

con el concreto deberá ejecutarse en tal forma que evite dilataciones térmicas excesivas del empotramiento las cuales podrían originar resquebrajamiento o agrietamiento del concreto o inducir esfuerzos excesivos en los anclajes.

**F.2.13.4.6 - Pintura de campo** - Los retoques de pintura, la limpieza de la estructura, así como la pintura general deben realizarse de acuerdo con las prácticas locales aceptadas, las cuales se harán constar explícitamente en los planos de diseño.

**F.2.13.4.7 - Conexiones de campo** - A medida que avanza el montaje, la estructura deberá empernarse o soldarse de tal manera que soporte con seguridad todas las cargas muertas, de viento y de montaje.

**F.2.13.5 - CONTROL DE CALIDAD** - El fabricante deberá establecer los procedimientos de control de calidad que juzgue necesarios para asegurar que todo el trabajo se realice de acuerdo con las presentes especificaciones. Además de los procedimientos de control del fabricante, el material y la mano de obra pueden estar sujetos en todo momento a revisión por parte de los inspectores calificados que actúen en representación del comprador. Si se requiere la inspección por dichos representantes, deberá establecerse en los documentos de diseño.

**F.2.13.5.1 - Cooperación** - En lo posible toda inspección por los representantes del comprador se hará en la planta del fabricante y éste ha de cooperar con ellos, permitiéndoles el acceso a todos los lugares donde se está realizando el trabajo. El inspector del comprador deberá programar sus visitas en tal forma que no cause interrupciones en el trabajo del fabricante.

**F.2.13.5.2 - Rechazos** - El material o la mano de obra que no cumplan razonablemente con las especificaciones correspondientes, pueda rechazarse en cualquier momento durante el desarrollo del trabajo. El fabricante recibirá copias de todos los informes entregados al comprador por la firma interventora.

**F.2.13.5.3 - Inspección de la soldadura** - La inspección de la soldadura se hará de acuerdo con las estipulaciones del Código de Soldadura Estructural AWS D1.1 de la Sociedad Americana de Soldadura, adaptado por Fedestructuras, excepto las modificaciones de F.2.10.2. Cuando se requiera una inspección visual por inspectores con certificados de calificación en soldadura expedidos por la autoridad competente, deberá especificarse así en los documentos de diseño o en el contrato. Cuando se requieran ensayos no destructivos, su clase, extensión técnica y criterios de aceptación deberán definirse claramente en los documentos de diseño o en el contrato.

**F.2.13.5.4 - Inspección de conexiones por fricción con pernos de alta resistencia** - La inspección de conexiones se hará de acuerdo con las especificaciones del diseño de carga y resistencia del RCSC para uniones estructurales que utilizan pernos grado 5 o grado 8 de ASTM A325 o NTC 4028 (ASTM A490).

**F.2.13.5.5 - Identificación de las piezas de acero** - El fabricante deberá estar en capacidad de demostrar que cuenta con un procedimiento establecido por escrito y que lo sigue realmente en la práctica, para marcar e identificar el material de los elementos principales de un despacho. Las marcas deben ser visibles por los menos hasta la operación de ajuste de los elementos estructurales principales de la pieza que se está embarcando.

El método de identificación deberá ser tal que permita verificar la aplicación del material apropiado, en relación con:

- (a) Designación de la especificación del material.
- (b) Número de la colada, si se requiere.
- (c) Resultados de ensayos de laboratorio para requisitos especiales.

## **F.2.14 - REQUISITOS DE DISEÑO**

### **F.2.14.1 - PANDEO LOCAL**

**F.2.14.1.1 - Clasificación de las secciones de acero** - En miembros con aletas desiguales y almas sometidas a esfuerzos combinados de flexión y compresión axial, el valor de  $\lambda$ , para el estado límite de pandeo local del alma es

$$\lambda_r = \frac{664}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 + 2.83 \left( \frac{h}{h_c} \right) \left( t - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \right] \quad (\text{F.2 -88})$$

$$\frac{3}{4} \leq \frac{h}{h_c} \leq \frac{3}{2}$$

En miembros con aletas desiguales y almas sometidas solamente a flexión, el valor de  $\lambda_r$  para el estado límite de pandeo local del alma es:

$$\lambda_r = \frac{664}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 + 2.83 \left( \frac{h}{h_c} \right) \right] \quad (\text{F.2 -89})$$

$$\frac{3}{4} \leq \frac{h}{h_c} \leq \frac{3}{2}$$

Donde  $\lambda_r$ ,  $h$  y  $h_c$  son los valores definidos en F.2.2.5.1.

Estas substituciones deben hacerse en F.2.16 y F.2.17 cuando éstas se apliquen a miembros con aletas desiguales. Si la aleta a compresión es mayor que la aleta a tensión,  $\lambda_r$  se debe determinar usando las ecuaciones F.2-88 y F.2-89 o la tabla F.2.1

**F.2.14.1.2 - Elementos esbeltos a compresión** - Los miembros cargados axialmente que contengan elementos solicitados por compresión que tengan una relación ancho/espesor mayor que los valores  $\lambda_r$  aplicables, tal como se estipula en F.2.2.5.1, se diseñarán de acuerdo con esta sección. Los miembros en flexión con elementos esbeltos en compresión se diseñarán de acuerdo con F.2.16 y F.2.17. Los miembros laminados en flexión cuyas dimensiones no estén comprendidas en F.2.16.1, se diseñarán de acuerdo con esta sección

**F.2.14.1.3 - Elementos no rigidizados en compresión** - La resistencia de diseño de elementos no atiesados a compresión cuya relación ancho/espesor exceda el valor límite  $\lambda_r$ , aplicable, de acuerdo con F.2.2.5.1 estará sujeta a un coeficiente de reducción  $Q_s$  que se evaluará con las ecuaciones F.2-90 a F.2-97, según el caso. Cuando los elementos comprendan la aleta en compresión de un miembro a flexión, el máximo esfuerzo de flexión requerido no debe exceder  $\phi_b F_y Q_s$ , donde  $\phi_b=0.90$ . La resistencia de diseño de miembros en compresión cargados axialmente se modificará por el coeficiente de reducción apropiado  $Q_s$ , tal como se estipula en F.2.14.1.5.

(a) Para ángulos sencillos.

$$\text{Cuando } \frac{200}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{407}{\sqrt{F_y}}$$

$$Q_s = 1.34 - 0.0017 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \quad (\text{F.2-90})$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{407}{\sqrt{F_y}}$$

$$Q_s = \frac{107000}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.2-91})$$

**(b)** Para aletas, ángulos o platinas que sobresalen de vigas, columnas u otros miembros laminados en compresión:

$$\text{Cuando } \frac{250}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{460}{\sqrt{F_y}}$$

$$Q_s = 1.415 - 0.00166 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \quad (\text{F.2-92})$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{460}{\sqrt{F_y}}$$

$$Q_s = \frac{137900}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.2-93})$$

**(c)** Para aletas, ángulos o platinas que sobresalen de columnas u otros miembros ensamblados sometidos a compresión:

$$\text{Cuando } \frac{286}{\sqrt{F_y/k_c}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{F_y/k_c}}$$

$$Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y/k_c} \quad (\text{F.2-94})$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{F_y/k_c}}$$

$$Q_s = \frac{180650k_c}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.2-95})$$

El coeficiente  $k_c$  se calculará como sigue:

**(a)** Para secciones en I:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \quad 0.35 \leq k_c \leq 0.763$$

en donde:

$h$  = altura del alma (mm)

$t_w$  = espesor del alma (mm)

**(b)** Para otras secciones:

$$k_c = 0.763$$

**(c)** Para almas de tees:

Cuando  $\frac{333}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{462}{\sqrt{F_y}}$

$$Q_s = 1.908 - 0.00273 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y} \quad (\text{F.2-96})$$

Cuando  $\frac{b}{t} \geq \frac{462}{\sqrt{F_y}}$

$$Q_s = \frac{137900}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.2-97})$$

en donde:

$b$  = ancho del elemento no rigidizado en compresión como se define en F.2.2.5.1, mm

$t$  = espesor del elemento no rigidizado, mm

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado, MPa

**F.2.14.1.4 - Elementos rigidizados en compresión** - Cuando la relación ancho-espesor de elementos rigidizados en compresión uniforme (excepto platabandas perforadas) exceda el valor límite  $\lambda_r$ , estipulado en F.2.2.5.1, se deberá emplear un ancho efectivo reducido  $b_e$  al determinar las propiedades de diseño de la sección que contiene el elemento.

(a) Para aletas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme.

Cuando  $\frac{b}{t} \geq \frac{625}{\sqrt{f}}$

$$b_e = \frac{856t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{170}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \quad (\text{F.2-98})$$

En caso contrario  $b_e = b$

(b) Para otros elementos solicitados por compresión uniforme:

Cuando  $\frac{b}{t} \geq \frac{664}{\sqrt{f}}$

$$b_e = \frac{856t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{150}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \quad (\text{F.2-99})$$

En caso contrario  $b_e = b$

en donde:

$b$  = ancho real del elemento rigidizado en compresión tal como se define en F.2.2.5.1, mm.

$b_e$  = ancho efectivo reducido, mm

$t$  = espesor del elemento, mm.

$f$  = esfuerzo de compresión en los elementos rigidizados, calculado mediante las propiedades de diseño que se especifican en F.2.14.1.5, MPa. Si la sección transversal incluye elementos no rigidizados,  $f$  para el elemento rigidizado debe ser tal que el esfuerzo máximo de compresión en el

elemento no rigidizado no exceda de  $\phi_c F_{cr}$  tal como se define en F.2.14.1.5, donde  $Q = Q_s$ , y  $\phi_c = 0.85$  o  $\phi_b F_y Q_s$ , con  $\phi_b = 0.90$ , el que sea aplicable

(c) Para secciones circulares cargadas axialmente con una relación diámetro-espesor  $D/t$  comprendida entre  $22750/F_y$  y  $89635/F_y$ :

$$Q = Q_s = \frac{7585}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \quad (\text{F.2-100})$$

en donde

$D$  = diámetro exterior, mm

$t$  = espesor de la pared, mm

**F.2.14.1.5 - Propiedades de diseño** - Las propiedades de diseño se deben determinar empleando la sección transversal completa del miembro, con las siguientes excepciones.

Al calcular el momento de inercia y el módulo de resistencia elástico de la sección de miembros a flexión, se debe usar el ancho efectivo  $b_e$  de los elementos rigidizados solicitados por compresión uniforme, tal como se define en F.2.14.1.4 a fin de determinar las propiedades de la sección transversal efectiva.

Para los elementos no rigidizados de la sección transversal, se debe utilizar  $Q_s$ , como se define en F.2.14.1.3. Para los elementos rigidizados de la sección transversal:

$$Q_s = \frac{\text{área efectiva}}{\text{área real}} \quad (\text{F.2-101})$$

donde el área efectiva es igual a la suma de las áreas efectivas de la sección transversal.

**F.2.14.1.6 - Resistencia de diseño** - Para los elementos en compresión cargados axialmente, el área bruta de la sección transversal y el radio de giro  $r$  se calcularán con base en la sección transversal real. El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5$ :

$$F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q\lambda_c^2} \right) F_y \quad (\text{F.2-102})$$

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5$

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (\text{F.2-103})$$

en donde

$$Q = Q_s Q_a \quad (\text{F.2-104})$$

Para secciones transversales compuestas totalmente por elementos no rigidizados:

$$Q = Q_s (Q_a = 1.0)$$

Para secciones transversales compuestas totalmente por elementos rigidizados:

$$Q = Q_a (Q_s = 1.0)$$

Para secciones transversales compuestas por elementos rigidizados y no rigidizados:

$$Q = Q_s Q_a$$

### F.2.15 - COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS EN COMPRESION

Esta sección se aplica a la resistencia de columnas doblemente simétricas con elementos de lámina delgada, columnas con simetría simple y asimétricas para los estados límites de pandeo por flexo-torsión y torsional.

**F.2.15.1 - RESISTENCIA A COMPRESION DE DISEÑO POR FLEXO-TORSION** - La resistencia de miembros a compresión determinada por los estados límites de pandeo por torsión y por flexo-torsión será  $\phi_c P_n$ , donde:

- $\phi_c$  = 0.85
- $P_n$  = resistencia nominal a la compresión, N
- =  $A_g F_{cr}$
- $A_g$  = área bruta de la sección transversal, mm<sup>2</sup>

El esfuerzo crítico nominal  $F_{cr}$  se determina así:

a) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5$ :

$$F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q\lambda_e^2} \right) F_y \tag{F.2-106}$$

b) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5$ :

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y \tag{F.2-107}$$

en donde:

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_c}} \tag{F.2-108}$$

- $F_y$  = esfuerzo mínimo de fluencia especificado del acero, MPa
- $Q$  = 1.0 para miembros que satisfacen las relaciones ancho-espesor  $\lambda_e$  de F.2.2.5.1
- =  $Q_s Q_a$  para miembros que no satisfacen las relaciones ancho-espesor  $\lambda_e$  de F.2.2.5.1 y se determinan de acuerdo con las especificaciones de F.2.14.1.2

El esfuerzo de pandeo elástico por torsión o por flexo-torsión  $F_c$  se determina como sigue:

a) Para perfiles doblemente simétricos:

$$F_c = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \tag{F.2-109}$$

b) Para perfiles con simetría simple, donde  $y$  es el eje de simetría:

$$F_c = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cy}F_{cz}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (F.2-110)$$

a) Para perfiles asimétricos, el esfuerzo crítico de pandeo elástico por flexo-torsión,  $F_e$ , es la menor raíz cúbica de la ecuación

$$(F_c - F_{ex})(F_c - F_{ey})(F_c - F_{ez}) - F_c^2(F_c - F_{ey})\left(\frac{x_0}{\bar{r}_0}\right)^2 - F_c^2(F_c - F_{ex})\left(\frac{y_0}{\bar{r}_0}\right)^2 = 0 \quad (F.2-111)$$

en donde:

- $K_z$  = coeficiente de longitud efectiva para pandeo por torsión
- $E$  = módulo de elasticidad, MPa
- $G$  = módulo de cortante, MPa
- $C_w$  = constante de alabeo, mm<sup>6</sup>
- $J$  = constante de torsión, mm<sup>4</sup>
- $I_x, I_y$  = momento de inercia con respecto a los ejes principales, mm<sup>4</sup>
- $x_0, y_0$  = coordenadas del centro de corte con respecto al centroide, mm

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad (F.2-112)$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} \quad (F.2-113)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x l / r_x)^2} \quad (F.2-114)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y l / r_y)^2} \quad (F.2-115)$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z l)^2} + GJ \right] \frac{1}{A \bar{r}_0^2} \quad (F.2-116)$$

en donde:

- $A$  = área de la sección transversal del miembro, mm<sup>2</sup>
- $l$  = longitud sin apoyo, mm
- $K_x, K_y$  = coeficientes de longitud efectiva en las direcciones x e y
- $r_x, r_y$  = radios de giro con respecto a los ejes principales, mm
- $\bar{r}_0$  = radio polar de giro respecto al centro de corte, mm

## F.2.16 - VIGAS Y OTROS MIEMBROS A FLEXION

**F.2.16.1 - DISEÑO POR FLEXION** - La resistencia de diseño para miembros a flexión es  $\phi_b M_n$  donde  $\phi_b = 0.90$  y  $M_n$  es la resistencia nominal.

La tabla F 2.17 suministra un resumen tabulado de las fórmulas F.2-27 a F 2-40 para determinar la resistencia nominal por flexión de las vigas. Para los parámetros de esbeltez de secciones transversales que no estén incluidas en la tabla F 2-17, véase F 2 14 1 2 Para miembros a flexión con aletas desiguales véase F 2 14.1.1 para determinar el valor de  $\lambda_r$  para el estado límite de pandeo local del alma.

La resistencia nominal a flexión  $M_n$  es el valor más bajo que se obtiene según los estados límite de (a) Pandeo lateral por torsión (PLT); (b) Pandeo local de la aleta (PLP), y (c) pandeo local del alma (PLA)

La resistencia nominal por flexión  $M_n$  se determinará como sigue para cada estado límite

a) Para  $\lambda \leq \lambda_p$

$$M_n = M_p \quad (\text{F.2-117})$$

b) Para  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ :

Para el estado límite de pandeo lateral por torsión.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{F.2-118})$$

Para los estados límites de pandeo local de la aleta y del alma

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (\text{F.2-119})$$

c) Para  $\lambda > \lambda_r$

Para los estados límites de pandeo lateral por torsión y de pandeo local de la aleta

$$M_n = M_{cr} = SF_{cr} \leq M_p \quad (\text{F.2-120})$$

Para el diseño de vigas con almas esbeltas, no es aplicable el estado límite de pandeo local del alma, véase F 2 17 2

Para  $\lambda$  de la aleta  $> \lambda_r$ , en perfiles que no estén incluidos en la tabla F.2-17, véase F.2.14.1.2.

Para  $\lambda$  del alma  $> \lambda_r$ , véase F 2-17

Los términos utilizados en las ecuaciones anteriores son.

$M_n$  = resistencia nominal por flexión, N-mm

$M_p$  =  $F_y Z$ , momento plástico  $\leq 1.5 F_y S$ , N-mm

$M_{cr}$  = momento de pandeo crítico, N-mm

$M_r$  = momento de pandeo límite (igual a  $M_{cr}$  cuando  $\lambda = \lambda_r$ ), N-mm.

$\lambda$  = parámetro de esbeltez que controla

= relación de esbeltez con respecto al eje menor,  $L_b/r_y$ , para el pandeo lateral-torsional

= relación ancho-espesor de la aleta  $b/t$  para el pandeo local de la aleta, definido en F 2 14 1 1

= relación altura-espesor del alma  $h/t_w$  para el pandeo local del alma, definido en F 2 14 1.1

$\lambda_p$  = el mayor valor de  $\lambda$  para el cual  $M_n = M_p$

$\lambda_r$  = el mayor valor de  $\lambda$  para el cual el pandeo es inelástico

$F_{cr}$  = esfuerzo crítico, MPa

$C_b$  = coeficiente de flexión dependiente del gradiente de momento véase F 2 6 1 2 (a), ecuación F 2-28

$S$  = módulo de la sección,  $\text{mm}^3$

$L_b$  = longitud sin apoyo lateral, mm

$r_y$  = radio de giro con respecto al eje menor, mm



**NSR-98 – Capítulo F.2 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados: diseño para estados limites**

Los estados limites aplicables y las ecuaciones para calcular  $M_p$ ,  $M_r$ ,  $F_{cr}$ ,  $\lambda$ ,  $\lambda_p$  y  $\lambda_r$  están dados en la tabla F.2-17 para los perfiles descritos en esta sección.

Los términos utilizados en la tabla son

- A = área de la sección transversal, mm<sup>2</sup>
- $F_{t1}$  = el menor valor de  $(F_{yf} - F_r)$  o  $F_{yw}$ , MPa
- $F_r$  = esfuerzo residual por compresión en la aleta  
= 70 MPa para perfiles laminados  
= 115 MPa para perfiles ensamblados con soldadura
- $F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado, MPa
- $F_{yf}$  = esfuerzo de fluencia de la aleta, MPa
- $F_{yw}$  = esfuerzo de fluencia del alma, MPa
- $I_{yc}$  = momento de inercia de la aleta en compresión con respecto al eje x o, para flexión con doble curvatura, momento de inercia de la aleta menor, mm<sup>4</sup>
- J = constante de torsión, mm<sup>4</sup>
- $R_e$  = véase F.2.17 2 - Factor de viga híbrida - Para vigas homogéneas  $R_e = 1.0$
- $S_{eff}$  = módulo de la sección efectiva con respecto al eje mayor, mm<sup>3</sup>
- $S_{xc}$  = módulo de la sección, calculado para la fibra exterior de la aleta en compresión, mm<sup>3</sup>
- $S_{xt}$  = módulo de la sección, calculado para la fibra exterior de la aleta en tensión, mm<sup>3</sup>
- Z = módulo plástico de la sección, mm<sup>3</sup>
- b = ancho de la aleta, mm
- d = altura total, mm
- f = esfuerzo de compresión calculado en el elemento rigidizado, MPa
- h = distancia libre entre aletas menos el chafán o el radio esquinero en la unión alma-aleta, mm
- $r_{yc}$  = radio de giro de la aleta en compresión con respecto al eje y o, si hay flexión en curvatura doble, de la aleta menor, mm
- $t_f$  = espesor de la aleta, mm
- $t_w$  = espesor del alma, mm.

**Tabla F.2-17  
Parámetros nominales de resistencia**

Perfil	Momento plástico $M_p$	Estado limite de pandeo	Momento limite por pandeo $M_r$	Esfuerzo critico $F_{cr}$	Parámetros esbeltez			Limitaciones
					$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$	
Canales y vigas I, de simetría doble o sencilla (incluyendo vigas híbridas) con flexión respecto al eje mayor	$F_y Z_x$ (b)	PLT miembros doblemente simétricos y canales	$F_L S_x$	$\frac{C_b X_1 \sqrt{2}}{\lambda} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \lambda_2}{2\lambda^2}}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{790}{\sqrt{F_y f}}$	(c, d)	Aplicable para miembros en I si $\frac{h}{t_w} \leq \lambda_r$ ;
		PLT miembros con una sola simetría	$F S_{xc} \leq F_{yf} S_{xt}$	(e)	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$\frac{790}{\sqrt{F_{yf}}}$	Valor de $\lambda$ para el cual $M_{cr}(C_b = 1) = M_r$	Cuando
		PLP	$F_L S_x$	(f)	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{F_y f}}$	(g)	$\frac{h}{t_w} > \lambda_r$
		PLA	$R_e F_{yf} S_x$	No se aplica	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{1700}{\sqrt{F_y f}}$	$\lambda_r$ tal como lo define F 2.2.5.1 y F 2.14.1	véase F 2.17
Canales y vigas en I de simetría doble o sencilla con flexión	$F_y Z_y$	PLP	$F_y S_y$	Lo mismo que para el eje mayor				

**NSR-98 – Capítulo F.2 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados: diseño para estados límites**

respecto al eje menor								
Perfiles simétricos macizos excepto barras rectangulares con flexión con respecto al eje mayor	$F_y Z_x$			No se aplica				
Barras rectangulares con flexión con respecto al eje mayor	$F_y Z_x$	PLT	$F_y S_x$	$\frac{400000 C_b \sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{26000 \sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{400000 \sqrt{JA}}{M_r}$	
Secciones cajón simétricas cargadas en un plano de simetría	$F_y Z_x$	PLT	$F_y I S_{eff}$	$\frac{400000 C_b \sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{26000 \sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{400000 \sqrt{JA}}{M_r}$	Aplicable si $\frac{h_c}{t_w} \leq \frac{2550}{\sqrt{F_y}}$
		PLP	$F_L S_{eff}$	$\frac{S_{eff}}{S_x} F_y$ (i)	$\frac{b}{t}$	$\frac{500}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{F_y}}$	
		PLA	Lo mismo que para perfiles I					
Tubos circulares	$F_y Z$	PLT	No se aplica					
		PLP	$M_n = \left[ \frac{4100}{D t} + F_y \right] S$ (h)	$\frac{66000}{D/t}$	$\frac{D}{t}$	$\frac{14000}{F_y}$	$\frac{62000}{F_y}$	$\frac{D}{t} < \frac{90000}{F_y}$
		PLA	No se aplica					

**Notas:**

PLT sólo aplica para flexión respecto al eje fuerte del elemento

(a) se excluyen ángulos dobles y tees

(b) calculado de la distribución de esfuerzos completamente plásticos para secciones híbridas

(c)  $X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{E G J A / 2}$      $X_2 = 4 \frac{C_w}{I_x} (S_x / G J)^2$

(d)  $\lambda_{cr} = \frac{\sum I}{F_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_t^2}}$

(e)  $F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_{xc}}$  donde  $M_{cr} = \frac{393000 C_b}{L_b} \sqrt{I_y J} (B_1 + \sqrt{1 + B_2 + B_1^2}) \leq M_p$

en donde

$B_1 = 2.25 \left[ 2 (I_{yc} / I_y) - 1 \right] (h / L_b) \sqrt{I_y / J}$

$B_2 = 25 \left[ 1 - (I_{yc} / I_y) \right] (I_{yc} / J) (h / L_b)^2$

$C_b = 1.0$  si  $\frac{I_{yc}}{I_y} < 0.1$  o  $\frac{I_{yc}}{I_y} > 0.9$

(f)  $F_{cr} = \frac{137900}{\lambda^2}$  para perfiles laminados

$F_{cr} = \frac{126730 k_c}{\lambda^2}$  para perfiles soldados

en donde

$k_c = 4 / \sqrt{h t_w}$  y  $0.35 \leq k_c \leq 0.763$

(g)  $\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{F_t}}$  para perfiles laminados

$\lambda_r = \frac{425}{\sqrt{F_t k_c}}$  para perfiles soldados

(h) Ecuación para ser utilizada en lugar de la ecuación F 2-120

(i)  $S_{eff}$  es el modulo de sección efectivo, para la sección con un patín a compresión  $b_c$ , definido en el numeral F 2.14.1.4

**F.2.16.2 - DISEÑO POR CORTANTE**

**F.2.16.2.1 - Resistencia de diseño por cortante** - - La resistencia de diseño por cortante de almas rigidizadas y no rigidizadas es  $\phi_v V_n$ , donde

$$\phi = 0.90$$

$V_n$  = resistencia nominal por cortante definida como sigue:

Para  $h/t_w \leq 490\sqrt{k_v/F_{yw}}$  :

$$V_n = 0.6F_{yw} A_w \quad (\text{F.2-121})$$

Para  $490\sqrt{k_v/F_{yw}} < h/t_w \leq 614\sqrt{k_v/F_{yw}}$

$$V_n = 0.6F_{yw} A_w \left( 490\sqrt{k_v/F_{yw}} \right) / (h/t_w) \quad (\text{F.2-122})$$

Para  $h/t_w > 614\sqrt{k_v/F_{yw}}$

$$V_n = \frac{A_w (182000 k_v)}{(h/t_w)^2} \quad (\text{F.2-123})$$

en donde:

$$k_v = 5 + 5/(a/h)^2$$

$$= 5 \text{ cuando } a/h > 3 \text{ o } a/h > [260/(h/t)]^2$$

$a$  = distancia entre rigidizadores transversales, mm

$h$  = para perfiles laminados, la distancia libre entre aletas menos el chafán o el radio esquinero en la unión alma-aleta, mm

= para perfiles ensamblados soldados, la distancia libre entre aletas, mm

= para perfiles ensamblados empernados o remachados, la distancia entre líneas de sujetadores, mm

**F.2.16.2.2 - Rigidizadores transversales** - No se requieren rigidizadores transversales en vigas ensambladas cuando  $h/t_w \leq 1100/\sqrt{F_{yw}}$ , o cuando el cortante requerido,  $V_u$ , determinado por análisis estructural con las cargas mayoradas, es menor o igual a  $0.6\phi_v A_w F_{yw} C_v$ , donde  $C_v$  se determina para  $k=5$  y  $\phi=0.90$ .

Los rigidizadores transversales usados para desarrollar la resistencia de cortante de diseño del alma como se define en F 2 16 2 1, deberán tener un momento de inercia con respecto a un eje en el plano del alma para pares de rigidizadores o, con respecto a la cara de contacto con la placa del alma, para rigidizadores sencillos, que no debe ser menor de  $at_w^3 j$ , donde:

$$j = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5 \quad (\text{F.2-124})$$

Los rigidizadores intermedios se pueden interrumpir cerca de la aleta en tensión siempre y cuando no se necesiten para transmitir una carga concentrada o una reacción. La soldadura con la que van unidos los rigidizadores intermedios al alma deberá terminar a no menos de cuatro veces ni más de seis veces el espesor del alma del borde de la soldadura que une el alma y la aleta. Cuando se usan rigidizadores simples,

estos deberán conectarse a la aleta en compresión si consisten en una platina rectangular, para resistir cualquier tendencia al levantamiento debida a torsión en la aleta. Cuando se conecta arriostramiento lateral a un rigidizador, o par de rigidizadores, estos a su vez deberán conectarse con la aleta en compresión para transmitir el 1% del esfuerzo total en la aleta, a menos que la aleta esté conformada sólo por ángulos.

Los tornillos que conecten los rigidizadores al alma de la viga deberán espaciarse no más de 305 mm centro a centro. Si se usan soldaduras de filete intermitentes, la distancia entre soldaduras deberá ser menor o igual que 16 veces el espesor del alma y no más de 254 mm.

**F.2.16.3 - MIEMBROS ACARTELADOS** - El diseño de miembros acartelados que cumplan con los requisitos de este numeral estará regido por lo estipulado en F 2.4 a F 2.8, salvo las modificaciones incluidas en el presente numeral.

**F.2.16.3.1 - Requisitos generales** - La presente especificación se aplica a miembros acartelados siempre y cuando cumplan con los siguientes requisitos:

- Tener por lo menos un eje de simetría que sea perpendicular al plano de flexión si existen momentos
- Las aletas deberán ser iguales y de área constante
- La altura deberá variar linealmente de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$d = d_o \left( 1 + \frac{\gamma z}{L} \right) \quad (\text{F.2-125})$$

en donde:

- $d_o$  = menor altura del miembro, mm
- $d_L$  = mayor altura del miembro, mm
- $\gamma$  =  $(d_L - d_o)/d_o \leq 0.268(L/d_o)$  o 6.0 el que sea menor
- $z$  = distancia desde el extremo menor del miembro hasta una sección dada, mm
- $L$  = longitud sin arriostramiento de un miembro medida entre los centros de gravedad de los miembros de amarre, mm

**F.2.16.3.2 - Resistencia de diseño a la tensión** - La resistencia de diseño de miembros acartelados a tensión se determinará de acuerdo con F 2.4.1.

**F.2.16.3.3 - Resistencia de diseño a compresión** - La resistencia de diseño de miembros acartelados en compresión se determinará de acuerdo con F.2.5.2, utilizando el parámetro de esbeltez efectiva " $\lambda_{ef}$ " calculado con la siguiente ecuación:

$$\lambda_{ef} = \frac{S}{\pi} \sqrt{\frac{QF_y}{E}} \quad (\text{F.2-126})$$

en donde:

- $S$  =  $KL/r_{oy}$  para la flexión con respecto al eje menor y  $K_y L/r_{ox}$  para la flexión con respecto al eje mayor
- $K$  = coeficiente de longitud efectiva para un miembro prismático
- $K_y$  = coeficiente de longitud efectiva para un miembro acartelado, determinado analíticamente
- $r_{ox}$  = radio de giro con respecto al eje mayor en el extremo más pequeño de un miembro acartelado, mm
- $r_{oy}$  = radio de giro con respecto al eje menor en el extremo más pequeño de un miembro acartelado, mm
- $F_y$  = esfuerzo mínimo de fluencia especificado, MPa
- $Q$  = coeficiente de reducción
- = 1.0 si todos los elementos cumplen con las relaciones límite de ancho-espesor  $\lambda_r$  de F 2.2.5.1
- =  $Q_1 Q_2$ , determinado de acuerdo con F.2.14 si cualquiera de los elementos, atesados o no, exceden las relaciones  $\lambda_r$  de F 2.2.5.1
- $E$  = módulo de elasticidad del acero, MPa

En la ecuación F 2-17,  $P_n = A_g F_{cr}$ , se utilizará para  $A_g$  el valor del área más pequeña del miembro acartelado

**F.2.16.3.4 - Resistencia de diseño por flexión** - La resistencia de diseño por flexión de miembros acartelados para el estado límite de pandeo por torsión lateral es  $\phi_b M_n$ , donde  $\phi_b = 0.90$ . El momento nominal es:

$$M_n = \left(\frac{5}{3}\right) S_x' F_{by} \quad (\text{F.2-127})$$

en donde

$S_x'$  = módulo elástico de la sección crítica en la longitud sin arriostramiento de la viga bajo consideración

$$F_{by} = \frac{2}{3} \left[ 1.0 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2}} \right] F_y \leq 0.60F_y \quad (\text{F.2-128})$$

a menos que  $F_{by} \leq F_y/3$ , en cuyo caso

$$F_{by} = B\sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2} \quad (\text{F.2-129})$$

En las ecuaciones anteriores

$$F_{sy} = \frac{82740}{h_s L d_o / A_f} \quad (\text{F.2-130})$$

$$F_{wy} = \frac{1172150}{(h_w L / r_{To})^2} \quad (\text{F.2-131})$$

en donde:

$$h_s = 1.0 + 0.0230\gamma\sqrt{L d_o / A_f}$$

$$h_w = 1.0 + 0.00385\gamma\sqrt{L / r_{To}}$$

$r_{To}$  = radio de giro de una sección en el extremo menor, considerando únicamente la aleta en compresión más 1/3 del área del alma en compresión, con respecto al eje en el plano del alma, mm

$A_f$  = área de la aleta en compresión, mm<sup>2</sup>

Donde  $B$  se determina de la siguiente manera:

(a) Cuando el momento máximo  $M_2$  en tres segmentos adyacentes de longitudes no arriostradas aproximadamente iguales, está localizado dentro del segmento central y  $M_1$  es el mayor de los momentos en uno de los extremos de la porción que conforman los tres segmentos de un miembro:

$$B = 1.0 + 0.37\left(1.0 + \frac{M_1}{M_2}\right) + 0.50\gamma\left(1.0 + \frac{M_1}{M_2}\right) \geq 1.0 \quad (\text{F.2-132})$$

(b) Cuando el mayor esfuerzo de flexión calculado  $f_{b2}$  se presenta en el extremo más grande de dos segmentos adyacentes de longitudes no arriostradas aproximadamente iguales y  $f_{b1}$  es el esfuerzo de flexión calculado en el extremo menor de la porción conformada por los dos segmentos de un miembro:

$$B = 1.0 + 0.58 \left( 1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) - 0.70 \gamma \left( 1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (\text{F.2-133})$$

(c) Cuando el mayor esfuerzo de flexión calculado  $f_{b2}$  se presenta en el extremo menor de dos segmentos adyacentes de longitudes no arriostradas aproximadamente iguales, y  $f_{b1}$  es el esfuerzo de flexión calculado en el extremo mayor de la porción conformado por dos segmentos de un miembro:

$$B = 1.0 + 0.55 \left( 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) + 2.20 \gamma \left( 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (\text{F.2-134})$$

En las expresiones anteriores  $\gamma = (d_L - d_o)/d_o$  se calcula para la longitud no arriostrada donde se presenta el máximo esfuerzo de flexión  $M_1/M_2$  se considera negativo cuando los momentos producen curvatura sencilla. Cuando la relación  $M_1/M_2$  es positiva, lo cual ocurre rara vez, se recomienda tomarla igual a cero.  $f_{b1}/f_{b2}$  se considera negativo cuando produce curvatura simple. Si se presenta un punto de inflexión en uno de los dos segmentos adyacentes no arriostrados  $f_{b1}/f_{b2}$  se considera positivo. El cociente  $f_{b1}/f_{b2}$  es diferente a 0.

(d) Cuando el esfuerzo de flexión calculado en el extremo menor de un miembro acartelado, o en un segmento del mismo, es igual a cero.

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25 \sqrt{\gamma}} \quad (\text{F.2-135})$$

en donde:

$\gamma = (d_L - d_o)/d_o$ , calculado en el tramo no arriostrado adyacente al punto de esfuerzo de flexión igual a cero

**F.2.16.3.5 - Esfuerzos combinados de flexión y fuerzas axiales** - Para miembros acartelados con un solo acartelamiento del alma solicitados por flexión y compresión con respecto al eje mayor se aplican las fórmulas F 2-46 y F 2-47 con las modificaciones siguientes:

$P_n$  y  $P_{ex}$  se calcularán según las propiedades del extremo menor, utilizando coeficientes apropiados de longitud efectiva.  $M_{nx}$ ,  $M_u$  y  $M_{px}$  se calcularán para el extremo mayor

$M_{nx} = (5/3)S'_x F_b$ , donde  $S'_x$  es el módulo elástico de la sección del extremo mayor y,  $F_b$  es el esfuerzo de diseño a flexión de los elementos acartelados.  $C_{mx}$  se reemplaza por  $C_m$  determinado como sigue

(a) Cuando el miembro está solicitado por momentos aproximadamente iguales en sus extremos, que le producen curvatura sencilla

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left( \frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.3 \left( \frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (\text{F.2-136})$$

(b) Cuando el momento de flexión calculado en el extremo menor de la longitud no arriostrada es igual a cero:

$$C'_m = 1.0 - 0.9 \left( \frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.6 \left( \frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (\text{F.2-137})$$

Cuando el parámetro de esbeltez efectiva,  $\lambda_{ef} \geq 1.5$  y los esfuerzos combinados se verifican a intervalos a lo largo de la longitud, se puede utilizar el área real y el módulo elástico de la sección real en el tramo que se investiga.

### F.2.17 - VIGAS ENSAMBLADAS

Esta sección se aplica a vigas ensambladas en I con almas esbeltas

**F.2.17.1 - LIMITACIONES** - Las vigas ensambladas, híbridas o no, de alma sencilla, de simetría doble o sencilla, cargadas verticalmente, se diseñarán de acuerdo con los requerimientos del presente numeral o de F 2 16 2, siempre que se satisfagan los siguientes límites:

(a) Para  $a/h \leq 1.5$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{5200}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (\text{F.2-138})$$

(b) Para  $a/h > 1.5$ :

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{96000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 115)}} \quad (\text{F.2-139})$$

en donde:

- a = distancia libre entre rigidizadores transversales, mm
- h = distancia libre entre las aletas menos la transición o radio esquinero para perfiles laminados, y para secciones ensambladas, la distancia entre líneas adyacentes de conectores o la distancia libre entre las aletas si se emplean soldaduras, mm
- $t_w$  = espesor del alma, mm
- $F_{yf}$  = mínimo esfuerzo de fluencia especificado en la aleta, MPa

En vigas sin rigidizadores  $h/t_w$  debe ser inferior a 260.

**F.2.17.2 - RESISTENCIA DE DISEÑO A LA FLEXION** - La resistencia de diseño a la flexión para vigas ensambladas con almas esbeltas, será  $\phi_b M_n$ , donde  $\phi_b = 0.90$  y  $M_n$  es el menor valor obtenido de los estados límite de plastificación de la aleta en tensión y de pandeo de la aleta en compresión. Para vigas con aletas desiguales véase F.2 14.1 para determinar  $\lambda_r$  para el estado límite de pandeo local del alma.

Para plastificación de la aleta en tensión

$$M_n = S_{xt} R_e F_{yt} \quad (\text{F.2-140})$$

Para pandeo en la aleta a compresión

$$M_n = S_{xc} R_{PG} R_e F_{cr} \quad (\text{F.2-141})$$

en donde:

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r} \left( \frac{h_c}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \leq 1.0 \quad (\text{F.2-142})$$

$R_e$  = coeficiente de viga híbrida

$$R_e = \frac{12 + a_r(3m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1.0 \text{ (para vigas no híbridas, } R_e=1.0\text{)}$$

- $a_r$  = relación entre el área del alma y el área de la aleta en compresión ( $\leq 10$ )
- $m$  = relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta o  $F_{cr}$
- $F_{cr}$  = esfuerzo crítico de la aleta en compresión, MPa
- $F_{yf}$  = esfuerzo de fluencia de la aleta en tensión, MPa
- $S_{xc}$  = módulo de sección referido a la aleta en compresión,  $\text{mm}^3$
- $S_{xt}$  = módulo de sección referido a la aleta en tensión,  $\text{mm}^3$
- $h_c$  = dos veces la distancia del centroide hasta la línea más próxima de sujetadores en la aleta en compresión o a la cara interior de la aleta en compresión cuando se usa soldadura, mm

El esfuerzo crítico,  $F_{cr}$ , a utilizar depende de los parámetros de esbeltez  $\lambda$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_r$  y  $C_{PG}$  como sigue:

Para  $\lambda \leq \lambda_p$ :

$$F_{cr} = F_{yf} \tag{F.2-143}$$

Para  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ :

$$F_{cr} = C_b F_{yf} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right] \leq F_{yf} \tag{F.2-144}$$

Para  $\lambda > \lambda_r$ :

$$F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\lambda^2} \tag{F.2-145}$$

En estas ecuaciones se calcularán los parámetros de esbeltez tanto para el estado límite de pandeo por torsión lateral como para el estado límite de pandeo local de la aleta, el menor valor resultante de  $F_{cr}$  será el que gobierna

(a) Para el estado límite de pandeo por torsión lateral

$$\lambda = \frac{L_b}{r_t} \tag{F.2-146}$$

$$\lambda_p = \frac{790}{\sqrt{F_{yf}}} \tag{F.2-147}$$

$$\lambda_r = \frac{1985}{\sqrt{F_{yf}}} \tag{F.2-148}$$

$$C_{PG} = 1970000 C_b \tag{F.2-149}$$

en donde:

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \text{ véase F.2 6 12, ecuación F.2-27}$$