se indiquen en la presente en este Tomo; por conveniencia, adicionalmente se indica entre paréntesis una norma internacional o extranjera equivalente. En ausencia de una Norma Mexicana, el presente Tomo solo menciona la norma internacional o extranjera aplicable.

El presente Tomo se complementa con los requisitos de diseño de las versiones vigentes de los siguientes documentos técnicos:

- “Manual de Construcción en Acero”. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). En lo sucesivo, este documento se cita como el Manual IMCA.
- “Especificación para el Diseño de Estructuras de Acero”. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). En lo sucesivo, este documento se cita como la Especificación IMCA.
- “Código de Prácticas Generales para la Construcción de Estructuras de Acero”. Instituto Mexicano para la Construcción en Acero (IMCA). En lo sucesivo, este documento se cita como el Código de Prácticas del IMCA.
- “Norma de Certificación para Fabricantes de Acero”. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA).
- “Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero”. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. En lo sucesivo, este documento se cita como la NTC-Acero.
- “AWS D1.1 – Structural Welding Code – Steel”. American Welding Society (AWS). En lo sucesivo, este documento se cita como el Código AWS D1.1.
- “AWS D1.8 – Structural Welding Code – Seismic Supplement”. American Welding Society (AWS). En lo sucesivo, este documento se cita como el Código AWS D1.8.
- “ANSI/AISI S100 – North American Specification for the Design of Cold- Formed Steel Structural Members”. American Iron and Steel Institute (AISI), aprobada en Canadá por CSA group, y endorsada en México por la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO). En lo sucesivo, este documento se cita como la Especificación AISI- S100.
- “Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts”. Research Council on Structural Connections (RCSC). En lo sucesivo, este documento se cita como la Especificación RCSC.
- “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction”. En lo sucesivo, este documento se cita como las Provisiones Sísmicas AISC 341.

1.4 Materiales

Los reportes de pruebas efectuadas al material del productor, el fabricante o pruebas de laboratorio constituyen evidencia suficiente de que el material cumple las normas NMX o las equivalentes ASTM. Estas pruebas en perfiles laminados en caliente, placas y barras deben realizarse conforme con la Norma Mexicana NMX-B-252 (ASTM A6/A6M); para láminas se deben realizar conforme con la Norma Mexicana NMX-B-266 (ASTM A568/A568M).

Existe evidencia en reportes de pruebas efectuadas en placas y perfiles laminados disponibles que, los esfuerzos efectivos de fluencia y últimos, pueden ser mayores a sus valores nominales. Si se presenta este caso, no se admite considerar los esfuerzos máximos esperados para la revisión de las capacidades de los elementos estructurales, excepto en donde se indique explícitamente este incremento en el presente Tomo.

Los materiales sin identificación no deben utilizarse como elementos estructurales. Sin embargo, con aprobación de la autoridad local, se pueden usar los materiales sin identificación para miembros no estructurales, o en donde su falla no represente un peligro para los usuarios, o bien, una reducción de la resistencia de la estructura.

Para cada uno de los certificados de calidad de los perfiles pesados, se requiere la elaboración de una prueba de impacto Charpy con muesca en V conforme con la Norma NMX-B-252 (ASTM A6/A6M). Los perfiles pesados, ya sea laminados o armados, son aquellos con algún espesor en sus componentes, igual o mayor a 51 mm. (2 pulg). La prueba de impacto debe garantizar un promedio mínimo de 27 J (20 lb-pie) de energía absorbida a una temperatura máxima de -18 °C.

En empalmes, perfiles armados por placas, soldaduras de demanda crítica, conexiones atornilladas, o en donde se espera que se desarrollen articulaciones plásticas, la prueba de impacto debe garantizar un promedio mínimo de 54 J (40 lb-pie) de energía absorbida a una temperatura máxima de 20 °C.

1.5 Planos y especificaciones de diseño y fabricación

Los planos y especificaciones de diseño estructural, así como los planos y especificaciones de fabricación, deben cumplir con los requisitos del vigente Código de Prácticas del IMCA.

2 REQUISITOS DE DISEÑO

2.1 Disposiciones generales

El diseño y la fabricación de miembros y conexiones deben ser consistentes con las hipótesis que se asumieron en el análisis estructural y con el comportamiento idealizado de la estructura en cualquiera de sus etapas de construcción, incluido el montaje, condiciones de servicio, y para la carga última.

2.2 Bases del diseño

El diseño de estructuras de acero para la infraestructura física educativa debe efectuarse con el método de diseño por factores de carga y resistencia (DFCR), con el cual se debe garantizar que la resistencia requerida o demanda última, P_u , no exceda la resistencia de diseño de cada miembro estructural, o bien, que el cociente entre la

resistencia requerida entre la resistencia de diseño no exceda la unidad. La resistencia requerida, P_u , se debe determinar a partir de un análisis de segundo orden en la estructura sujeta a las combinaciones de carga. El diseño debe garantizar que ninguna combinación de carga excede un estado límite de resistencia o servicio. La resistencia de diseño correspondiente a cada estado límite, es igual al producto de la resistencia nominal, R_n , por el factor de reducción de resistencia ($\phi = F_R$). En el caso de cargas actuando simultáneamente, aplica la ecuación de interacción que se especifique en cada caso.

2.3 Bases de diseño en conexiones

Los componentes de una conexión se deben diseñar con las disposiciones de la Sección 7. Se permite el uso de conexiones simples, rígidas y semirrígidas, siempre que se garantice que el desempeño de la conexión y del sistema en su conjunto es satisfactorio. Independientemente del tipo, las fuerzas y deformaciones en las conexiones deben ser consistentes con el desempeño esperado e idealizado, así como con las suposiciones consideradas en el análisis estructural.

Excepto donde se indique otra cosa, los diafragmas y arrostros se deben diseñar para las fuerzas que resulten de la aplicación de las combinaciones de cargas en la estructura, o bien, para desarrollar la capacidad máxima del elemento estructural.

Los miembros individuales, las conexiones, así como la estructura en su conjunto, deben garantizar el cumplimiento de los estados límite de servicio como se estipula en la Sección 9.

3 PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

3.1 Dimensiones y propiedades geométricas

La determinación de las resistencias nominales de perfiles laminados en caliente de acero estructural, de perfiles de lámina doblados en frío, así como de algunas secciones armadas, se pueden calcular a partir de las dimensiones y propiedades geométricas reportadas en el Manual IMCA. Para las secciones no reportadas en este Manual se pueden usar las dimensiones y propiedades geométricas reportadas por el productor. En secciones armadas no reportadas, las propiedades geométricas se deben calcular con base en las dimensiones de los elementos que componen la sección transversal.

3.2 Áreas netas

Para fines del cálculo de la resistencia a fractura de miembros en tensión y cortante, el área neta se debe obtener a partir de lo que establece la sección B4.3b de la Especificación IMCA, o bien, el capítulo 2 de la NTC-Acero.

3.3 Clasificación de secciones para pandeo local

Para fines de evaluación de efectos de pandeo local, las secciones en compresión debida a carga axial se clasifican como no-esbeltas (o tipo 3) y esbeltas (o tipo 4) conforme con la tabla B4.1a de la Especificación IMCA, o bien, con la tabla 3.2 de la NTC-Acero. En secciones en compresión debida a flexión, las secciones se clasifican como compactas (o tipo 2), no-compactas (o tipo 3) o esbeltas (o tipo 4) conforme con la tabla B4.1.b. de la Especificación IMCA, o bien, con la tabla 3.3 de la NTC-Acero. En los casos que se mencionen secciones altamente compactas (o tipo 1), estas se definen conforme con la tabla 3.3 de la NTC-Acero.

3.4 Clasificación de las secciones para diseño sismorresistente

Las secciones transversales de todos los miembros que formen parte del sistema resistente a fuerzas sísmicas deben cumplir todos los requisitos de la Sección 10.

4 DISEÑO POR ESTABILIDAD

El diseño por estabilidad de una estructura de acero debe satisfacer lo que indica el capítulo C de la Especificación IMCA, o bien, el capítulo 3 de la NTC-Acero.

Se permite que el análisis de segundo orden se obtenga a través de alguno de los métodos rigurosos o iterativos reportados en la literatura, o alternativamente, a través del método simplificado descrito en el apéndice 8 de la Especificación IMCA. El análisis de segundo orden debe considerar todas las cargas gravitacionales que puedan afectar la estabilidad de la estructura, así como las imperfecciones generadas a consecuencia de las tolerancias acumuladas durante la fabricación y el montaje que especifica el Código de Prácticas del IMCA. Además, se deben considerar todas las posibles fuentes de deformaciones (e.g. axiales, flexión, cortante, y otras) que contribuyan al desplazamiento de la estructura, así como los efectos de segundo orden $P-\Delta$ y $P-\delta$, y todas las incertidumbres en la rigidez y resistencia en el sistema estructural.

Por su parte, el diseño por estabilidad debe efectuarse preferentemente con el método directo descrito en el capítulo 3 de la NTC-Acero, o bien, como se indica en el capítulo C de la Especificación IMCA. Alternativamente, siempre y cuando sea aplicable, puede emplearse el método de longitud efectiva descrito en el capítulo 3 de la NTC-Acero, o bien, como se indica en el apéndice 7 de la Especificación IMCA.

5 DISEÑO DE MIEMBROS DE ACERO ESTRUCTURAL

5.1 Miembros en tensión

El diseño de miembros de acero en tensión debe determinarse como se indica en el capítulo D de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 4 de la NTC-Acero, considerando los estados límites de fluencia en la sección total y de fractura en la sección neta. La determinación de las áreas neta y neta efectiva se debe realizar según lo establezca el capítulo B de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 2 de la NTC-Acero.

5.2 Miembros en compresión

El diseño de miembros de acero en compresión debe realizarse como se indica en el capítulo E de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 5 de la NTC-Acero, considerando los estados límites de pandeo por flexión, pandeo local, y pandeo por torsión o flexotorsión como se indique en estos documentos.

En construcciones de la infraestructura física educativa, no se permite el empleo de secciones esbeltas o tipo 4 para los miembros de acero estructural en compresión.

5.3 Miembros en flexión

El diseño de miembros de acero en flexión debe realizarse como se indica en el capítulo F de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 6 de la NTC-Acero.

Para los miembros estructurales en flexión en construcciones de la infraestructura física educativa, no se permite el empleo de secciones esbeltas o tipo 4, es decir, secciones en las que la relación ancho-espesor excedan el límite λ_r que se estipule en el capítulo B de la Especificación IMCA, o bien, en el capítulo 2 de la NTC-Acero.

Asimismo, en los miembros estructurales en flexión en construcciones de la infraestructura física educativa, se debe garantizar que no controle el pandeo lateral torsional elástico, como se indica en el Capítulo F de la Especificación IMCA, o bien en el Capítulo 6 de la NTC-Acero.

5.4 Miembros en cortante

El diseño de miembros de acero en cortante debe realizarse como se indica en el capítulo G de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 7 de la NTC-Acero.

Se debe garantizar el uso de almas compactas en vigas de acero estructural en construcciones de la infraestructura física educativa, conforme con el límite establecido en el capítulo G de la Especificación IMCA, o bien, en el capítulo 7 de la NTC-Acero.

5.5 Miembros en torsión y bajo cargas combinadas de torsión, flexión,

cortante y/o carga axial

El diseño de miembros de acero en torsión debe realizarse como se indica en el capítulo H de la Especificación IMCA.

5.6 Miembros en flexocompresión y en flexotensión

El diseño de miembros de acero en flexocompresión o flexotensión debe realizarse como se indica en el capítulo H de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 8 de la NTC-Acero.

6 DISEÑO DE MIEMBROS COMPUESTOS

El diseño de miembros de acero trabajando en acción compuesta con el concreto (incluyendo sistemas de piso, vigas y columnas), así como el diseño de los anclajes y dispositivos de transferencia de la carga en la interfaz acero- concreto, deben realizarse como se indica en el capítulo I de la Especificación IMCA, o bien, como se indica en el capítulo 9 de la NTC-Acero.

7 DISEÑO DE CONEXIONES

Las resistencias nominales de las conexiones, conformadas por los conectores, los elementos de conexión y las partes afectadas de los miembros conectados, que no están sometidos a cargas que generen fatiga, se pueden obtener a partir de las disposiciones reportadas en el capítulo J de la Especificación IMCA.

7.1 Disposiciones generales

Las conexiones deben ser capaces de transmitir los elementos mecánicos calculados en los miembros que ligan, y al mismo tiempo satisfacer las condiciones de restricción y continuidad supuestas en el análisis de la estructura.

Las resistencias de diseño de las conexiones se pueden obtener conforme con las disposiciones de la sección J1.1 de la Especificación IMCA. El diseño de las conexiones simples y a momento de puede hacer conforme con las disposiciones de la sección J1.2 y J1.3 de la Especificación IMCA. Las conexiones en el sistema resistente a fuerzas sísmicas deben cumplir con lo que indique la Sección 10.

Los elementos componentes se dimensionan de manera que su resistencia de diseño sea igual o mayor que la sollicitación de diseño correspondiente, determinada ya sea por medio de un análisis de la estructura bajo cargas de diseño, o bien, como un porcentaje especificado de la resistencia de diseño de los miembros conectados.

Las especificaciones para elementos en compresión con junta apoyada, para empalmes en perfiles pesados, así como para agujeros de acceso, se puede hacer conforme con las disposiciones de la sección J1.4 a J1.6 de la Especificación IMCA.

Cuando se diseñen conexiones con tornillos de alta resistencia en combinación con soldaduras puede suponerse que comparten la carga siempre y cuando se cuente con el tipo de tornillos especificados en la sección A3.3 de la Especificación IMCA, instalados en agujeros transversales a la dirección de la carga.

En conexiones con tornillos de alta resistencia en combinación con remaches puede suponerse que los tornillos de alta resistencia, diseñados para trabajar en conexiones tipo deslizamiento crítico, trabajan en conjunto con los remaches, y que las cargas se reparten entre los dos tipos de conectores.

Se deben cumplir las limitaciones en conexiones soldadas y atornilladas relativas al uso de juntas con tornillos con tensión inicial (pretensionados) o tornillos con apriete al contacto, conforme con lo que indica la sección J1.10 de la Especificación IMCA.

7.2 Soldaduras

Estas recomendaciones se complementan con los requisitos establecidos en el Código AWS D1.1 y en la sección J2 de la Especificación IMCA. Las soldaduras que se apliquen en el sistema resistente a fuerzas sísmicas deben cumplir los requisitos del Código AWS D1.8.

El tipo de soldadura aplicable en la construcción de estructuras de acero de la infraestructura física educativa es el de arco eléctrico con electrodo metálico, aplicado manual, semiautomática o automáticamente. Los procesos aprobados por este Tomo: arco metálico protegido (SMAW), arco sumergido (SAW), arco protegido con gas (GMAW) y arco con núcleo fundente (FCAW). Pueden utilizarse otros procesos si se califican adecuadamente por la autoridad local.

7.2.1 Soldaduras de ranura con penetración en la junta

El área efectiva de una soldadura de ranura es el producto de su longitud efectiva por el tamaño efectivo de su garganta.

La longitud efectiva de una soldadura de ranura entre dos piezas a tope es igual al ancho de la pieza más angosta, aun en el caso de soldaduras inclinadas respecto al eje de la pieza.

Los tamaños efectivos y los espesores mínimos de la garganta de soldaduras de ranura con penetración parcial deben ajustarse a lo que se indica en las tablas J2.1, J.2 y J2.3 de la sección J1 de la Especificación IMCA.

7.2.2 Soldaduras de filete

El área efectiva de una soldadura de filete es el producto de su longitud efectiva por el tamaño efectivo de su garganta.

La longitud efectiva de una soldadura de filete recta es igual a la longitud total del filete de tamaño completo, incluyendo retornos, cuando los haya. Si la soldadura de filete es curva, la longitud es igual a la del eje del cordón, trazado por el centroide del plano que pasa por la garganta, pero si el filete está depositado en un agujero circular o en una ranura, el área efectiva no debe ser mayor que el área nominal de la sección transversal del agujero o la ranura, medida en el plano de la superficie de falla.

El tamaño efectivo de la garganta de una soldadura de filete es la distancia más corta de la raíz a la cara de la soldadura diagramática, sin incluir el refuerzo de esta. En soldaduras de filete depositadas por el proceso de arco sumergido, el tamaño efectivo de la garganta puede tomarse igual a la pierna del cordón cuando ésta no excede de 10 mm (3/8 pulg.), e igual a la garganta teórica más 2,5 mm para filetes mayores de 10 mm.

Los tamaños mínimos admisibles en conexiones con soldaduras de filete son los que se muestran en la tabla J2.4 de la Especificación IMCA. El tamaño de la soldadura queda determinado por la más gruesa de las partes unidas, pero no es necesario que exceda el grueso de la parte más delgada.

El tamaño máximo de las soldaduras de filete debe ser:

- a) No mayor que el espesor del material cuando se aplica en los bordes de material de grueso menor a 6,3 mm (1/4 pulg).
- b) El grueso del material menos 1,5 mm (1/16 pulg.), cuando se aplique en los bordes de material de grueso igual o mayor que 6,3 mm (1/4 pulg.), excepto cuando se indique en los dibujos de fabricación que la soldadura debe depositarse tomando las medidas necesarias para obtener un tamaño igual al grueso del material. La distancia entre el borde de la soldadura depositada y el de la placa puede ser menor que 1,5 mm, pero el tamaño de la soldadura se debe verificar sin dificultad.

La longitud mínima efectiva de una soldadura de filete utilizada para transmitir fuerzas no debe ser menor que cuatro veces su tamaño nominal. En caso contrario, se debe considerar que el tamaño de la soldadura no excede de un cuarto de su longitud efectiva. Se puede usar la longitud efectiva como lo especifica la sección J2.2b de la Especificación IMCA.

7.2.3 Soldaduras de tapón circular y tapón alargado

Las soldaduras de tapón circular y tapón alargado se usan en placas traslapadas al rellenar por completo, con metal de aportación, un agujero circular o alargado de una placa y cuyo fondo lo define la otra.

El área efectiva de soldaduras de tapón es el área de la sección transversal nominal del tapón, medida en el plano de la superficie de falla.

Se deben cumplir las limitaciones de la sección J2.3b de la Especificación IMCA. Las resistencias de diseño de las soldaduras se pueden calcular conforme con las secciones J4 y J5 de la Especificación IMCA, y los requisitos del metal de aportación según las secciones J6 y J7 del mismo documento.

7.3 Tornillos y barras roscadas

El uso de tornillos de alta resistencia debe cumplir con lo establecido en la sección J3 de la Especificación IMCA, o bien, con la sección 10.3 de la NTC-Acero, y se complementan con la última edición de la Especificación RCSC, excepto cuando se establezca de otra manera en el presente Tomo. Los tornillos de alta resistencia se agrupan en este Tomo conforme con la resistencia del material como sigue:

Grupo A – ASTM F3125 grados A325, A325M, F1582 y A354 Grado BC

Grupo B – ASTM F3125 grados A490, A490M, F2280 y A354 Grado BD

Grupo C – ASTM F3043 y F3111

Cuando se ensamblen, todas las superficies de la junta, incluyendo aquellas superficies contiguas a las arandelas, deben estar libres de escamas, excepto escamas de laminado muy adheridas.

Las conexiones que transmiten las fuerzas cortantes entre las partes conectadas se diseñan para que la transmisión se haga por aplastamiento entre los tornillos y las partes conectadas, y se denominan juntas por aplastamiento. Cuando la transmisión de las fuerzas es por fricción entre las partes se denominan conexiones al deslizamiento crítico.

Dependiendo del tipo de conexión, puede, o no, requerirse que los tornillos se instalen apretándolos hasta que haya en ellos una tensión especificada mínima, no menor que la dada en la tabla J3.1 de la Especificación IMCA. El apriete puede hacerse por alguno de los métodos siguientes: vuelta de la tuerca, con un indicador directo de tensión, una llave calibrada, o con un tornillo de diseño especial.

Se permite colocar los tornillos con el apretado inicial cuando se utilizan en:

- a) Conexiones tipo aplastamiento, excepto como se indica en la sección E6 o la sección J1.10 de la Especificación IMCA.
- b) En aplicaciones a tensión o en combinación de tensión y cortante, solamente para los tornillos del Grupo A, donde el aflojamiento o fatiga ocasionadas por vibraciones o fluctuaciones de carga no se considera importante.

El apretado inicial se define como el necesario para hacer que todas las partes conectadas lleguen a estar firmemente en contacto. Se deben identificar claramente en los planos de diseño los tornillos que se deben apretar a una condición diferente al apretado inicial.

Para diseñar tornillos apretados al contacto deben utilizarse las resistencias nominales para conexiones por aplastamiento de la tabla J3.2 de la Especificación IMCA.

En conexiones tipo deslizamiento crítico en las que la carga se dirija hacia un borde de una parte conectada, se debe proporcionar una resistencia de diseño adecuada al aplastamiento, conforme con los requisitos aplicables de la sección J3.7 de la Especificación IMCA.

En las tablas J3.3 y J3.3M de la Especificación IMCA se indican los tamaños máximos de los agujeros que pueden utilizarse en juntas atornilladas. Los agujeros de placas de base de columnas pueden ser mayores si se requiere por las tolerancias admisibles en la colocación de anclas en cimientos de concreto reforzado.

Solo se permite el uso de agujeros estándar o agujeros alargados cortos, excepto cuando el diseñador especifique el uso de agujeros sobredimensionados o alargados paralelos a la carga. Los detalles del uso de tornillos se especifican en la sección J3.2 de la Especificación IMCA.

La separación mínima entre agujeros no debe ser menor a 3 veces el diámetro de los tornillos, como se establece en la sección J3.3 de la Especificación IMCA.

La distancia mínima al borde del centro de un agujero estándar al borde de una parte conectada no debe ser menor que el valor aplicable de las tablas J3.4 y J3.4M de la Especificación IMCA. Para agujeros sobredimensionado o alargados, la distancia del centro al borde de una parte conectada no debe ser menor que la requerida para un agujero estándar más el incremento C2 en las tablas J3.5 y J3.5M de la Especificación IMCA.

La distancia máxima del centro de un tornillo al borde más cercano de las partes en contacto debe ser 12 veces el grueso de la parte conectada, sin exceder de 150 mm. La

separación longitudinal entre conectores colocados en elementos en contacto continuo, consistentes en una placa y un perfil, o dos placas, debe ser como lo establece la sección J3.5 de la Especificación IMCA.

La resistencia de diseño de tornillos y barras roscadas sujetas a tensión o cortante, se debe determinar conforme con la sección J3.6 de la Especificación IMCA. Por su parte, la resistencia de diseño de tornillos y barras roscadas sujetas a tensión y cortante combinadas en conexiones tipo aplastamiento, se debe determinar conforme con la sección J3.7 de la Especificación IMCA.

La resistencia de diseño de tornillos de alta resistencia en conexiones al deslizamiento crítico se debe determinar conforme con la sección J3.8 de la Especificación IMCA. Por su parte, la resistencia de diseño de tornillos sujetos a tensión y cortante combinadas en conexiones tipo deslizamiento crítico, se debe determinar conforme con la sección J3.9 de la Especificación IMCA.

La resistencia al aplastamiento en agujeros para tornillos se determina conforme con la sección J3.10 de la Especificación IMCA. La resistencia al aplastamiento debe revisarse para los dos modos de falla de conexiones con tornillos de alta resistencia, es decir, por aplastamiento y de deslizamiento crítico. Los agujeros sobredimensionados y alargados, cortos o largos, paralelos a la línea de fuerza, sólo pueden utilizarse en conexiones por deslizamiento crítico según la sección J3.2 de la Especificación IMCA.

La resistencia nominal de sujetadores especiales distintos que los tornillos presentados en la tabla J3.2 de la Especificación IMCA, se debe verificar por medio de pruebas.

Cuando se conectan tornillos u otros conectores en tensión en la placa de elementos con sección transversal en cajón o miembros de perfiles tubulares de acero estructural, la resistencia de la placa se debe determinar por medio de un análisis racional.

7.4 Elementos de conexión

Para el diseño de elementos de conexión, como placas de nudo en armaduras, ángulos, ménsulas, y la zona común a los dos miembros en conexiones viga – columna, pueden aplicarse los requisitos de la sección J4 de la Especificación IMCA.

Las resistencias de diseño de elementos de conexión sujetos a los diferentes estados límite se determinan conforme con lo siguiente: en tensión, según la sección J4.1 de la Especificación IMCA; en cortante, según la sección J4.2 de la Especificación IMCA; por ruptura en bloque de cortante, según la sección J4.3 de la Especificación IMCA; en compresión según la sección J4.4 de la Especificación IMCA; y por flexión, según la sección J4.5 de la Especificación IMCA.

7.5 Placas de relleno en conexiones soldadas

Cuando sea necesario usar placas de relleno en conexiones para transmitir fuerzas, los rellenos y las soldaduras de esas conexiones deben cumplir con los requisitos de la sección J5 de la Especificación IMCA.

7.6 Resistencia al aplastamiento

La resistencia de diseño al aplastamiento de superficies en contacto se debe determinar por el estado límite de aplastamiento (fluencia local por compresión), como se indica en la sección J7 de la Especificación IMCA.

7.7 Placas base en columnas y aplastamiento del concreto

Se deben tomar las medidas apropiadas para transmitir los momentos y las cargas de las columnas a las bases y cimentaciones. La resistencia de diseño relativa al estado límite del aplastamiento del concreto se puede determinar como se establece en la sección J8 de la Especificación IMCA.

7.8 Pernos de anclaje y empotramientos

Los pernos de anclaje se deben diseñar para proporcionar la resistencia requerida a las cargas de toda la estructura en las bases de las columnas, incluyendo los componentes de tensión pura de cualquier momento flexionante que pueda resultar por las combinaciones de carga estipuladas en el Tomo i. Los pernos de anclaje se deben diseñar conforme con los requisitos de las partes roscadas de la tabla J3.2 de la Especificación IMCA.

El diseño de bases de columna y pernos de anclaje para transmitir fuerzas a las cimentaciones de concreto, incluyendo aplastamiento contra los elementos de concreto, debe satisfacer los requisitos de ACI 318 o ACI 349.

7.9 Patines y almas con fuerzas concentradas

Esta sección se aplica a fuerzas concentradas simples y dobles aplicadas perpendicularmente a los patines de perfiles IR y perfiles armados similares. La fuerza simple concentrada puede ser de tensión o compresión. Las fuerzas concentradas dobles son una de tensión y otra de compresión formando un par sobre el mismo lado del miembro que recibe la carga.

Cuando la resistencia requerida excede la resistencia disponible como se determina para los estados límite enlistados en la sección J10 de la Especificación IMCA, se deben proporcionar atiesadores y/o placas de refuerzo de alma, dimensionados para resistir la diferencia entre la resistencia requerida y la resistencia disponible para el estado límite aplicable. Los atiesadores también deben cumplir con los requisitos de diseño de la

sección J10.8 de la Especificación IMCA. Las placas de refuerzo de almas también deben cumplir con los requisitos de diseño de la sección J10.9 de la Especificación IMCA.

Conforme con los requisitos de la sección J10.7 de la Especificación IMCA, se requiere poner atiesadores en los extremos de vigas.

Las resistencias de diseño de los diferentes estados límite debidos a la acción de fuerzas concentradas y los requisitos de atiesadores y de otros elementos de refuerzo se pueden determinar conforme con la sección J10 de la Especificación IMCA.

7.10 Conexiones entre perfiles con secciones estructurales huecas (SEH)

Cuando se diseñen conexiones entre miembros de secciones estructurales huecas (SEH, o HSS por las siglas en inglés de Hollow Structural Section) de espesor uniforme se pueden seguir las especificaciones del capítulo K de la Especificación IMCA.

El tamaño de los perfiles de SEH controla con frecuencia la resistencia de la conexión, especialmente el espesor de la placa en cuerdas de armadura, por lo tanto, se debe considerar en el diseño inicial.

Los temas relacionados con el diseño de conexiones entre elementos de SEH, y que se describen en el capítulo K de la Especificación IMCA son los siguientes:

- a) Fuerzas concentradas en miembros de SEH
- b) Conexiones entre miembros de SEH en armaduras
- c) Conexiones entre miembros de SEH sujetos a momento
- d) Soldaduras de placas, montantes y diagonales a miembros de SEH rectangular

8 DISEÑO DE MIEMBROS DE ACERO FORMADOS EN FRÍO

El diseño de miembros de acero formados en frío, así como el de sus conexiones, debe determinarse como se indique en la última edición de la Especificación AISI-S100, y la cual está avalada por la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO).

Cuando se utilicen miembros de acero doblados en frío en construcciones de la infraestructura física educativa se debe verificar lo siguiente:

- a) Las cargas y combinaciones de carga se deben determinar
- b) Solo se permite el uso de aceros con certificados de calidad estructural conforme con la sección A2 de la Especificación AISI-S100. Por lo tanto, se prohíbe utilizar

miembros de aceros doblados en frío que no cuenten con certificados de calidad, o bien, que éstos correspondan a una calidad comercial.

- c) Las dimensiones reales de la sección transversal deben de satisfacer los requisitos y las relaciones límite ancho-espesor que se establecen en la sección B1 de la Especificación AISI-S100. Los anchos efectivos deben determinarse como se indica en las secciones B2 a B5 de la Especificación AISI-S100.
- d) Las propiedades geométricas de la sección transversal (tales como área, momento de inercia, módulos de sección, radios de giro, etc.) se deben determinar cómo se especifica en la sección C1 de la Especificación AISI- S100.
- e) En miembros que estén sujetos en tensión, se deben verificar los estados límite de fluencia y fractura en tensión, bloque de cortante, y aplastamiento de la lámina como se indica en la sección C2 y E6 de la Especificación AISI-S100.
- f) En miembros viga sujetos en flexión y en cortante, se deben verificar todos los estados límite aplicables que se indican en la sección C3 de la Especificación AISI-S100. En construcciones de la infraestructura física educativa, se debe garantizar que los largueros estén lateralmente arriostrados de forma adecuada tal que no controlen el pandeo lateral- torsional y el pandeo distorsional. Además, deben estar adecuadamente fijados a sus elementos de soporte, así como a los elementos que éstos soporten.
- g) En miembros que estén sujetos en compresión concéntrica, se deben verificar los estados límite de pandeo por flexión, y pandeo local, pandeo torsional o flexotorsional, y pandeo distorsional como se indica en la sección C4 de la Especificación AISI-S100.
- h) En miembros que estén sujetos en carga axial y flexión, se debe verificar que se satisfacen las ecuaciones de interacción que se indican en la sección C5 de la Especificación AISI-S100.
- i) Sistemas y ensambles estructurales de miembros doblados en frío deben satisfacer todos los requisitos aplicables que se indican en el capítulo D de la Especificación AISI-S100.
- j) Las conexiones entre miembros doblados en frío deben satisfacer todos los requisitos del capítulo E de la Especificación AISI-S100. Las conexiones soldadas deben satisfacer los requisitos de la sección E2 de la Especificación AISI-S100. Las conexiones entre miembros doblados en frío con tornillos, pernos o pasadores deben satisfacer la sección E3, E4 y E5, respectivamente, de la Especificación AISI-S100.

9 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Los requisitos generales de diseño correspondientes a estados límite de servicio se incluyen del Tomo correspondiente. Se debe también cumplir con lo que se establece en el capítulo L de la Especificación IMCA, o bien, en el capítulo 11 de la NTC-Acero.

Los estados límite de servicio se revisan utilizando las cargas de servicio, o de trabajo, que corresponden a cada uno de ellos.

9.1 Contraflechas

Cuando haya requisitos relativos a las contraflechas de los elementos estructurales, que sean necesarios para lograr un ajuste adecuado con otros elementos de la construcción, como pueden ser cancelles, muros de relleno, parapetos o recubrimientos de fachada, esos requisitos deben indicarse en los documentos referentes al diseño y construcción.

Cuando no se especifique ninguna contraflecha en los dibujos de detalle de vigas o armaduras, éstas se deben fabricar y montar de manera que las pequeñas contraflechas debidas a laminado o armado en el taller queden hacia arriba, en la estructura montada.

9.2 Expansiones y contracciones

Los cambios de dimensiones de las estructuras y de los elementos que las componen, producidos por variaciones de temperatura y otros efectos, deben ser tales que no perjudiquen el comportamiento de la estructura, en condiciones de servicio. Cuando sea necesario, las construcciones deben de contar con juntas constructivas, y los elementos no estructurales se deben diseñar de manera que puedan absorber, sin daños, los cambios de dimensiones por tales contracciones y expansiones.

9.3 Deflexiones

Para el cálculo de las deflexiones de vigas de alma llena, largueros y armaduras de alma abierta se debe seguir lo que se establece en el capítulo L de la Especificación IMCA, o bien, lo que se establece en el capítulo 11 de la NTC-Acero, excepto por lo que se indica en esta Sección.

Las deflexiones de los elementos estructurales y sus combinaciones, producidas por cargas de trabajo, deben ser tales que no perjudiquen el comportamiento de la estructura, en condiciones de servicio.

Las deflexiones verticales de elementos estructurales y sus combinaciones, incluyendo pisos, techos, muros divisorios y fachadas, producidas por cargas de trabajo, no deben exceder los valores máximos permisibles.

En las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables, la revisión del estado límite de desplazamientos se debe cumplir si se verifica que no exceden los valores siguientes:

- a) Un desplazamiento vertical en el centro de vigas en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual al claro entre 240; además, en miembros en los cuales sus desplazamientos afecten a elementos no estructurales (e.g. muros divisorios, cancelles, etc.), que no sean capaces de soportar desplazamientos apreciables, se debe considerar como estado límite un desplazamiento vertical, medido

después de colocar los elementos no estructurales, igual al claro de la viga entre 480. Para elementos en voladizo los límites anteriores se duplican.

- b) Un desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso dividido entre 500, para edificaciones en las cuales se hayan unido los elementos no estructurales capaces de sufrir daños bajo pequeños desplazamientos; en otros casos, el límite debe ser igual a la altura del entrepiso dividido entre 250. Para diseño sísmico o por viento se debe cumplir lo dispuesto en los tomos correspondientes
- c) Con la acción de la carga viva máxima se cumplirá un desplazamiento vertical en el centro de trabes igual al claro entre 360.

En laboratorios donde se requieran grúas viajeras, se deben aplicar las especificaciones de trabes carril para grúas en la sección A1.1(d) de la Especificación IMCA.

9.4 Vibraciones

La revisión de las vibraciones en los sistemas de piso por actividad humana se debe realizar con lo que se indica en esta sección.

La frecuencia natural vertical del sistema de piso se debe determinar con alguna de las opciones siguientes: (1) como se indica en la guía 11 del AISC, (2) a través de un análisis modal del sistema de piso que considere la masa y la rigidez del sistema de piso en condiciones de servicio, (3) a través de una medición de la vibración vertical ambiental o forzada del sistema de piso, o (4) con cualquier otro método racional que apruebe la autoridad local.

La aceleración vertical máxima en el sistema de piso se debe determinar con alguna de las opciones siguientes: (1) como se indica en la guía 11 del AISC, (2) a través de una medición de la vibración vertical del sistema de piso, o (3) con cualquier otro método racional que apruebe la autoridad local.

La aceleración vertical máxima en el sistema de piso no debe exceder la aceleración vertical límite de 0.005 g para pisos donde se realicen actividades humanas no rítmicas (e.g. salones, oficinas, laboratorios y otros espacios similares), y de 0.015 g para pisos donde se realicen actividades humanas rítmicas, aeróbicas o deportivas (e.g. auditorios, gimnasios, salones de baile, asambleas, ceremonias o festivales, tribunas y otros espacios similares). Alternativamente, se pueden considerar las aceleraciones límite de los nomogramas de la guía 11 del AISC.

Los equipos mecánicos que pueden producir vibraciones objetables deben aislarse de la estructura de una manera adecuada, para que la transmisión de las vibraciones a elementos críticos de la estructura se elimine o se reduzca a límites aceptables. Laboratorios con equipo sensible a vibraciones deben tener bases que aislen o amortigüen dichas vibraciones.

9.5 Desplazamientos laterales

Los desplazamientos laterales de los pisos de las construcciones, producidas por fuerzas sísmicas o de viento, no deben ocasionar colisiones con estructuras adyacentes ni afectar el correcto funcionamiento de la construcción. Para ello, deben satisfacerse los requisitos estipulados en los tomos correspondientes.

9.6 Fuego y explosiones

Las estructuras deben protegerse contra el fuego, para evitar pérdidas de resistencia ocasionadas por las altas temperaturas. El tipo, resistencia y las propiedades de la protección utilizada dependen de las características de la estructura, de su uso y del contenido de material combustible.

Las estructuras de acero de la infraestructura física educativa deben tener un sistema de protección contra el fuego con resistencia mínima de 2 horas.

En casos especiales se deben tomar precauciones contra los efectos de explosiones, buscando restringirlos a zonas que no generen peligro.

En laboratorios que empleen sustancias que puedan originar incendios, se deben construir muros de protección contra el fuego y las paredes interiores se deben recubrir con productos retardantes al fuego.

El diseño de estructuras de acero expuestas de forma constante a altas temperaturas debe seguir lo establecido en el apéndice 4 de la Especificación IMCA.

9.7 Corrosión

Los elementos de acero estructural se deben proteger contra la corrosión, para evitar que ésta ocasione disminuciones de resistencia o perjudique su comportamiento en condiciones de servicio.

Antes del montaje, todos los elementos se deben proteger adecuadamente, con pinturas u otros productos que retrasen el proceso de corrosión, excepto cuando en los dibujos de fabricación o montaje se indique que algunas partes de la estructura no deben pintarse.

Se deben tomar precauciones especiales cuando las estructuras queden expuestas a humedades, humos, vapores industriales u otros agentes altamente corrosivos.

Cuando no sea posible proteger al acero contra corrosión, se debe tener en cuenta los efectos perjudiciales en su diseño, como por ejemplo aumentando el espesor de las paredes de los perfiles respecto al necesario por resistencia.

10 REQUISITOS DE DUCTILIDAD PARA SISTEMAS RESISTENTES A FUERZAS SÍSMICAS

El diseño de estructuras de alta ductilidad, en especial aquellas que se proyecten en zonas de alto riesgo sísmico, deben cumplir con los requisitos de las vigentes Provisiones Sísmicas del AISC 341 o del capítulo 12 de las NTC-Acero. Las fuerzas sísmicas se deben obtener como se indica en el Tomo correspondiente.

10.1 Marcos rígidos ordinarios

Los marcos rígidos ordinarios de acero estructural sin o con acción compuesta con secciones de concreto deben detallarse para que, ante el sismo de diseño, el sistema tenga la capacidad de disipar energía a través de limitadas articulaciones plásticas por fluencia en flexión en las vigas. Las columnas y las zonal del panel deben mantenerse esencialmente elásticas, aunque se permiten articulaciones plásticas en la base de columnas.

En los marcos rígidos ordinarios de acero estructural se deben satisfacer los requisitos de la sección E2 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.2.2 de la NTC-Acero, y adicionalmente las siguientes.

1. Las vigas deben estar arriostradas en ambos patines con una longitud L_b no mayor que $0.17r_yE/(R_yF_y)$.
2. Las vigas y columnas de acero estructural deben ser moderadamente dúctiles, compactas o tipo 2.
3. Las columnas se deben diseñar para que su resistencia nominal a flexión, considerando la reducción de resistencia por su carga axial, sea mayor que la resistencia a flexión máxima esperada de las vigas que se conectan, calculada al paño de la columna.
4. Las soldaduras de ranura con penetración completa en empalmes de columnas, entre columnas y placa base, y entre almas y patines de vigas y columnas deben satisfacer los requisitos de soldaduras de demanda crítica del AWS D1.8.
5. Las conexiones viga-a-columna deben de garantizar que la falla de la conexión no ocurre antes que la distorsión de entrepiso máxima en el sistema sea 0.02, y en este punto, la resistencia de la conexión en flexión sea de al menos el 80 por ciento del momento plástico de la viga conectada. Para cumplir con este requisito se permite emplear conexiones precalificadas publicadas en la literatura especializada, o bien, utilizar conexiones que califiquen de conformidad con este requisito.

En los marcos rígidos ordinarios compuestos se deben satisfacer los requisitos de la sección G2 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.5.2 de la NTC-Acero. En el caso de que las vigas principales sean compuestas se debe de incluir los efectos de la losa. En el caso de que no se incluya la losa en esta revisión, se debe indicar en los planos estructurales

o especificaciones del proyecto no soldar sobre el patín de la viga (en particular en la zona protegida) ningún conector de cortante.

10.2 Marcos rígidos especiales

Los marcos rígidos especiales de acero estructural sin o con acción compuesta con secciones de concreto deben detallarse para que, ante el sismo de diseño, el sistema tenga la capacidad de disipar energía a través de articulaciones plásticas por fluencia en flexión en las vigas y fluencia limitada en las zonas de panel. Las columnas deben mantenerse esencialmente elásticas. Solo se permiten articulaciones plásticas en la base de las columnas.

En los marcos rígidos especiales de acero estructural se deben satisfacer los requisitos de la sección E3 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.2.1 de la NTC-Acero, y adicionalmente las siguientes.

1. Las vigas deben estar arriostradas en ambos patines con una longitud L_b no mayor que $0.086r_y E / (R_y F_y)$.
2. Las vigas y columnas de acero deben ser altamente dúctiles o tipo 1.
3. Las columnas se deben diseñar para que su resistencia nominal a flexión, considerando la reducción de resistencia por su carga axial, sea mayor que la resistencia a flexión máxima esperada de las vigas que se conectan, calculada al paño de la columna.
4. Las soldaduras de ranura con penetración completa en empalmas de columnas, entre columnas y placa base, y entre almas y patines de vigas y columnas deben satisfacer los requisitos de soldaduras de demanda crítica del AWS D1.8.
5. Las conexiones viga-a-columna deben de garantizar que la falla de la conexión no ocurre antes que la distorsión de entrepiso máxima en el sistema sea 0,04, y en este punto, la resistencia a momento de la conexión sea mayor al 80 por ciento del momento plástico de la viga conectada. Para cumplir con este requisito se permite emplear conexiones precalificadas publicadas en la literatura especializada que califiquen de conformidad con este requisito.

En los marcos rígidos especiales compuestos se deben satisfacer los requisitos de la sección G3 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.5.1 de la NTC-Acero. En el caso de que las vigas principales sean compuestas se debe de incluir los efectos de la losa. En el caso de que no se incluya la losa en esta revisión, se debe indicar en los planos estructurales o especificaciones del proyecto no soldar sobre el patín de la viga (en particular en la zona protegida) ningún conector de cortante.

10.3 Marcos rígidos con armaduras especiales

Los marcos rígidos especiales con armaduras de acero deben detallarse para que, ante el sismo de diseño, el sistema tenga la capacidad de disipar energía a través de deformación inelástica dentro del segmento especial de la armadura. Las armaduras fuera del segmento

espacial y las columnas deben permanecer elásticas. Solo se permiten articulaciones plásticas en la base de las columnas.

En los marcos rígidos con armaduras especiales se deben satisfacer los requisitos de la sección E4 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.2.4 de la NTC-Acero.

10.4 Sistema de columnas de acero en voladizo

En el sistema ordinario de columnas en voladizo se debe satisfacer los requisitos de la sección E5 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.2.7 de la NTC-Acero.

En el sistema especial de columnas en voladizo se debe satisfacer los requisitos de la sección E6 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o de la sección 12.2.6 de la NTC-Acero.

10.5 Marcos con contraventeo concéntrico ordinario

Los marcos con contraventeo concéntrico ordinario se deben diseñar para resistir fuerzas importantes de tensión y compresión, mientras permiten deformaciones inelásticas moderadas en sus miembros y conexiones.

En los marcos de acero con contraventeo concéntrico ordinario se deben satisfacer los requisitos de la sección F1 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.3.4 de la NTC-Acero.

Si el sistema tiene miembros compuestos se deben satisfacer los requisitos de la sección H1 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.6.4 de la NTC-Acero.

10.6 Marcos con contraventeo concéntricos especial

Los marcos con contraventeo concéntrico especial se deben diseñar para disipar energía mediante el pandeo y fluencia de las diagonales y de sus conexiones.

En los marcos de acero con contraventeo concéntrico especial se deben satisfacer los requisitos de la sección F2 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.3.3 de la NTC-Acero.

Si el sistema tiene miembros compuestos se deben satisfacer los requisitos de la sección H2 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.6.3 de la NTC-Acero.

10.7 Marcos con contraventeo excéntricos

Los marcos con contravientos excéntricos se deben diseñar para disipar energía mediante fluencia de los eslabones o vigas enlace.

En los marcos de acero con contravientos excéntricos se debe satisfacer los requisitos de la sección F3 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.3.1 de la NTC-Acero.

Si el sistema tiene miembros compuestos se deben satisfacer los requisitos específicos de la sección H3 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o en la sección 12.6.1 de la NTC-Acero.

10.8 Marcos con contraventeo restringido a pandeo

Los marcos con contravientos restringido a pandeo se deben diseñar para disipar energía mediante fluencia de los contravientos restringidos a pandeo. Este sistema debe satisfacer los requisitos de la sección F4 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.3.2 de la NTC-Acero.

10.9 Marcos con muros de cortante con placa de acero

Los marcos con muros de cortante con placa de acero se deben diseñar para disipar energía mediante fluencia y pandeo de las placas de acero. Este sistema debe satisfacer los requisitos de la sección F5 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o de la sección 12.4 de la NTC-Acero.

Si el sistema tiene las placas de acero revestidas o embebidas con secciones de concreto en acción compuesta se deben satisfacer los requisitos específicos de la sección H6 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, o en la sección 12.7.1 de la NTC-Acero.

10.10 Marcos compuestos con muros de concreto

Los marcos compuestos con muros de concreto ordinario se deben diseñar para. Este sistema debe satisfacer los requisitos de la sección H4 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341.

Los marcos compuestos con muros de concreto especial se deben diseñar para. Este sistema debe satisfacer los requisitos de la sección H5 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341.

10.11 Marcos con muros compuestos rellenos de concreto

Los marcos compuestos con muros compuestos rellenos de concreto deben satisfacer los requisitos de la sección H7 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341.

Si los marcos compuestos rellenos están acoplados se deben satisfacer los requisitos de la sección H8 de las Provisiones Sísmicas del AISC 341.

10.12 Otros sistemas estructurales

Se permite utilizar para las construcciones de la infraestructura física educativa otros sistemas estructurales de acero o compuestos descritos en las Provisiones Sísmicas del AISC 341 o en el capítulo 12 de la NTC-Acero, siempre que se diseñen y detallen como se indican en estos documentos de referencia.

11 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

La fabricación y el montaje de las estructuras de acero en construcciones de la infraestructura física educativa, así como los miembros de acero estructural en construcciones compuestas, se deben realizar conforme con la última edición del

Código de Prácticas del IMCA, en complemento del capítulo M de la Especificación IMCA, o bien, el capítulo 13 de la NTC-Acero.

La fabricación y el montaje de la estructura de acero en construcciones de la infraestructura física educativa, así como los miembros de acero estructural en construcciones compuestas, la debe realizar un fabricante certificado por el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA) según su Norma de Certificación para Fabricantes de Estructuras de Acero.

12 CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

El control y aseguramiento de la calidad en la fabricación y el montaje de las estructuras de acero en construcciones de la infraestructura física educativa, así como los miembros de acero estructural en construcciones compuestas, se deben realizar como se indica en el capítulo N de la Especificación IMCA.

Las pruebas destructivas y no destructivas para el control de la calidad en la construcción de estructuras de acero, así como los procedimientos de supervisión de obra, deben cumplir con los requisitos del Capítulo N de la Especificación IMCA.

13 DISEÑO POR CARGAS DE ENCHARCAMIENTO

En miembros y elementos sujetos a cargas inducidas por acumulación de agua en los pisos, se debe efectuar un diseño por encharcamiento como se indica en el apéndice 2 de la Especificación IMCA.

14 DISEÑO POR FATIGA

En miembros y conexiones sujetas a cargas repetidas, se debe efectuar un diseño por fatiga como se indica en el apéndice 3 de la Especificación IMCA , o bien, con el apéndice D de la NTC-Acero. Excepto en donde se indique lo contrario, el diseño por fatiga no se requiere para el diseño por sismo o viento.

15 EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

La evaluación y reparación de estructuras existentes de acero o compuestas se debe efectuar como se indica en el Tomo de Reparación.

16 CASOS ESPECIALES

Cuando se tengan casos especiales en estructuras de acero o compuestas de la infraestructura física educativa que no se contemplen en los requisitos de las Secciones de este Volumen, o bien en los documentos de referencia, se debe realizar un estudio analítico avanzado e integral, y/o un programa adecuado de pruebas de laboratorio, que apruebe la autoridad local.