

## CAPITULO F.6

# DISEÑO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ACERO FORMADOS EN FRIO

### F.6.1 - GENERALIDADES

#### F.6.1.1 - Límites de aplicabilidad y terminología

**F.6.1.1.1 - Alcance y límites de aplicabilidad** - Esta Especificación debe aplicarse al diseño de miembros estructurales de acero dulce o de baja aleación, cuya sección ha sido formada en frío, a partir de láminas, tiras, platinas o barras de espesor menor de 25.4 mm y usados para sostener cargas en edificios. Puede también usarse en estructuras distintas de edificios siempre y cuando se tomen las medidas apropiadas para tener en cuenta los efectos dinámicos.

**F.6.1.1.2 - Terminología** - Donde los siguientes términos aparezcan en esta Especificación tendrán el significado que a continuación se indica:

**Elementos a compresión rigidizados o parcialmente rigidizados** - Un elemento a compresión rigidizado o parcialmente rigidizado es un elemento plano en compresión (es decir, la aleta plana en compresión de un miembro en flexión, o el alma plana o la aleta plana de un miembro en compresión) en el cual ambos bordes paralelos a la dirección del esfuerzo están rigidizados por uno u otro de los siguientes elementos: alma, aleta, pestaña rigidizadora, rigidizador intermedio o similares.

**Elementos a compresión no rigidizados** - Un elemento a compresión no rigidizado es un elemento plano que está rigidizado en un solo borde paralelo a la dirección del esfuerzo.

**Elementos multirigidizados** - Un elemento multirigidizado es un elemento que está rigidizado entre almas, o entre un alma y un borde rigidizado, por medio de rigidizadores intermedios paralelos a la dirección del esfuerzo. Un subelemento es la porción entre rigidizadores adyacentes o entre el alma y los rigidizadores intermedios o entre el borde y los rigidizadores intermedios.

**Relación ancho plano a espesor** - Es igual al ancho plano de un elemento medido en su plano, dividido por su espesor.

**Ancho efectivo de diseño** - Cuando el ancho plano de un elemento se reduce para efectos de diseño, el ancho de diseño reducido, se denomina ancho efectivo o ancho efectivo de diseño.

**Espesor** - El espesor,  $t$ , de un elemento o sección debe ser el espesor del acero base, sin incluir recubrimientos.

**Pandeo por torso-flexión** - El pandeo por torso-flexión es un modo de pandeo en el cual los elementos en compresión pueden doblarse y torcerse simultáneamente.

**Sección con simetría de punto** - Una sección con simetría de punto es una sección simétrica con respecto a un punto (centroide), como una sección Z de aletas iguales.

**Punto de fluencia** - El punto de fluencia  $F_y$  o  $F_u$ , según se usa en esta especificación, significa el punto de fluencia o la resistencia a la fluencia.

**Esfuerzo** - El esfuerzo, según se usa en esta Especificación significa la fuerza por unidad de área.

**Ensayo de comprobación** - Un ensayo de comprobación es un ensayo hecho, cuando se desee, en miembros, conexiones y ensamblajes diseñados de acuerdo con lo estipulado en F.6.1 a F.6.5 de esta especificación, o sus referencias específicas, para comparar su comportamiento real con el calculado.

**Ensayo de comportamiento** - Un ensayo de comportamiento es un ensayo hecho sobre miembros estructurales, conexiones y ensamblajes cuyo comportamiento no puede ser determinado por lo estipulado en F.6.1 a F.6.5 de esta especificación o sus referencias específicas.

**Acero virgen** - Acero virgen se refiere al acero tal como se recibe de la acería o de un depósito, antes de ser trabajado en frío en las operaciones de fabricación.

**Propiedades del acero virgen** - Las propiedades del acero virgen se refieren a las propiedades mecánicas del acero virgen tales como punto de fluencia, resistencia a la tensión y elongación.

**Punto mínimo de fluencia especificado** - El punto mínimo de fluencia especificado es el límite inferior del punto de fluencia, que se debe igualar o exceder en una prueba de especificación para que un lote de acero pueda usarse en miembros estructurales de acero formados en frío diseñados para ese punto de fluencia

**Perfiles estructurales de acero formado en frío** - Perfiles estructurales de acero formado en frío son elementos fabricados por medio de prensas o perfiladoras, a partir de rollos o láminas, o utilizando un proceso de doblamiento de rollos o láminas; ambos procesos de formado deben ejecutarse a temperatura ambiente, es decir, sin la adición manifiesta de calor, como se requeriría en el caso del formado en caliente.

**DCCR (Diseño con coeficientes de carga y resistencia)** - Es un método para dimensionar los componentes estructurales (miembros, conectores, elementos de conexión y ensamblajes) de tal manera que no se exceda el estado límite aplicable cuando la estructura se someta a todas las posibles combinaciones de carga.

**Resistencia de diseño** - Resistencia mayorada (fuerza o momento según el caso),  $\phi R_n$ , suministrada por el componente estructural.

**Resistencia requerida** - Efecto de la carga (fuerza o momento, según el caso) que actúa en el componente estructural, hecho con base en las cargas mayoradas (usando las combinaciones de carga críticas más apropiadas para cada caso y los coeficientes de mayoración estipulados en el Título B).

**F.6.1.1.3 - Unidades** - La Especificación está escrita de tal forma que cualquier sistema compatible de unidades puede usarse excepto en donde el texto explícitamente indique lo contrario.

**F.6.1.2 - PERFILES Y CONSTRUCCIONES QUE NO CUMPLEN ESTA ESPECIFICACION** - Los requisitos de esta especificación no pretenden impedir el uso de perfiles o construcciones alternas no prescritas aquí específicamente. Tales alternativas deben cumplir lo estipulado en F.6.6 de esta especificación y deben ser aprobadas por la autoridad competente.

### **F.6.1.3 - MATERIALES**

**F.6.1.3.1 - Aceros aplicables** - Esta Especificación requiere el uso de acero de calidad estructural según lo definido en general en las siguientes especificaciones NTC de ICONTEC, o ASTM de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales. (American Society for Testing and Materials)

**NTC 1920** (ASTM A36). Acero estructural.

**NTC 1950** (ASTM A242). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación.

**NTC 1971** (ASTM A441). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con manganeso y vanadio.

**NTC 1985** (ASTM A572). Aceros de alta resistencia y baja aleación con colombio y vanadio, de calidad estructural

**NTC 1986** (ASTM A500) Tubería estructural de acero al carbón, soldada y sin costura, formada en frío, redonda, cuadrada o rectangular

**NTC 2012** (ASTM A588). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con punto mínimo de fluencia de 35.2 kgf/mm<sup>2</sup> (50 ksi) y hasta 102 mm (4 pulgadas) de espesor.

**NTC 3347** (ASTM A570). Láminas y tiras de acero al carbón laminadas en caliente, de calidad estructural.

**NTC 3467** (ASTM A611 - grados A, B, C y D). Láminas de acero dulce, al carbón, laminadas en frío, de calidad estructural.

**NTC 4006** (ASTM A715 - grados 50 y 60). Láminas y tiras de acero, laminadas en caliente, de alta resistencia y baja aleación, con formabilidad mejorada.

**NTC 4007** (ASTM A529). Acero estructural con punto de fluencia mínimo de 29.5 kgf/mm<sup>2</sup> (42 ksi) y espesor máximo 12.7 mm (1/2 pulgada).

**NTC 4009** (ASTM A606). Láminas y tiras de acero, laminadas en caliente o en frío, de alta resistencia y baja aleación, con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.

**NTC 4016** (ASTM A607). Láminas y tiras de acero, laminadas en caliente o en frío, de baja aleación con colombio o vanadio o ambos.

**ASTM A446 - grados A, B, C, D y F.** Acero y láminas con recubrimiento de zinc (galvanizados) aplicado por inmersión en caliente, de calidad estructural (física).

**ASTM A792** (grados 33, 37, 40 y 50). Láminas de acero, recubiertas con una aleación de aluminio y zinc, por inmersión en caliente. Requisitos Generales.

**F.6.1.3.2 - Otros aceros** - La lista dada en F.6.1.3.1 no excluye el uso de aceros de hasta 25.4 mm (1 pulgada) de espesor ordenados o producidos de acuerdo con otras especificaciones, siempre y cuando dichos aceros cumplan con los requisitos mecánicos y químicos de cualquiera de las especificaciones mencionadas anteriormente, u otra especificación publicada que establezca sus propiedades y aplicabilidad, y siempre que esté sujeto, bien sea por el productor o el comprador, a análisis, ensayos y otros controles con el alcance y en la forma prescrita por una de las especificaciones de la lista anterior y F.6.1.3.3.

**F.6.1.3.3 - Ductilidad** - Los aceros que no están en la lista de F.6.1.3.1 y que se usen para miembros y conexiones estructurales deben cumplir con uno de los siguientes requisitos de ductilidad:

**F.6.1.3.3.1** - La relación entre la resistencia a la tensión y el punto de fluencia no debe ser menor que 1.08, y la elongación total no debe ser menor que el 10% en una longitud testigo de 51 mm (2 pulgadas) ó 7% en una longitud testigo de 203 mm (8 pulgadas) de la probeta estándar ensayada de acuerdo con la norma ASTM A370. Si estos requisitos no se pueden cumplir, se deben satisfacer los siguientes criterios: (1) la elongación local en una longitud de 12.7 mm (1/2 pulgada) que incluya la línea de fractura no debe ser menor del 20%, (2) la elongación uniforme en la región externa a la fractura no debe ser menor del 3%<sup>(1)</sup>.

Cuando la ductilidad del material se determina con base en los criterios de elongación local y uniforme, se restringe su uso al diseño de cambios y correas<sup>(2)</sup> de acuerdo con F.6.3.3.1.1(a), F.6.3.3.1.2 y F.6.3.3.1.3. Para correas y cambios sujetos a carga axial y a momento flector combinados (F.6.3.5), P/P, no debe exceder 0.15.

**F.6.1.3.3.2** - Los aceros que cumplen la norma ASTM A446 grado E y A611 grado E y otros aceros que no cumplen lo estipulado en F.6.1.3.3.1 pueden usarse para configuraciones especiales siempre que (1) la resistencia a la fluencia,  $F_y$ , usada para diseño en los Capítulos F.6.2, F.6.3 y F.6.4 se tome como el menor valor entre el 75% del punto de fluencia mínimo especificado y 42 kgf/mm<sup>2</sup> (60 ksi) y (2) la resistencia a la tensión,  $F_u$ , usada para diseño en el Capítulo F.6.5 se tome como el menor valor entre el 75% del esfuerzo de tensión mínimo especificado y 43.4 kgf/mm<sup>2</sup> (62 ksi). Alternativamente, se debe demostrar la aplicabilidad de tales aceros para la configuración por medio de ensayos de carga, de acuerdo con el capítulo F.6.6.1. Las

---

(1) En el comentario se puede obtener más información sobre los procedimientos del ensayo

(2) Miembros estructurales horizontales que soportan tableros de techo o paneles de cubierta y cargas aplicadas por flexión, principalmente

resistencias de diseño que se basen en estos ensayos no deben exceder las resistencias calculadas de acuerdo con los capítulos F.6.2 a F.6.5, usando el esfuerzo de fluencia mínimo especificado,  $F_y$ , para  $F_y$ , y la resistencia a la tensión mínima especificada,  $F_u$ .

**F.6.1.3.4 - Espesor mínimo** - El espesor mínimo de acero sin revestimiento, del producto formado en frío tal como se despacha a la obra no debe ser en ningún sitio menor que el 95% del espesor  $t$  usado en su diseño; sin embargo, los espesores pueden ser menores en los dobleces, tales como esquinas, debido a los efectos del formado en frío.

#### **F.6.1.4 - CARGAS**

**F.6.1.4.1 - Carga muerta** - La carga muerta para diseño es el peso del acero estructural más todo el material permanentemente sujeto a él o soportado por él.

**F.6.1.4.2 - Carga viva o de granizo** - La carga viva o la carga de granizo debe ser aquella estipulada por la norma o especificación bajo la cual se está diseñando la estructura o aquella definida por las condiciones específicas del proyecto.

**F.6.1.4.3 - Carga de impacto** - Para estructuras que soportan cargas vivas que inducen impacto, la carga viva supuesta debe incrementarse suficientemente para tener en consideración el impacto. Para los casos más comunes se utilizarán los coeficientes de mayoración estipulados en el Título B.

**F.6.1.4.4 - Fuerzas de viento o de sismo** - Las fuerzas de viento o de sismo serán las establecidas en el Título B.

**F.6.1.4.5 - Empozamiento** - A menos que la superficie de cubierta tenga una pendiente suficiente hacia puntos de drenaje libre o drenajes individuales adecuados que prevengan la acumulación de aguas lluvias, el sistema de cubierta debe investigarse por análisis racional para asegurar su estabilidad bajo condiciones de empozamiento.

#### **F.6.1.5 - ANALISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO**

**F.6.1.5.1 - Bases de diseño** - Esta especificación se basa en el concepto de diseño para estados límites. El diseño para estados límites es un método para dimensionar los componentes estructurales de acero, formados en frío, (es decir los miembros, conectores y conexiones) de tal manera que no se exceda ningún estado límite aplicable cuando la estructura se somete a cualquier combinación apropiada de cargas.

Se consideran dos tipos de estados límites: (1) el estado límite de la resistencia requerida para soportar las cargas extremas durante la vida útil de la estructura, y (2) el estado límite de la capacidad de la estructura para desempeñar la función deseada durante su vida útil. Estos estados límites se llamarán en este documento, el Estado Límite de Resistencia y el Estado Límite de Funcionamiento respectivamente.

**F.6.1.5.1.1 - Estado límite de resistencia** - El diseño es satisfactorio cuando las resistencias requeridas, determinadas para las cargas nominales asignadas multiplicadas por los coeficientes de mayoración de carga correspondientes, son menores o iguales que la resistencia de diseño de cada componente estructural.

La resistencia de diseño es igual a  $\phi R_n$ , en donde  $\phi$  es un coeficiente de resistencia y  $R_n$  es la resistencia nominal determinada de acuerdo con las ecuaciones dadas en F.6.3 para miembros, en F.6.4 para ensamblajes estructurales y en F.6.5 para conexiones. Los valores de los coeficientes de resistencia  $\phi$  se dan en F.6.1.5.1.5 para los correspondientes estados límite que gobiernan la resistencia del miembro y de la conexión.

**F.6.1.5.1.2 - Estado límite de funcionamiento** - El funcionamiento se considera satisfactorio si una respuesta estructural nominal (por ejemplo la deflexión debida a la carga viva), causada por las cargas nominales aplicables no sobrepasa los valores admisibles o aceptables de esta respuesta.

**F.6.1.5.1.3 - Cargas nominales** - Las cargas nominales deben ser las cargas mínimas de diseño estipuladas en el Título B o las dictadas por las condiciones específicas del proyecto. Para fines de diseño, las cargas estipuladas en dicho título se deben tomar como cargas nominales.

**F.6.1.5.1.4 - Coeficientes de mayoración de carga y combinaciones de carga** - La estructura y sus componentes se diseñarán para la combinación de cargas más crítica. Se usarán las combinaciones de las cargas nominales mayoradas establecidas en el Título B para calcular la resistencia requerida.

**F.6.1.5.1.5 - Coeficientes de resistencia** - Los coeficientes de resistencia que se usan para determinar las resistencias de diseño,  $\phi R_n$ , de los miembros y conexiones estructurales son:

Tipo de resistencia	Coeficiente de resistencia $\phi$
(a) Rigidizadores	
- Rigidizadores transversales	0.85
- Rigidizadores de cortante*	0.90
(b) Miembros a tensión	0.95
(c) Miembros a flexión	
- Resistencia a la flexión	
Para secciones con aletas a compresión rigidizadas o parcialmente rigidizadas	0.95
Para secciones con aletas a compresión no rigidizadas	0.90
- Vigas sin arriostramiento lateral	0.90
- Vigas con una aleta sujeta a tableros o tabiques (secciones C o Z)	0.90
- Diseño del alma	
Resistencia a cortante*	0.90
Arrugamiento del alma para almas simples sin reforzar	0.75
Arrugamiento del alma para secciones en I	0.80
(d) Miembros en compresión cargados axialmente	0.85
(e) Carga axial y flexión combinadas	
$\phi_c$ para compresión	0.85
$\phi_b$ para flexión	0.90 - 0.95
(f) Miembros tubulares cilíndricos	
- Resistencia a la flexión	0.95
- Compresión axial	0.85
(g) Parales y ensamblajes de pared	
- Parales de pared en compresión	0.85
- Parales de pared en flexión	
Para secciones con aletas a compresión rigidizadas o parcialmente rigidizadas	0.95
rigidizadas	0.90
Para secciones con aletas a compresión sin rigidizar	
(h) Conexiones soldadas	
- Soldaduras de surco	
Tensión o compresión	0.90
Cortante (soldadura)	0.80
Cortante (metal base)	0.90
- Soldaduras de punto de arco	
Soldaduras	0.60
Parte conectada	0.50 - 0.60
Distancia mínima al borde	0.60 - 0.70
- Costuras con soldadura de arco	
Soldadura	0.60
Parte conectada	0.60
- Soldadura de filete	
Carga longitudinal (parte conectada)	0.55 - 0.60
Carga transversal (parte conectada)	0.60

Soldadura	0.60
- Soldaduras de surco a ras	
Carga transversal (parte conectada)	0.55
Carga longitudinal (parte conectada)	0.55
Soldadura	0.60
- Soldaduras de resistencia	0.65
(i) Conexiones atomilladas	
- Espaciamiento y distancia mínima al borde mínimos	0.60 - 0.70
- Resistencia a tensión en la sección neta	
Con arandelas conexión a cortante doble	0.65
Con arandelas conexión a cortante sencillo	0.55
Sin arandelas	0.65
- Resistencia al aplastamiento	0.55 - 0.70
Resistencia a cortante de los pernos	0.65
Resistencia a tensión de los pernos	0.75
(j) Rotura a cortante	0.75
(k) Conexiones con otros materiales (aplastamiento)	0.60

\* cuando  $h/t \leq \sqrt{EK_v/F_y}$ ,  $\phi = 1.0$

#### F.6.1.5.2 - Incrementos del punto de fluencia y de la resistencia causados por el formado en frío

**F.6.1.5.2.1 - Punto de fluencia** - El punto de fluencia usado en el diseño,  $F_y$ , no debe exceder el punto de fluencia mínimo especificado de los aceros listados en F.6.1.3.1 o F.6.1.3.2, tal como se establece en el Capítulo F.6.6, o el incrementado por el proceso de formado en frío, según F.6.1.5.2.2 o el reducido para aceros de baja ductilidad según F.6.1.3.3.2.

**F.6.1.5.2.2 - Incremento de resistencia por el proceso de formado en frío** - El incremento de resistencia debido al formado en frío puede obtenerse substituyendo  $F_y$  por  $F_{ya}$ , donde  $F_{ya}$  es el punto de fluencia promedio de la sección completa. El uso de tal incremento debe limitarse a F.6.3.3.1 (excluyendo F.6.3.3.1(b)), F.6.3.4, F.6.3.5, F.6.3.6 y F.6.4.4. Las limitaciones y métodos para determinar  $F_{ya}$  son los siguientes:

(a) Para miembros en compresión cargados axialmente y miembros en flexión cuyas proporciones son tales que la cantidad  $p$  es igual a 1.0, determinada de acuerdo con F.6.2.2 para cada uno de los componentes de la sección, el esfuerzo de fluencia de diseño del acero,  $F_{ya}$ , debe determinarse con base en uno de los siguientes métodos:

- (i) Ensayos a tensión de la sección completa (véase (a) de F.6.6.3.1);
- (ii) Ensayos sobre columnas muy cortas (véase el literal (b) de F.6.6.3.1);
- (iii) Calculado así:

$$F_{ya} = CF_{yc} + (1 - C)F_{yf} \quad (F.6-1)$$

en donde:

- $F_{ya}$  = punto de fluencia promedio del acero en las secciones completas de las aletas de miembros en flexión.
- $C$  = para miembros en compresión, es la relación entre el área transversal total de los dobleces y el área transversal total de la sección completa; para miembros en flexión, es la relación entre el área transversal total de los dobleces de la aleta que controla y el área transversal total de la misma.
- $F_{yf}$  = punto de fluencia promedio ponderado de las porciones planas, establecido de acuerdo con F.6.6.3.2 o el punto de fluencia virgen si no se han efectuado ensayos.
- $F_{yc}$  =  $B_c F_{yv} / (R/t)^m$  punto de fluencia a tensión de los dobleces (F.6-2)

cuando

$F_{uv}/F_{yv} > 1.2$ ,  $R/t \leq 7$  y el ángulo mínimo incluido  $\leq 120^\circ$

$$B_c = 3.69 \left( \frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right) - 0.819 \left( \frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right)^2 - 1.79 \quad (F.6-3)$$

$$m = 0.192 \left( \frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right) - 0.068 \quad (F.6-4)$$

$R$  = radio interno del doblez

$F_{yv}$  = punto de fluencia a tensión del acero virgen<sup>(3)</sup> especificado en F.6.1.3 o establecido de acuerdo con F.6.6.3.3.

$F_w$  = resistencia última a la tensión del acero virgen<sup>(3)</sup> especificada en F.6.1.3 o establecida de acuerdo con F.6.6.3.3.

(b) El punto de fluencia del acero en miembros en tensión cargados axialmente debe determinarse por cualquiera de los métodos (1) o (3) descritos en (a) de esta sección.

(c) El efecto de cualquier soldadura en las propiedades mecánicas debe determinarse con base en ensayos sobre probetas de la sección completa que contengan dentro de la longitud testigo, la soldadura que el fabricante se propone utilizar. Se deben tomar las medidas necesarias para considerar tal efecto en el uso estructural del miembro.

**F.6.1.5.3 - Durabilidad** - Una estructura debe diseñarse para llevar a cabo sus funciones requeridas durante su vida útil, con debida consideración a su durabilidad.

**F.6.1.6 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA** - Esta Especificación hace referencia a los siguientes documentos:

- (1) Instituto Americano de Construcción en Acero. "Especificación para el diseño con coeficientes de carga y de resistencia de edificios de acero estructural". American Institute of Steel Construction, (AISC), One East Wacker Drive, Suite 3100, Chicago, Illinois 60601-2001, Septiembre 1, 1986.
- (2) Sociedad Americana de Soldadura, AWS D1 3-89, "Código de Soldadura Estructural - lámina de acero", American Welding Society, (AWS), 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126.
- (3) Sociedad Americana de Soldadura, AWS C.1.1-66, "Prácticas recomendadas para soldadura de resistencia", American Welding Society (AWS), 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33135.
- (4) Sociedad Americana de Soldadura, AWS C.1.3-70, "Prácticas recomendadas para soldadura de resistencia de aceros con bajo contenido de carbono, revestidos", American Welding Society (AWS), 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33135
- (5) Además de las referencias anteriores, esta Especificación reconoce las siguientes normas estándares de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19013:

**NTC 1920** (ASTM A36) Acero estructural.

**NTC 1950** (ASTM A242). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación.

**NTC 1971** (ASTM A441). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con manganeso y vanadio.

**NTC 1985** (ASTM A572). Aceros de alta resistencia y baja aleación con colombio y vanadio, de calidad estructural.

(3) Por acero virgen se entiende acá la condición (enrollado o plano) del acero antes de la operación de formado en frío

**NTC 1986** (ASTM A500). Elementos estructurales de acero dulce, producidos en frío, soldados y sin costura, redondos, cuadrados y rectangulares.

**NTC 2012** (ASTM A588). Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con punto mínimo de fluencia de 35.2 kgf/mm<sup>2</sup> (50 ksi) hasta 102 mm (4 pulgadas) de espesor.

**NTC 3347** (ASTM A570). Láminas y franjas de acero dulce laminadas en caliente, de calidad estructural.

**NTC 3353** (ASTM A370). Ensayos mecánicos para productos de acero.

**NTC 3467** (ASTM A611) grados A, B, C y D. Láminas de acero dulce producidas en frío, de calidad estructural.

**NTC 4006** (ASTM A715) grados 50 y 60. Láminas y franjas de acero, laminadas en caliente, de alta resistencia y baja aleación, con formabilidad mejorada.

**NTC 4007** (ASTM A529). Acero estructural con punto de fluencia mínimo de 29.5 kgf/mm<sup>2</sup> (42 ksi) y espesor máximo 12.7 mm. (1/2 pulgada).

**NTC 4009** (ASTM A606). Láminas y tiras de acero, laminadas en caliente o en frío, de alta resistencia y baja aleación, con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.

**NTC 4016** (ASTM A607). Láminas y franjas de acero, laminadas en caliente o en frío, de baja aleación con colombio o vanadio, o ambos.

**NTC 4028** (ASTM A490). Pernos de acero aleado, templado y revenido para uniones de acero estructural.

**NTC 4034** (ASTM A307) Tipo A. Sujetadores estándares de acero dulce, roscados externa e internamente.

**ASTM A194**. Tuercas de acero dulce y aleado para pernos sometidos a altas presiones y altas temperaturas.

**ASTM A325**. Pernos de alta resistencia para uniones de acero estructural.

**ASTM A354** (grado BD). Pernos de acero aleado templado y revenido, espigos y otros sujetadores roscados externamente (para pernos de diámetro menor de 12.7 mm).

**ASTM A446** (Grados A, B, C, D y F). Acero y láminas con recubrimiento de zinc (galvanizadas) aplicado por inmersión en caliente, de calidad estructural (física).

**ASTM A449**. Pernos y espigos de acero aleado, templado y revenido (con diámetro menor de 12.7 mm).

**ASTM A563**. Tuercas de acero dulce y aleado.

**ASTM A792** (grados 33, 37, 40 y 50). Láminas de acero recubiertas con una aleación de aluminio y zinc, aplicada por inmersión en caliente. Requisitos generales.

**ASTM F436**. Arandelas de acero endurecido.

**ASTM F844**. Arandelas de acero común (planas), sin endurecer, para uso general.

**ASTM F959**. Arandelas compresibles, indicadoras de la tensión directa, para usar con sujetadores estructurales.



## F.6.2 - ELEMENTOS

### F.6.2.1 - LIMITES Y CONSIDERACIONES DIMENSIONALES

#### F.6.2.1.1 - Consideraciones de ancho plano-espesor para aletas

**F.6.2.1.1.1 - Máximas relaciones de ancho plano-espesor para aletas** - Las máximas relaciones ancho-plano a espesor admisibles,  $w/t$ , sin considerar los rigidizadores transversales y tomando como  $t$  el espesor real del elemento, deberán ser las siguientes:

(a) Elemento en compresión rigidizado, que tenga un borde longitudinal conectado a un alma o a un elemento de aleta, y el otro rigidizado por:

Pestaña sencilla ..... 60

Cualquier otro tipo de rigidizador que tenga  $I_y > I_x$  y  $D/w < 0.8$ , de acuerdo con F.6.2.4.2 ..... 90

(b) Elemento en compresión rigidizado con ambos bordes longitudinales conectados a otros elementos rigidizados ..... 500

(c) Elemento en compresión no rigidizado y elementos con un rigidizador de borde que tenga  $I_x < I_y$  y  $D/w \leq 0.8$ , de acuerdo con F.6.2.4.2 ..... 60

**Nota:** Los elementos en compresión no rigidizados que tengan relaciones  $w/t$  superiores a aproximadamente 30 y elementos en compresión rigidizados que tengan relaciones  $w/t$  superiores a aproximadamente 250, son susceptibles de desarrollar deformaciones importantes bajo la resistencia total de diseño, sin afectar la capacidad del miembro para sostener la resistencia solicitada.

Los elementos rigidizados que tengan relaciones  $w/t$  superiores a 500 pueden ser usados en forma segura para soportar las cargas solicitadas, pero se pueden presentar deformaciones importantes en el miembro, que invalidarían las fórmulas de diseño de esta Especificación

**F.6.2.1.1.2 - Encocamiento de la aleta** - Cuando la aleta de un miembro en flexión es extremadamente ancha y se desea limitar la cantidad de encocamiento o movimiento de la aleta hacia el eje neutro, se aplica la siguiente fórmula a las aletas en compresión y en tensión, rigidizadas o no:

$$w_r = \sqrt{\frac{0.061tdE}{f_{av}}} \sqrt[4]{\frac{100c_r}{d}} \quad (F.6-5)$$

en donde:

- $W_r$  = ancho de la aleta que se proyecta más allá del alma, o la mitad de la distancia entre las almas de vigas en cajón o en U
- $t$  = espesor de la aleta
- $d$  = altura de la viga
- $c_r^{(4)}$  = cantidad de encocamiento
- $f_{av}$  = esfuerzo promedio en el ancho completo, no reducido, de la aleta. (Cuando los miembros sean diseñados por el método del ancho efectivo, el esfuerzo promedio es igual al máximo esfuerzo multiplicado por la relación entre el ancho efectivo de diseño y el ancho real).

**F.6.2.1.1.3 - Efectos de variación por corte** - Luces demasiado cortas que soportan cargas concentradas

(4) La cantidad de encocamiento que puede ser tolerada varará con las diferentes clases de secciones y debe ser establecida por el diseñador. Una cantidad de encocamiento del 5% de la altura efectiva de la sección generalmente no se considera excesiva

Cuando la luz de la viga es menor que  $30w_f$  ( $w_f$  según se define más adelante) y soporta una carga concentrada o varias cargas espaciadas a una distancia mayor que  $2w_f$ , el ancho efectivo de diseño de cualquier aleta, bien sea en tensión o en compresión, debe limitarse a lo siguiente:

**Tabla F.6-1**  
**Aletas anchas y cortas**  
**Máxima relación admisible entre el ancho efectivo de diseño y el ancho real**

$L/w_f$	Relación	$L/w_f$	Relación
30	1.00	14	0.82
25	0.96	12	0.78
20	0.91	10	0.73
18	0.89	8	0.67
16	0.86	6	0.55

en donde.

- $L$  = luz total para vigas simplemente apoyadas; o la distancia entre puntos de inflexión para vigas continuas; o dos veces la longitud de vigas en voladizo.
- $w_f$  = ancho de la proyección de la aleta más allá del alma en vigas I y secciones similares, o la mitad de la distancia entre las almas de secciones en cajón o en U

Para las aletas de vigas en I y secciones similares rigidizadas por medio de pestañas en los bordes exteriores,  $w_f$  debe tomarse como la suma de la proyección de la aleta más allá del alma y el ancho de la pestaña.

**F.6.2.1.2 - Relación máxima altura-espesor en almas** - La relación  $h/t$ , de las almas de los miembros en flexión no debe exceder los siguientes límites

(a) Para almas no reforzadas  $(h/t)_{max}=200$

(b) Para almas provistas de rigidizadores transversales que satisfagan los requisitos de F.6.2.6.1:

(i) Cuando se usen rigidizadores de apoyo solamente  $(h/t)_{max}=260$

(ii) Cuando se usen rigidizadores de apoyo y rigidizadores intermedios  $(h/t)_{max}=300$

en donde

$h$  = altura de la porción plana del alma, medida a lo largo del plano del alma

$t$  = espesor del alma

Cuando el alma conste de dos o más láminas, se debe calcular para cada una la relación  $h/t$ .

## F.6.2.2 - ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS RIGIDIZADOS

### F.6.2.2.1 - Elementos rigidizados en compresión uniforme

**F.6.2.2.1.1 - Determinación de la capacidad de carga** - Los anchos efectivos,  $b$ , de elementos comprimidos uniformemente deben determinarse con las siguientes fórmulas:

$$b = w \text{ cuando } \lambda \leq 0.673 \quad (\text{F.6-6})$$

$$b = \rho w \text{ cuando } \lambda > 0.673 \quad (\text{F.6-7})$$

en donde:

$w$  = ancho plano como se muestra en la figura F 6-1

$$\rho = \frac{1 - (0.22/\lambda)}{\lambda} \quad (\text{F.6-8})$$

$\lambda$  = es un factor de esbeltez determinado así:

$$\lambda = \left( \frac{1.052}{\sqrt{k}} \right) \left( \frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} \quad (\text{F.6-9})$$

en donde:

- t = espesor de los elementos rigidizados comprimidos uniformemente, y
- f = para la determinación de la capacidad de carga es:

Para miembros en flexión:

- (i) Si se usa el procedimiento I de F.6.3.3.1.1,  $f = F_y$ , si la fluencia inicial en el elemento considerado es en compresión.
- (ii) Si la fluencia inicial es a tensión, entonces el esfuerzo  $f$  de compresión en el elemento considerado se debe determinar con base en la sección efectiva en  $M_y$  (momento causante de la fluencia inicial).
- (iii) Si se usa el procedimiento II de F.6.3.3.1.1, entonces  $f$  es el esfuerzo en el elemento considerado, con  $M_x$  determinado sobre la base de la sección efectiva.
- (iv) Si se usa F.6.3.3.1.2, entonces  $f = M_x/S_x$  siguiendo lo prescrito en esa sección para la determinación de  $S_x$ .

Para miembros a compresión  $f$  se toma igual al  $F_u$ , determinado en F.6.3.4 o F.6.4.4 según sea el caso.

- E = módulo de elasticidad
- k = coeficiente de pandeo de placa
- = 4 para elementos rigidizados apoyados por un alma en cada borde longitudinal. En las secciones aplicables se dan valores de  $k$  para los diferentes tipos de elementos.

**F.6.2.2.1.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos,  $b_e$ , usados en el cálculo de deflexiones deben determinarse con las siguientes fórmulas:

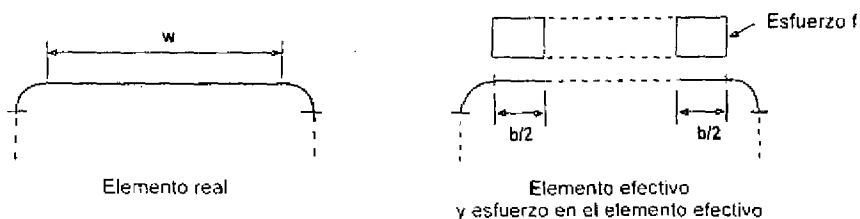
$$b_e = w \text{ cuando } \lambda \leq 0.673 \quad (\text{F.6-10})$$

$$b_e = \rho w \text{ cuando } \lambda > 0.673 \quad (\text{F.6-11})$$

en donde:

- w = ancho plano
- $\rho$  = coeficiente de reducción determinado por uno de los siguientes procedimientos:

- (i) **Procedimiento I** - Se puede obtener un estimativo bajo del ancho efectivo, de las ecuaciones F.6-8 y F.6-9 en donde  $f_d$  sustituye a  $f$  y  $f_d$  es el esfuerzo de compresión calculado en el elemento bajo consideración.



**Figura F.6-1**  
Elementos rigidizados sometidos a compresión uniforme

(ii) **Procedimiento II** - Para elementos rigidizados soportados por un alma en cada borde longitudinal, se puede obtener un estimativo mejorado del ancho efectivo de diseño, calculando  $\rho$  así:

$$\rho = 1 \text{ cuando } \lambda \leq 0.673 \quad (\text{F.6-12})$$

$$\rho = \frac{1.358 - (0.461/\lambda)}{\lambda} \text{ cuando } 0.673 < \lambda < \lambda_c \quad (\text{F.6-13})$$

$$\rho = \frac{(0.41 + 0.59\sqrt{F_y/f_d} - 0.22/\lambda)}{\lambda} \text{ cuando } \lambda \geq \lambda_c \quad (\text{F.6-14})$$

no debe ser mayor que 1 en ningún caso

en donde:

$$\lambda_c = 0.256 + 0.328(w/t)\sqrt{F_y/E} \quad (\text{F.6-15})$$

$\lambda$  está definida por la ecuación F.6-9 excepto que  $f_d$  sustituye a  $f$

#### F.6.2.2.2 - Elementos rigidizados en compresión uniforme con huecos circulares

**F.6.2.2.2.1 - Determinación de la capacidad de carga** - El ancho efectivo,  $b$ , de elementos rigidizados en compresión uniforme, con huecos circulares, debe determinarse así:

para  $0.50 \geq d_h/w \geq 0$ , y  $w/t \leq 70$  espaciamiento centro a centro de los huecos  $>0.50w$  y  $3d_h$ ,

$$b = w - d_h \text{ cuando } \lambda \leq 0.673 \quad (\text{F.6-16})$$

$$b = w \left[ \frac{1 - (0.22/\lambda) - (0.8d_h/w)}{\lambda} \right] \text{ cuando } \lambda > 0.673 \quad (\text{F.6-17})$$

$b$  no debe ser mayor que  $(w - d_h)$

en donde:

$w$  = ancho plano

$d_h$  = diámetro de los huecos

$\lambda$  está definida en F.6.2.2.1

**F.6.2.2.2.1.2 - Determinación de la deflexión** - El ancho efectivo,  $b_d$ , usado en los cálculos de deflexión debe ser igual a  $b$  determinado de acuerdo con el procedimiento I de F.6.2.2.2(a) excepto que  $f_d$  sustituye a  $f$ , donde  $f_d$  es el esfuerzo de compresión calculado en el elemento bajo consideración

#### F.6.2.2.3 - Ancho efectivo de almas y elementos rigidizados con gradiente de esfuerzo

**F.6.2.2.3.1 - Determinación de la capacidad de carga** - Los anchos efectivos,  $b_1$  y  $b_2$ , según se muestra en la figura F.6-2 deben determinarse con las siguientes fórmulas.

$$b_1 = \frac{b_e}{3 - \psi} \quad (\text{F.6-18})$$

para  $\psi \leq -0.236$

$$b_2 = \frac{b_e}{2} \quad (F.6-19)$$

$b_1 + b_2$  no debe exceder la porción a compresión del alma calculada con base en la sección efectiva.

Para  $\psi > -0.236$

$$b_2 = b_e - b_1 \quad (F.6-20)$$

en donde:

$b_e$  = ancho efectivo  $b$  determinado de acuerdo con F.6.2.2.1, substituyendo  $f$  por  $f_1$  y tomando  $k$  como sigue:

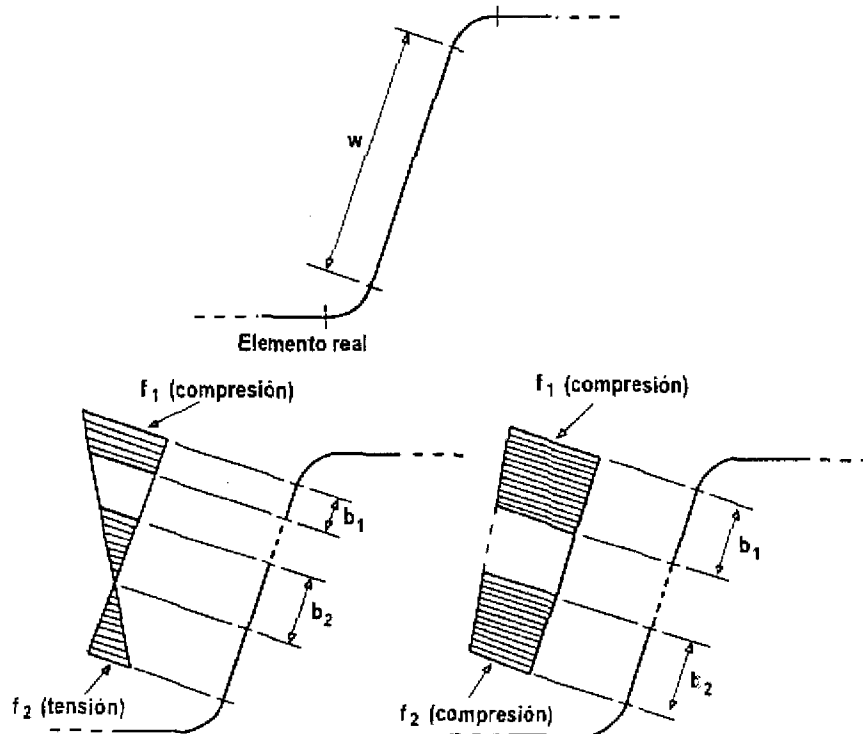
$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \quad (F.6-21)$$

$$\psi = \frac{f_2}{f_1}$$

$f_1$ ,  $f_2$  son los esfuerzos mostrados en la figura F.6-2 calculados con base en la sección efectiva.

$f_1$  es compresión (+) y  $f_2$  puede ser o tensión (-) o compresión.

En caso de que tanto  $f_1$  como  $f_2$  sean compresión,  $f_1 \geq f_2$



Elementos efectivos y esfuerzos en los elementos efectivos

Figura F.6-2  
Almas y elementos rigidizados con gradiente de esfuerzos

**F.6.2.2.3.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos para el cálculo de deflexiones bajo una carga dada, deben determinarse de acuerdo con F.6.2.2.3(a), excepto que  $f_1$  y  $f_2$  se substituyen por  $f_{u1}$  y  $f_{u2}$ , donde  $f_{u1}$  y  $f_{u2}$  = esfuerzos calculados  $f_1$  y  $f_2$  según se muestra en la fig. F.6-2. Los cálculos están basados en la sección efectiva bajo la carga para la cual se calculan las deflexiones

**F.6.2.3 - ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS NO RIGIDIZADOS**

**F.6.2.3.1 - Elementos no rigidizados en compresión uniforme**

**F.6.2.3.1.1 - Determinación de la capacidad de carga** - Los anchos efectivos,  $b$ , de elementos no rigidizados en compresión uniforme deben determinarse de acuerdo con F.6.2.2.1(a), con excepción de que  $k$  debe tomarse igual a 0.43 y  $w$  se define en la figura F.6-3

**F.6.2.3.1.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos usados para calcular deflexiones deben determinarse de acuerdo con el procedimiento I de F.6.2.2.1(b) en donde  $f$  se substituye por  $f_u$  y  $k = 0.43$

**F.6.2.3.2 - Elementos no rigidizados y rigidizadores de borde con gradiente de esfuerzos**

**F.6.2.3.2.1 - Determinación de la capacidad de carga** - Los anchos efectivos,  $b$ , de elementos no rigidizados en compresión y de rigidizadores de borde con gradiente de esfuerzos deben determinarse de acuerdo con F.6.2.2.1(a) con  $f = f_s$ , según se indica en la figura F.6-5 en el elemento y  $k = 0.43$

**F.6.2.3.2.2 - Determinación de la deflexión** - Los anchos efectivos,  $b$ , de elementos no rigidizados en compresión y de rigidizadores de borde con gradiente de esfuerzos deben determinarse de acuerdo con el procedimiento I de F.6.2.2.1(b), excepto que  $f$  se substituye por  $f_{us}$  y  $k = 0.43$ .

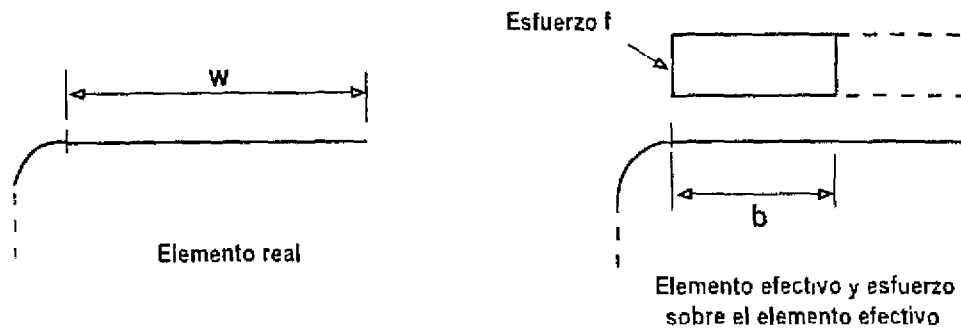


Figura F.6-3  
Elemento no rigidizado en compresión uniforme

**F.6.2.4 - ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS CON RIGIDIZADOR DE BORDE O UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO** - En esta sección se usa la siguiente nomenclatura:

$$S = 1.28\sqrt{E/f} \tag{F.6-22}$$

- $k$  = coeficiente de pandeo
- $b_o$  = dimensión definida en la figura F.6-4
- $d, w, D$  = dimensiones definidas en la figura F.6-5
- $d_r$  = ancho efectivo reducido del rigidizador según se especifica en esta sección. El valor de  $d_r$ , calculado de acuerdo a F.6.2.4.2, debe usarse para calcular las propiedades de la sección total efectiva (véase la figura F.6-5)
- $d'_r$  = ancho efectivo del rigidizador calculado de acuerdo con F.6.2.3.1 (véase la figura F.6-5)
- $C_1, C_2$  = coeficientes definidos en las figuras F.6-5
- $A_r$  = área reducida del rigidizador, según se especifica en esta sección.  $A_r$  debe utilizarse para calcular las propiedades de la sección total efectiva. El centroide del rigidizador debe considerarse localizado en el centroide del área completa del rigidizador, y el momento de inercia del rigidizador con respecto a su eje centroidal debe ser el de la sección completa del rigidizador.

- $I_x$  = momento de inercia adecuado del rigidizador, de tal forma que cada elemento componente se comporte como un elemento rigidizado.
- $I_s, A'_s$  = momento de inercia del rigidizador completo con respecto a su eje centroidal paralelo al elemento que va a rigidizar y el área efectiva del rigidizador, respectivamente. Para rigidizadores de borde, la esquina redondeada entre el rigidizador y el elemento que va a ser rigidizado no debe considerarse como parte del rigidizador.

Para el rigidizador mostrado en la figura F.6-5

$$I_s = \frac{d^3 t \sin^2 \theta}{12} \quad (\text{F.6-23})$$

$$A'_s = d'_s t \quad (\text{F.6-24})$$

#### F.6.2.4.1 - Elementos en compresión uniforme, con un rigidizador intermedio

##### F.6.2.4.1.1 - Determinación de la capacidad de carga

###### Caso I

$$\frac{b_o}{t} \leq S \quad (\text{F.6-25})$$

$$I_a = 0 \text{ (no se necesita rigidizador intermedio)} \quad (\text{F.6-26})$$

$$b = w \quad (\text{F.6-27})$$

$$A_s = A'_s \quad (\text{F.6-28})$$

###### Caso II

$$S < \frac{b_o}{t} < 3S \quad (\text{F.6-29})$$

$$\frac{I_a}{t^4} = \left[ \frac{50(b_o/t)}{S} \right] - 50 \quad (\text{F.6-30})$$

$b$  y  $A_s$  deben calcularse de acuerdo con F.6.2.2.1(a)

en donde:

$$k = 3 \left( \frac{I_s}{I_a} \right)^{1/2} + 1 \leq 4 \quad (\text{F.6-31})$$

$$A_s = A'_s \left( \frac{I_s}{I_a} \right) \leq A'_s \quad (\text{F.6-32})$$

###### Caso III

$$\frac{b_o}{t} \geq 3S$$

$$\frac{I_a}{t^4} = \left[ \frac{128(b_o/t)}{S} \right] - 285 \quad (\text{F.6-33})$$