

ALCANCE DIGITAL N° 94



Año CXXXIV

San José, Costa Rica, viernes 13 de julio del 2012

N° 136

PODER EJECUTIVO

DECRETOS

N° 37070-MIVAH-MICIT-MOPT

“CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010”
(CONSTA DE VEINTE TOMOS)

TOMO IX

2012
Imprenta Nacional
La Uruca, San José, C. R.

CONSTRUIMOS UN PAÍS SEGURO



Gobierno de Costa Rica

10

Requisitos para acero estructural

10.1 Requisitos generales

10.1.1 Generalidades

Las disposiciones sísmicas establecidas en este capítulo rigen el diseño, la fabricación y erección de elementos, componentes y uniones de acero que formen parte de los *sistemas resistentes* de las edificaciones.

Para estructuras con elementos *sismorresistentes a base de perfiles y placas de acero estructural* se utiliza el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD); alternatively, estas estructuras pueden proporcionarse utilizando la metodología de diseño plástico. Para estructuras con elementos *sismorresistentes a base de perfiles de acero laminado en frío con secciones esbeltas* se utiliza el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). En ambos casos se debe satisfacer los requisitos aplicables de las especificaciones del Instituto Americano de Construcción de Acero (American Institute of Steel Construction, AISC), del Instituto Americano de Hierro y Acero (American Iron and Steel Institute, AISI) y de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society, AWS) (referencias 1 a 8), excepto donde sean modificadas por disposiciones de este código.

Las referencias que se hacen se basan en la bibliografía indicada en este capítulo. Los *sistemas sismorresistentes* utilizados en este capítulo se presentan en la tabla 10.5.

Es recomendable que las estructuras de acero diseñadas según estas disposiciones cumplan adicionalmente con las condiciones de servicio y control de vibraciones que se establecen en las referencias del inciso 10.1.2.

10.1.2 Referencias

- 1- ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction (AISC).
- 2-ANSI/AISC 358-10 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, American Institute of Steel Construction (AISC).
- 3- ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction (AISC).
- 4- ANSI S100-2007 North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, American Iron and Steel Institute (AISI).
- 5- AWS D1.1/D1.1M:2008 Structural Welding Code - Steel, American Welding Society (AWS).
- 6- AWS D1.3/D1.3M:2008 Structural Welding Code - Sheet Steel, American Welding Society (AWS).
- 7- AWS D1.4/D1.4M:2005 Structural Welding Code Reinforcing Steel, American Welding Society (AWS)
- 8- AWS D1.8/D1.8M:2009 Structural Welding Code - Seismic Supplement, American Welding Society (AWS)
- 9- Specification for Structural Joints Using ASTM A 325 or A 490 Bolts, Research Council on Structural Connections, 2004.

10.1.3 Materiales

10.1.3.1 Especificaciones de materiales

- a. Los aceros para la fabricación de *perfiles y placas de acero estructural* utilizados en elementos, componentes y uniones de los *sistemas sismorresistentes* deben satisfacer una de las siguientes especificaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM) en su última revisión: A36, A53, A500 (grado B o C), A501, A529, A572 (grado 42, 50 o 55), A588, A913 (grado 50, 60 o 65), A992, A1011 (grado 55), A1043 o especificaciones equivalentes internacionalmente reconocidas. Asimismo, las placas de asiento de las columnas deben satisfacer alguna de las especificaciones anteriores o la especificación ASTM A283 grado D.

- b. Los pernos y accesorios de conexión de los *sistemas sismorresistentes* deben satisfacer una de las siguientes especificaciones de la ASTM: A325, F1852, A490 o F2280. Los pernos de anclaje de los *sistemas sismorresistentes* deben satisfacer la especificación ASTM F1554 o, en su defecto, podrían utilizarse materiales permitidos por la referencia 1 o similares.
- c. Los aceros para la fabricación de *perfiles laminados en frío* utilizados en elementos, componentes y uniones de los *sistemas sismorresistentes* deben satisfacer una de las siguientes especificaciones de la ASTM en su última revisión: A36, A500 (grado B o C), A529, A570, A572 (grado 42, 50 o 55), A606, A607, A611 (grados A, B, C y D), A653, A715, A792, A875, A1003, A1008, A1011, JIS G3132 SPHT-2 o especificaciones equivalentes internacionalmente reconocidas.
- d. Los aceros para la fabricación de *perfiles laminados en frío* utilizados en elementos, componentes y uniones de los *sistemas sismorresistentes* deben satisfacer los siguientes requisitos de ductilidad:
 - i) La relación entre el esfuerzo último y el esfuerzo de cedencia del acero no puede ser menor que 1.08.
 - ii) La elongación total de probetas no debe ser menor que 10% en una longitud de medición de 50 mm, o no debe ser menor que 7% en una longitud de medición de 200 mm, según la norma ASTM A370.

10.1.3.2 Resistencia esperada del material

En este capítulo, para la determinación de la capacidad requerida de *elementos, componentes o uniones*, se toma el *esfuerzo de cedencia esperado*, F_{ye} , o el *esfuerzo en tracción esperado*, F_{te} , del material, como:

$$F_{ye} = R_y F_y \quad [10-1]$$

$$F_{te} = R_t F_u \quad [10-2]$$

donde F_y es el esfuerzo de cedencia en tracción mínimo especificado del acero utilizado y F_u es el esfuerzo último en tracción. El valor de R_y es la razón entre el esfuerzo de cedencia esperado y el valor mínimo especificado. El valor de R_t es la razón entre el esfuerzo último esperado y el valor mínimo especificado. Estos valores pueden ser determinados experimentalmente según la norma ASTM A370 con una muestra representativa o, en su defecto, se pueden utilizar los indicados en la tabla 10.1.

TABLA 10.1. Valores R_y y R_t para diferentes tipos de acero.

Uso del elemento	R_y	R_t
Elementos fabricados a partir de placas		
ASTM A36	1.3	1.2
ASTM A1043 grado 36	1.3	1.1
ASTM A1011 HSLAS grado 55	1.1	1.1
ASTM A572 grado 42	1.3	1.0
ASTM A572 grado 50 o 55	1.1	1.2
ASTM 1043	1.2	1.1
Secciones laminadas en caliente y barras		
ASTM A36	1.5	1.2
ASTM A1043	1.3	1.1
ASTM A572 grado 50 o 55, ASTM 913 grado 50, 60 o 65, ASTM A588, ASTM A992	1.1	1.1
ASTM A1043 grado 50	1.2	1.1
ASTM A529 grado 50	1.2	1.2
ASTM A529 grado 55	1.1	1.2
Secciones tipo cajón (HSS)		
ASTM A500 (grados B o C), ASTM A501	1.4	1.3
Tubos circulares		
ASTM A53	1.6	1.2
Elementos de acero laminado en frío		
ASTM A606, ASTM A653, ASTM A792, ASTM A875, ASTM A1003, ASTM A1008, ASTM A1011:		
$F_y < 37\text{ksi}$	1.5	1.2
$37\text{ksi} < F_y < 40\text{ksi}$	1.4	1.1
$40\text{ksi} < F_y < 50\text{ksi}$	1.3	1.1
$F_y > 50\text{ksi}$	1.1	1.1
JIS G3132 SPHT-2	1.6	1.2

Para otros aceros no mencionados en la tabla 10.1 el valor de R_y y R_t se debe determinar mediante ensayos de laboratorio según la norma ASTM A370 con una muestra representativa.

10.1.3.3 Secciones pesadas que forman parte del sistema sismorresistente

Los perfiles de acero cuyas alas tengan un espesor igual o mayor que 38 mm, deben cumplir con las disposiciones de la sección A3.1c de la referencia 1 y deben tener una tenacidad mínima de Charpy (CVN) de 276 kg-cm a 21°C.

Las placas de acero con espesor igual o mayor que 50 mm deben cumplir con las disposiciones de la sección A3.1c de la referencia 1 y deben tener

una tenacidad mínima de Charpy (CVN) de 276 kg-cm a 21°C, cuando sean utilizadas en las siguientes aplicaciones:

- a. Elementos estructurales fabricados a partir de placas.
- b. Placas de conexión donde se espera la ocurrencia de deformaciones inelásticas durante el sismo.

10.1.3.4 Consumibles para soldadura

a. Soldaduras de los *sistemas sismorresistentes*

Todas las soldaduras que sean parte del *sistema sismorresistente* deben ser ejecutadas con material de aporte que cumpla con las propiedades mecánicas de la tabla 10.2 y cuyo contenido de hidrógeno haya sido evaluado según los requisitos de prueba de la referencia 8.

Tabla 10.2. Propiedades mecánicas para material de aporte en soldaduras del *sistema sismorresistente*.

Propiedades	Clasificación del material de aporte	
	Grado 70 (4900 kg/cm ²)	Grado 80 (5600 kg/cm ²)
Esfuerzo de cedencia, F_y (kg/cm ²)	4060 mín.	4760 mín.
Esfuerzo último, F_u (kg/cm ²)	4900 mín.	5600 mín.
Elongación (%)	22 mín.	19 mín.
Tenacidad de Charpy CVN	276 kg-cm (mín.) a -18°C	

Para demostrar que el material de aporte cumple con los requisitos anteriores, el fabricante de la estructura metálica debe someter para aprobación los certificados de conformidad del proveedor de los electrodos. No se requiere realizar pruebas de laboratorio adicionales, a menos que el inspector lo considere necesario.

b. Soldaduras críticas por demanda

Todas las soldaduras que sean parte del *sistema sismorresistente* y que sean clasificadas como *soldaduras críticas por demanda*, deben ser ejecutadas con material de aporte que cumpla con las propiedades mecánicas de la tabla 10.3.

Tabla 10.3. Propiedades mecánicas para material de aporte en soldaduras críticas por demanda.

Propiedades	Clasificación del material de aporte	
	Grado 70 (4900kg/cm ²)	Grado 80 (5600kg/cm ²)
Esfuerzo de cedencia, F_y (kg/cm ²)	4060 mín.	4760 mín.
Esfuerzo último, F_u (kg/cm ²)	4900 mín.	5600 mín.
Elongación (%)	22 mín.	19 mín.
Tenacidad de Charpy CVN	552 kg-cm (mín.) a -18°C	

Nota: Estas propiedades deben ser determinadas a partir de ensayos de envolvente de calor de aporte congruentes con las disposiciones del anexo A de la referencia 8. Estos ensayos pueden ser realizados por el fabricante de los electrodos, por el fabricante de la estructura metálica o por terceros aprobados por el inspector.

Para demostrar que el material de aporte cumple con los requisitos anteriores, el fabricante de la estructura metálica debe someter para aprobación uno de los siguientes documentos:

1. Los certificados de conformidad del proveedor de los electrodos.
2. Los informes de resultados de los ensayos realizados.

No se requiere realizar pruebas de laboratorio adicionales, a menos que el inspector lo considere necesario.

Cuando se utilice alguno de los electrodos indicados en la tabla 10.4, no es necesario demostrar mediante ensayos especiales que el material de aporte cumple con los requisitos de la tabla 10.3. Se considera suficiente la presentación de los certificados de conformidad del proveedor de los electrodos.

Tabla 10.4. Electrodos eximidos de ensayos especiales.

Proceso de soldadura	Tipo de electrodo
SMAW	E7018
	E7018-X
	E7018-C3L
GMAW	Electrodos sólidos
	Electrodos compuestos

Nota: En la sección 6.3 de la referencia 8 se especifican las excepciones para otros procesos de soldadura y tipos de electrodos diferentes a los mencionados en esta tabla.

c. Soldaduras críticas por demanda en bajas temperaturas

Cuando la temperatura mínima de servicio esperada (TMSE) del *sistema sismorresistente* sea inferior a $+10^{\circ}\text{C}$, se deben realizar los ensayos de envolvente de calor de aporte (según anexo A de la referencia 8) para todos los tipos de electrodos utilizados en las *soldaduras críticas por demanda*.

En estos casos, el fabricante debe demostrar que los electrodos cumplen con las propiedades de la tabla 10.3, mediante la presentación de uno de los siguientes documentos:

1. Los certificados de conformidad del proveedor de los electrodos, con indicación del resultado de los ensayos especiales.
2. Los informes de resultados de los ensayos realizados.

d. Uniformidad del material de aporte

Para garantizar la uniformidad del material de aporte utilizado en las *soldaduras críticas por demanda*, todos los electrodos deben ser del mismo fabricante y proveedor. No se permite el uso de electrodos distintos en una misma soldadura.

10.1.4 Planos y especificaciones

10.1.4.1 Generalidades

Adicionalmente a las disposiciones del capítulo 16, los planos y los dibujos de la edificación deben mostrar la totalidad del sistema estructural, con las dimensiones, las secciones y la ubicación de todos los *elementos, componentes y uniones*, así como los siguientes detalles:

- a. Indicación de los *sistemas sismorresistentes*.
- b. Identificación de los elementos y conexiones que forman parte de los *sistemas sismorresistentes*.
- c. Ubicación y dimensiones de las *zonas protegidas*.

10.1.4.2 Construcción en acero

Adicionalmente a los requisitos indicados en 10.1.4.1, se debe indicar en los planos y dibujos de la edificación los siguientes requisitos donde corresponda:

- a. Configuración de las uniones.
- b. Especificación de los materiales de unión y sus dimensiones.
- c. Ubicación de las *soldaduras críticas por demanda*.
- d. Ubicaciones donde es requerido remover el respaldo de soldadura.

- e. Ubicación donde es requerida soldadura de filete cuando no se remuevan los respaldos de soldadura.
- f. Ubicación donde es requerido reforzar soldaduras de penetración con soldaduras de filete.
- g. Ubicación donde es requerido remover las placas de extensión de la soldadura.
- h. Ubicación de empalmes donde es requerido realizar transiciones graduales.
- i. Geometría de perforación de acceso.
- j. Cualquier otra información relevante o indicaciones que sean esenciales y que tengan que ser del conocimiento del profesional inspector.

10.1.4.3 Planos de taller

Los componentes de edificaciones que formen parte de los *sistemas sísmorresistentes*, deben contar con sus respectivos planos de taller y montaje antes de proceder a su fabricación y erección. Es deber del profesional responsable de la construcción elaborar los planos de taller y montaje, pero es obligación del profesional responsable de la inspección verificar que contengan la información requerida en 10.1.4.1 y 10.1.4.2. Adicionalmente, cuando corresponda, estos planos deben mostrar la siguiente información:

- a. Planos de corte o despiece con sus tolerancias.
- b. Preparación de bordes para soldaduras.
- c. Ubicación de perforaciones para pernos.
- d. Ubicación de accesorios para montaje.
- e. Secuencia de armado y soldadura de piezas.
- f. Procedimiento, técnica y secuencia de soldadura.
- g. Preparación de superficie para pintura.
- h. Planos y secuencia de montaje.

10.2 Requisitos generales de diseño

10.2.1 Generalidades

En este artículo se incluyen los requisitos generales del diseño, la definición de cargas y las combinaciones de carga, la definición de *sistemas sísmorresistentes* y los fundamentos de análisis y diseño aplicables a las estructuras de acero.

10.2.2 Requisitos generales de diseño sísmico

La resistencia requerida por los *elementos, componentes y uniones* de acero de los *sistemas sismorresistentes* es determinada según la demanda sísmica y otros requisitos indicados en las disposiciones de los capítulos 3, 4, 5, 6 y 7 de este código. Las disposiciones relativas a los límites de altura, regularidad, desplazamientos y desplazamientos relativos entre niveles están contenidas en los capítulos 4 y 7.

10.2.3 Definición de cargas y combinaciones de carga

En la determinación de la demanda sísmica, cuando en este capítulo se especifique como carga sísmica amplificada, CS_a , esta se calcula como el producto de la carga sísmica, CS , y la sobrerresistencia, SR . En este caso, en las combinaciones de cargas [6-3] y [6-4], se utiliza CS_a en vez de CS .

Cuando se especifique en este capítulo, las cargas sísmicas derivadas del análisis deben ser sustituidas por las demandas esperadas producto del desarrollo de la capacidad de los elementos del *sistema sismorresistente*. En este caso, en las combinaciones de cargas [6-3] y [6-4], se utiliza esta demanda esperada en lugar de CS .

Otras disposiciones relativas a la resistencia requerida en diferentes tipos de *elementos, componentes y uniones* son establecidas en este capítulo.

10.2.4 Criterios de diseño

Para el diseño de estructuras con *elementos, componentes y uniones* de acero se utiliza el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).

10.2.4.1. Resistencia requerida

La resistencia requerida en los *elementos, componentes y uniones* de los *sistemas sismorresistentes* debe ser la mayor de:

- a. La carga última del análisis estructural determinada para las combinaciones de cargas [6-1] a [6-4].
- b. Cualquier otra resistencia requerida especificada en este capítulo, incluidas aquellas derivadas según los principios de diseño por capacidad.

10.2.4.2. Resistencia disponible

La resistencia disponible se define como la resistencia de diseño, ϕR_n , donde R_n es la resistencia nominal. La resistencia disponible de los *elementos, componentes y uniones* debe ser determinada en conformidad con este capítulo.

10.2.4.3. Sistema estructural

El *sistema estructural* debe contener ejes de resistencia compuestos por marcos, marcos arriostrados, muros de corte o combinaciones de estos en cada dirección principal del sistema estructural, que cumplan con los requisitos indicados en la sección 2 de este código y de este capítulo según corresponda.

En los sistemas estructurales en acero se debe usar al menos uno de los *sistemas sismorresistentes* indicados en la tabla 10.5 o combinaciones entre ellos. En el caso de utilizar combinaciones de *sistemas sismorresistentes*, la ductilidad global asignada debe ser la menor de las ductilidades globales calculadas de forma independiente para cada *sistema sismorresistente*.

10.2.5 Ductilidad local de los diferentes tipos de sistemas sismorresistentes

Para determinar la *ductilidad global* de la estructura según las indicaciones dadas en la tabla 4.3, cada tipo de *sistema sismorresistente* tiene la *ductilidad local* indicada en la tabla 10.5.

10.2.6 Espesor mínimo para elementos del sistema sismorresistente

Las secciones utilizadas para fabricar los *elementos*, *componentes* y *uniones* de los *sistemas sismorresistentes* descritos en los artículos 10.5, 10.6, 10.7 y 10.8 deben tener un espesor mínimo de 3 mm.

Solo se pueden utilizar espesores menores que 3 mm cuando se cumplan todas las siguientes condiciones:

1. La capacidad del *sistema sismorresistente* está controlada por un estado límite dúctil en los *elementos*, *componentes* y *uniones*.
2. Se debe demostrar mediante ensayos experimentales que el uso de un espesor menor que 3 mm en los elementos del *sistema sismorresistente* no limita el desarrollo de la capacidad última requerida.
3. Las soldaduras de *elementos*, *componentes* y *uniones* de los *sistemas sismorresistentes* deben ser ejecutadas en ambientes controlados, con procesos de soldadura automática o semi-automática. Estos procesos de soldadura deberán cumplir con las disposiciones de la referencia 3. Además, se deben utilizar los detalles de soldadura precalificados indicados en la referencia 3, o en su defecto, se debe llevar a cabo los ensayos de precalificación según esta referencia.
4. Los *elementos*, *componentes* y *uniones* de los *sistemas sismorresistentes* deben ser fabricados cumpliendo con las disposiciones del artículo 10.9 Control de calidad.

Tabla 10.5. Ductilidad local según el tipo de *sistema sismorresistente*.

		Sistema	Ductilidad local	Ductilidad global asignada	Limitación en altura	Notas
Sistemas a base de elementos de acero estructural	Sistemas de marcos	OMF	-	1.5 o 1.0	Sí	Ver notas 1 y 2
		IMF	Moderada	Según tabla 4.3	Sí	Ver nota 3
		SMF	Óptima	Según tabla 4.3	No	-
		STMF	Óptima	Según tabla 4.3	No	-
	Sistemas arriostrados	OCBF	Moderada	1.5 o 1.0	Sí	Ver notas 1, 3 y 7
		SCBF	Óptima	Según tabla 4.3	No	Ver notas 5 y 7
		EBF	Óptima	Según tabla 4.3	No	Ver notas 6 y 7
		SPSW	Óptima	Según tabla 4.3	No	Ver notas 6 y 7
Sistemas a base de elementos de acero laminado en frío con secciones esbeltas	Sin uniones precalificadas	Marcos y marcos arriostrados Tipo NP	-	1.0	Si	Ver notas 1, 4 y 7
	Con uniones precalificadas	Marcos y marcos arriostrados Tipo P	-	1.5 o 1.0	Sí	Ver notas 1, 4 y 7

Notas:

- Según la tabla 4.3 los sistemas OMF, OCBF y tipo P tienen una ductilidad global asignada de 1.5, a menos que presenten una irregularidad severa, en cuyo caso la ductilidad global asignada es 1.0. Los sistemas Tipo NP tienen una ductilidad global asignada de 1.0.
- Las siguientes limitaciones y restricciones se aplican en sistemas a base de OMF:
 - Pueden ser utilizados en edificaciones de un solo nivel con una altura máxima de 18 m en su parte más alta y cuya carga permanente a nivel de techo no exceda 95 kg/m².
 - Pueden ser utilizados en edificaciones de varios niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta, siempre y cuando la carga permanente de entrepiso y techo no exceda 95 kg/m².
- Las siguientes limitaciones y restricciones se aplican en sistemas a base de IMF y OCBF:
 - Pueden ser utilizados en edificaciones de un solo nivel con una altura máxima de 18 m en su parte más alta y cuya carga permanente a nivel de techo no exceda 95 kg/m².

- 3.2. Pueden ser utilizados en edificaciones de varios niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta.
4. Los sistemas a base de perfiles de acero laminado en frío tipo P y tipo NP pueden ser utilizados únicamente en edificaciones de uno o dos niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta y cuya carga permanente de entrepiso y techo no exceda 95 kg/m^2 .
5. La ductilidad global del sistema se asigna según la tabla 4.3. Sin embargo, para sistemas duales a base de SCBF la ductilidad *global* no puede ser mayor que 3.
6. Para la determinación de la ductilidad global asignada de sistemas tipo muro a base de EBF o SPSW, se permite utilizar las disposiciones para estructuras tipo dual de la tabla 4.3. En este caso rigen los desplazamientos límites de la tabla 7.2 correspondientes a estructuras duales.
7. Se prohíbe el uso de arriostramientos en “K” (ver figura 10.1) en cualquier sistema estructural arriostrado.

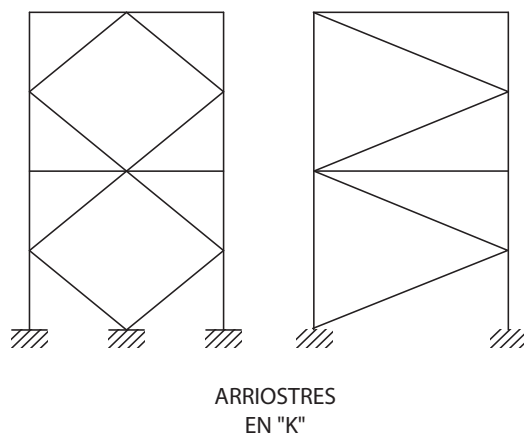


Fig. 10.1. Marcos arriostrados en “K”, no permitidos por este código.

10.3 Análisis estructural

10.3.1 Requisitos generales

El análisis estructural para el diseño del *sistema sismorresistente* se debe realizar conforme se indica en el capítulo 7 de este código.

Cuando el diseño esté basado en análisis elásticos, las propiedades de rigidez de los elementos y componentes de acero deben basarse en las propiedades de la sección elástica. En aquellas secciones que puedan alcanzar pandeos locales se debe considerar los anchos efectivos para el cálculo de la sección efectiva elástica.

Cuando en el *sistema sismorresistente* se utilicen vigas de acero en sección compuesta con la losa de entrepiso, se debe considerar la sección agrietada cuando el concreto se encuentre en tracción y la sección completa cuando el concreto se encuentre en compresión.

10.3.2 Requisitos adicionales

En algunos tipos de *sistemas sismorresistentes* de acero se requieren análisis adicionales basados en principios de diseño por capacidad para determinar la resistencia requerida. Estos se detallan en las disposiciones de este capítulo para cada sistema en particular.

10.3.3 Análisis no lineal

El análisis no lineal debe ser realizado según los requisitos indicados en el inciso 7.7 de este código.

Los modelos para el análisis no lineal se basan en los mismos principios que se utilizan en los modelos de análisis elásticos de diseño. Adicionalmente se deben considerar las propiedades de resistencia y deformación de aquellas secciones sujetas a comportamiento inelástico.

En la determinación de las capacidades de cedencia de las secciones sujetas a comportamiento inelástico debe considerarse el esfuerzo de cedencia esperado, F_{ye} , tal como se define en 10.1.3.2. La capacidad de deformación inelástica de estas secciones es determinada por el análisis plástico de las mismas y en ningún caso puede exceder a las determinadas en este capítulo para los diferentes tipos de elementos y uniones.

En ningún caso se admiten desplazamientos que conduzcan al *sistema sismorresistente* a fuerzas laterales menores que el 80% de la fuerza lateral máxima.

10.4 Requisitos generales para el diseño de elementos y conexiones

10.4.1 Requisitos para elementos

Los elementos de *sistemas sismorresistentes* constituidos por *marcos*, *marcos arriostrados* y *muros estructurales* deben cumplir con las disposiciones de la referencia 1 y con lo estipulado en este capítulo.

10.4.1.1 Clasificación de elementos según su ductilidad

Los elementos que forman parte de los *sistemas sismorresistentes* que se espera desarrollen deformaciones inelásticas al ser sometidos al sismo de diseño son clasificados en este capítulo como *elementos con ductilidad moderada* o *elementos con ductilidad óptima*. En los casos en que se requiera para los sistemas definidos en los artículos 10.5, 10.6 y 10.7, los elementos deben cumplir lo indicado en este artículo.

a. Requisitos para elementos dúctiles

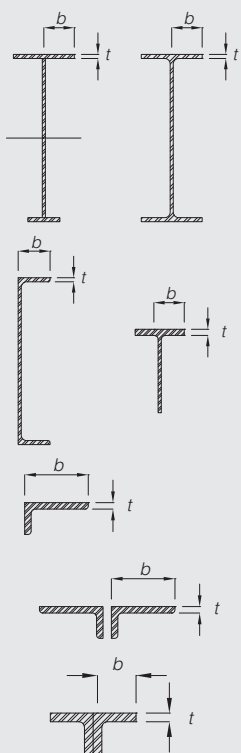
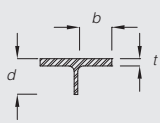
Las secciones estructurales que componen tanto los *elementos con ductilidad moderada* como los *elementos con ductilidad óptima* deben estar formadas por alas conectadas de forma continua al alma o almas.

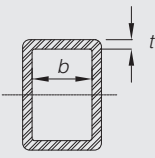
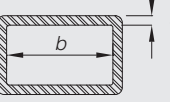
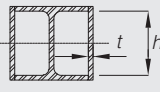
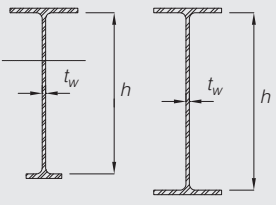
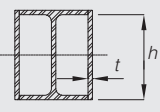
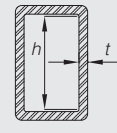
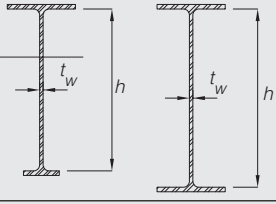
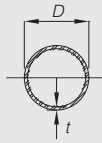
b. Limitaciones en razón de esbeltez para secciones de acero

Para los elementos clasificados como *elementos con ductilidad moderada*, la razón de esbeltez de elementos en compresión no debe exceder la razón de esbeltez λ_{md} especificada en la tabla 10.6.

Para los elementos clasificados como *elementos con ductilidad óptima*, la razón de esbeltez de elementos en compresión no debe exceder la razón de esbeltez λ_{hd} especificada en la tabla 10.6.

TABLA 10.6. Razones de esbeltez por sismo, λ_{hd} y λ_{md} , para elementos en compresión.

	Tipo de elemento	Razón de esbeltez	Razón de esbeltez máxima		Ejemplo
			λ_{hd} Elementos con ductilidad óptima	λ_{md} Elementos con ductilidad moderada	
Elementos sin rigidizar	Alas de secciones "I", canales o secciones "T" laminadas y secciones "I" soldadas a base de placas Alas de angulares simples o alas de angulares dobles con separadores	b/t	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Alas de angulares doble en contacto continuo				
	Almas de secciones "T"	d/t	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{[a]}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Elementos rigidizados	Paredes de tubos rectangulares HSS	b/t			
	Alas de secciones "I" convertidas en sección rectangular y paredes de secciones tipo cajón soldadas a base de placas	b/t	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{[b]}$	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}^{[c]}$	
	Placas laterales de secciones "I" convertidas en secciones rectangulares y paredes de secciones tipo cajón soldadas a base de placas utilizadas como riostras diagonales	h/t			
Elementos rigidizados	Almas de secciones "I" laminadas y almas de secciones "I" soldadas a base de placas utilizadas como vigas o columnas	h/t_w	Para $C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{E/F_y} (1 - 0.93 C_a)$	Para $C_a \leq 0.125$ $3.76 \sqrt{E/F_y} (1 - 2.75 C_a)$	
	Placas laterales de secciones "I" convertidas en secciones rectangulares utilizadas como vigas o columnas	h/t	Para $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{E/F_y} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{E/F_y}$	Para $C_a > 0.125$ $1.12 \sqrt{E/F_y} (2.33 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{E/F_y}$	
	Almas de secciones tipo cajón soldadas a base de placas utilizados como vigas o columnas	h/t	Donde: $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y}$	Donde: $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y}$	
Elementos rigidizados	Almas de secciones "I" laminadas o soldadas a base de placas utilizadas como riostras diagonales	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Paredes de tubos circulares tipo HSS	D/t	$0.038 \frac{E}{F_y}$	$0.044 \frac{E}{F_y}^{[e]}$	

- [a] Para elementos en compresión con sección tipo te, la relación de esbeltez del alma para elementos con ductilidad óptima se puede aumentar a $0.38\sqrt{E/F_y}$ si se cumplen todas las siguientes condiciones:
1. El pandeo del elemento en compresión se da.
 2. En las conexiones de ambos extremos del elemento, la carga axial se transfiere únicamente a la cara externa del ala de la "te"; de esta forma se genera una conexión excéntrica que reduce los esfuerzos de compresión en el extremo no arriostrado del alma de la "te".
- [b] La relación de esbeltez para alas de secciones tipo cajón soldadas a base de placas o formados a partir de una sección tipo I utilizadas como columnas en sistemas tipo SMF no debe exceder $0.6\sqrt{E/F_y}$.
- [c] La relación de esbeltez para paredes de secciones tubulares tipo HSS, alas de secciones tubulares formadas a partir de una sección I y alas de secciones tipo cajón soldadas a base de placas utilizadas como vigas o columnas no debe exceder $1.12\sqrt{E/F_y}$.
- [d] Para secciones tipo I utilizadas como vigas en sistemas SMF, donde C_a sea menor o igual que 0.125, la relación de esbeltez no debe exceder $2.45\sqrt{E/F_y}$. Para secciones tipo I utilizadas como vigas en sistemas IMF, donde C_a sea menor o igual que 0.125, la relación de esbeltez no debe exceder $3.76\sqrt{E/F_y}$.
- [e] La relación de esbeltez para secciones circulares tipo HSS de elementos utilizados como vigas o columnas no debe exceder $0.07\sqrt{E/F_y}$.

10.4.1.2 Arriostramiento para estabilidad de las vigas

En los casos que así se requiera, según lo indicado en los artículos 10.5, 10.6 y 10.7, se debe proveer arriostramiento para estabilidad a los elementos en flexión, con el propósito de limitar el pandeo lateral-torsional, tal y como se indica en este inciso.

a. Vigas con ductilidad moderada

El sistema de arriostramiento para vigas *con ductilidad moderada* debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Ambas alas de la viga deben arriostrarse lateralmente o la sección transversal de la viga debe arriostrarse contra la torsión.
2. El elemento que se utilice para arriostrar vigas contra pandeo lateral o torsional debe cumplir con los requisitos especificados en el apéndice 6 de la referencia 1, donde la capacidad esperada en flexión de la viga debe ser:

$$M_r = R_y Z F_y \quad [10-3]$$

3. El sistema de soporte en la viga debe tener una separación máxima de:

$$L_b = 0.17 r_y \frac{E}{F_y} \quad [10-4]$$

b. Vigas con ductilidad óptima

Adicionalmente a los requisitos (1) y (2) indicados en el inciso anterior, el sistema que arriestre una *viga con ductilidad óptima* debe tener una separación máxima de:

$$L_b = 0.086r_y \frac{E}{F_y} \quad [10-5]$$

c. Arriostramiento especial en zonas de rótula plástica

Adyacente a la zona donde se espere la formación de rótulas plásticas, según se requiera en los artículos 10.5, 10.6 y 10.7, se debe colocar arriostramiento especial, el cual debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Ambas alas de la viga deben arriostrarse lateralmente o la sección transversal de la viga debe arriostrarse contra la torsión.
2. La *capacidad requerida* del elemento propuesto como soporte lateral para cada ala adyacente a las rótulas plásticas debe ser:

$$P_u = 0.06R_y Z \frac{F_y}{h_o} \quad [10-6]$$

donde:

h_o = distancia entre los centroides de las alas.

La capacidad requerida del sistema de arriostramiento por torsión adyacente a las rótulas plásticas debe ser:

$$M_u = 0.06R_y Z F_y \quad [10-7]$$

3. La rigidez requerida del sistema de arriostramiento debe cumplir con los requisitos especificados en el apéndice 6 de la referencia 1 para sistemas de arriestre lateral o torsional para vigas con $C_d=1.0$ y donde la capacidad en flexión esperada de la viga debe ser:

$$M_u = R_y Z F_y \quad [10-8]$$

10.4.1.3 Zonas protegidas

Las discontinuidades producidas por procesos de fabricación o montaje o por otras causas son prohibidas en el área del elemento o conexión designada como *zona protegida* por este código o por la referencia 3. Para sus limitaciones véase el inciso I2.1 de la referencia 3.

Excepción: se permite el uso de conectores de cortante y otros aditamentos en las zonas protegidas en los casos en que así se indiquen en la referencia 3, o como se determine en la precalificación de la unión de acuerdo con la sección

K1, o como se determine en el programa de precalificación experimental de acuerdo con la sección K2 y K3 de la referencia 3.

10.4.1.4 Columnas

Las columnas de marcos, marcos arriostrados o muros estructurales deben satisfacer los requisitos especificados en este inciso.

a. Capacidad requerida

La capacidad requerida de las columnas de los *sistemas sismorresistentes* debe ser mayor que lo siguiente:

1. El efecto de la carga que resulte de los requisitos del análisis aplicable a cada sistema indicado en los artículos 10.5, 10.6 y 10.7.
2. La capacidad en compresión axial y la capacidad en tracción calculadas mediante las combinaciones de carga dadas por las ecuaciones [6-1] a [6-4]. Se permite despreciar los momentos aplicados en este cálculo siempre y cuando el momento aplicado no resulte de una carga aplicada entre puntos de apoyo lateral. La capacidad axial en compresión y la capacidad en tracción requeridas no es necesario que excedan ninguno de los siguientes:
 - i. La carga máxima transferida a la columna por el sistema, determinada según principios de diseño por capacidad que incluyen los efectos de la sobrerresistencia del material y el endurecimiento por deformación.
 - ii. Las fuerzas que correspondan a la resistencia de la fundación durante el levantamiento debido al volcamiento.

10.4.1.5 Diafragmas de entrepiso

El diseño de los diafragmas de entrepiso debe cumplir con los siguientes requisitos:

a. Transferencia de carga

Se deben proveer los detalles constructivos apropiados para transferir las cargas entre los diafragmas y los elementos de borde, elementos colectores y el sistema de vigas de entrepiso.

b. Capacidad nominal en cortante

La capacidad nominal en cortante en el plano del diafragma de entrepiso debe tomarse como la capacidad nominal en cortante del concreto reforzado en su sección de menor espesor, de acuerdo con el capítulo 8. Alternativamente, la capacidad nominal en cortante de un diafragma se podría determinar si se ejecutan pruebas experimentales que determinen su capacidad en cortante.