

Tabla F.7.4.5
Coeficiente de ablandamiento de la zona afectada por el calor, k_z

Aleación	Condición	Producto (nota 1)	k_z
No tratadas en caliente			
1200	H14	S	0.13
3103	H14	S	0.18
	H18	S	0.13
3105	H14	S	0.17
	H16	S	0.15
	H18	S	0.13
5083	O, F	E, S, P, DT	1.00
	H22	S, P	0.45
5154A	O, F	E, S, P	1.00
	H22	S, P	0.40
	H24	S, P	0.29
5251	F	WT	0.20
	F	F	1.00
	H22	S, P	0.35
	H24	S, P	0.24
5454	O, F	E, S, P	1.00
	H22	S	0.35
	H24	S	0.30
Tratadas en caliente			
6061	T6	E, DT	0.50
6063	T4	E	1.00
	T4	DT	0.65
	T4	F	0.80
	T5	E	0.75
	T6	E, F	0.50
	T6	DT	0.45
6082	T4	E, S, P, DT, F	1.00
	T6	E, S, P, DT, F	0.50
7020	T4	E, S, P	0,80(A) 1,00(B)
	T6	E, S, P	0,60(A) 0,80(B)
			(nota 2)

NOTA 1. En la columna de producto, E, S, P, DT, WT y F se refieren, respectivamente, a extrusión, lámina, plancha, tubería extruída, tubería soldada y forjados.

NOTA 2. Refiérase al literal (b) de F.7.4.4.2 para ver la aplicabilidad de los valores A y B para material 7020.

F.7.4.4.3 - Extensión de la zona afectada por el calor

(a) **Definición de z** - Se supone que la zona afectada por el calor se extiende una distancia z en cualquier dirección a partir de la soldadura, medida de acuerdo con lo siguiente:

1. transversalmente desde la línea central de una soldadura a tope en línea (véase la figura F.7.4.6(a))
2. en soldaduras de filete, transversalmente desde el punto de intersección de las superficies soldadas (véanse las figuras F.7.4.6(e), (f), (g) y (h))
3. en soldaduras a tope usadas en uniones de esquina, T o cruciformes, transversalmente desde el punto de intersección de las superficies soldadas (véanse las figuras F.7.4.6(b), (c) y (d))
4. en cualquier dirección radial desde el extremo de una soldadura (véanse las figuras F.7.4.6(i) y (j))

Las fronteras de la zona afectada por el calor generalmente deben ser tomadas como líneas rectas normales a la superficie del metal, como se muestra en la figura F.7.4.6. Sin embargo, se permite, en su lugar, suponer una frontera curva de radio z , como se muestra en B (en lugar de A) en la figura F.7.4.6(i). Esto es ventajoso cuando la soldadura de superficie se aplica a un material grueso.

Tabla F.7.4.6
Extensión de la zona afectada por el calor, coeficiente α

Caso	Configuración de la unión	Valor de α	
		$t_e \leq 25 \text{ mm}$	$t_e > 25 \text{ mm}$
	Soldadura continua substancialmente recta (véanse figuras F.7.4.6(a), (c), (e) y (g))		
P	área total del depósito menor o igual que 50 mm^2	1.0	1.5
Q	área total del depósito mayor que 50 mm^2	1.5	2.0
R	Soldadura continua substancialmente recta que tiene dos o más soldaduras adyacentes (véanse figuras F.7.4.6(b), (d), (f) y (h))	1.5	2.0
S	Unión con irregularidad local	1.5	2.0
	(a) uniones miembro a miembro en armaduras		
	(b) soldaduras que conectan rigidizadores transversales en vigas y vigas ensambladas		
	(c) soldaduras usadas para conectar orejas y otros accesorios		

(e) **Determinación de η** - El coeficiente η en el literal (b) de F.7.4.4.3 cubre la posibilidad de acumulación incremental de calor debida a:

- proximidad de un borde o de bordes libres; o
- otra soldadura en la vecindad.

El valor de η puede encontrarse como se indica a continuación en (1) o en (2). Alternativamente refiérase al apéndice F.7.E.

(1) Para una unión desde la cual existen al menos dos caminos de calor válidos:

$$\eta = 1$$

Un camino de calor válido es aquel en el que $h \leq h_c$, donde

h = distancia al borde libre o la mitad de la distancia a una soldadura cercana

La distancia h debe ser medida desde el punto de referencia en la soldadura considerado (véase la figura F.7.4.6) y a lo largo del camino de calor relevante a través del metal en la mitad del espesor. El camino de calor sigue el perfil de la sección y no tiene que ser necesariamente recto (véase la figura F.7.4.7).

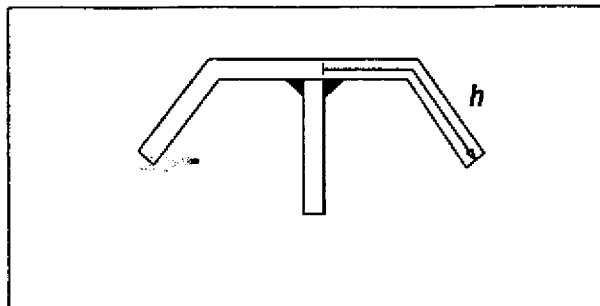


Figura F.7.4.7
Medición típica del camino de calor

$$h_1 = 4.5 \alpha z_o \quad = \quad \text{para aleaciones de la serie 7***, o} \quad (\text{F.7-17})$$

$$h_1 = 3 \alpha z_o \quad = \quad \text{para otras aleaciones.} \quad (\text{F.7-18})$$

(2) Para una unión desde la cual hay únicamente un camino de calor válido:

$$t_c \leq 25 \text{ mm} \quad \eta = 1.50$$

$$t_c > 25 \text{ mm} \quad \eta = 1.33$$

(f) **Traslapo de zonas afectadas por el calor** - Cuando dos uniones se localizan de modo que sus zonas afectadas por el calor respectivas (determinadas de acuerdo con F.7.4.4.3) se traslapan, se puede suponer que la extensión de la zona afectada por el calor en el lado exterior de cada unión no se altera por la proximidad.

(g) **Determinación experimental de z** - Es una alternativa para estimar la extensión de la zona afectada por el calor en lugar de hacerlo mediante cálculo. Esto se puede hacer por medio del examen de dureza de un espécimen representativo (véase el apéndice F.7.E).

F.7.4.5 - VIGAS

F.7.4.5.1. - Generalidades - Las siguientes revisiones se deben realizar a todas las vigas (incluyendo vigas ensambladas).

(a) **Revisión a momento**. En cualquier sección transversal, el momento M bajo carga mayorada no debe exceder la resistencia de diseño a momento M_{RS} de la sección, calculada de acuerdo con F.7.4.5.2 (o alternativamente de acuerdo con el apéndice F.7.D). M_{RS} se debe reducir apropiadamente, cuando sea necesario, para tener en cuenta un cortante coincidente (véase F.7.4.5.4).

(b) **Revisión a cortante**. En cualquier sección transversal, la fuerza cortante V bajo carga mayorada no debe exceder la resistencia de diseño a fuerza cortante V_{RS} (véase F.7.4.5.3).

En algunos casos, es necesario hacer también una o ambas de las siguientes revisiones:

(1) Revisión de aplastamiento del alma (véase F.7.4.5.5)

(2) Revisión de pandeo torsional lateral (véase F.7.4.5.6)

Las vigas ensambladas, que tienen almas rigidizadas más esbeltas, deben diseñarse preferiblemente usando F.7.5.4. Se permite diseñarlas como vigas pero es probable que se pierda en economía.

Para el diseño de vigas sometidas a flexión biaxial combinada con carga axial, se debe usar F.7.4.8.

Las vigas sujetas a flexión biaxial respecto a ambos ejes principales se deben revisar también de acuerdo con F.7.4.8.

F.7.4.5.2 - Resistencia a momento uniaxial de la sección

(a) Clasificación de la sección para resistencia a momento - Primero es necesario clasificar la sección como totalmente compacta, semi-compacta o esbelta basándose en el elemento componente menos favorable, de acuerdo con F 7 4 3 3

En el caso de un elemento saliente reforzado que forme parte o sea toda la aleta a compresión, la presencia de refuerzo en forma de una pestaña dirigida hacia afuera debe ignorarse para la clasificación de la sección.

(b) Cálculo básico - La resistencia de diseño a momento M_{RS} de una sección dada, en ausencia de cortante, debe encontrarse, por lo general, como se indica a continuación:

- no soldada, totalmente compacta $M_{RS} = p_o S_n / \phi$ (F.7-19)
- no soldada, semi-compacta $M_{RS} = p_o Z_n / \phi$ (F.7-20)
- soldada, totalmente compacta $M_{RS} = p_o S_{ne} / \phi$ (F.7-21)
- soldada, semi-compacta $M_{RS} = p_o Z_{ne} / \phi$ (F.7-22)
- no soldada, esbelta $M_{RS} = p_o Z_c / \phi$ o,
 $M_{RS} = p_o Z_n / \phi$ lo que sea menor (F.7-23)
- soldada, esbelta $M_{RS} = p_o Z_c / \phi$ o,
 $M_{RS} = p_o Z_{ne} / \phi$ lo que sea menor (F.7-24)

donde

- S_n y Z_n = módulos plástico y elástico, respectivamente, de la sección neta
- S_{ne} y Z_{ne} = módulos plástico y elástico, respectivamente, de la sección neta efectiva
- Z_c = módulo elástico de la sección efectiva
- p_o = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F 7 4 2)
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F 7 3.1)

Se permite en secciones semi-compactas y esbeltas, si es favorable, tomar la resistencia a momento basada en un patrón de esfuerzos elasto-plástico tal como se indica en el apéndice F.7.D, en lugar de usar las expresiones anteriores. Si esto se hace, la nota 5 del literal (c) de este mismo numeral no es válida

(c) Sección supuesta - La terminología usada en el literal (b) de este mismo numeral implica lo siguiente:

- la sección neta incluye solamente la reducción por los agujeros
- la sección neta efectiva incluye el espesor reducido tomado en la vecindad de las soldaduras para tener en cuenta el ablandamiento en la zona afectada por el calor conjuntamente con la reducción por los agujeros
- la sección efectiva incluye el espesor reducido para tomar en cuenta el ablandamiento en la zona afectada por el calor y el pandeo local pero no se hace reducción por los agujeros.

El espesor reducido se debe tomar, por lo general, de acuerdo con lo siguiente para los diferentes elementos en una sección.

1. **Elemento esbelto libre de efectos de zona afectada por el calor** - Se toma un espesor $k_1 t$ para todo el elemento, k_1 se encuentra siguiendo F.7.4.3 4
2. **Elementos no-esbeltos sujetos a efectos de zona afectada por el calor** - Se toma un espesor $k_2 t$ para las partes ablandadas del elemento. k_2 y la extensión del ablandamiento están dados en F.7.4.4.2 y F 7 4 4.3.
3. **Elemento esbelto con efectos de zona afectada por el calor** - Se toma el espesor reducido como el menor de $k_1 t$ y k_{1t} para la parte ablandada y k_{1t} para el resto del elemento.

Nota 1. Cuando se localiza un agujero en la región de espesor reducido, la reducción para ese agujero debe basarse en el espesor reducido.

Nota 2. En el caso de elementos reforzados, k_L se debe aplicar al área del refuerzo así como al espesor básico de la lámina.

Nota 3. Cuando se considera un elemento de aleta esbelto que se localiza más cerca del eje neutro que de la fibra extrema a tensión del material, se permite tomar un valor más favorable de k_L . Esto se hace usando un valor modificado de ε en la figura F.7.4.5 (en lugar del valor normal, véase el literal (a) de F.7.4.3.4) de acuerdo con:

$$\varepsilon = \left(\frac{25y_1}{p_0 y_2} \right)^{1/2} \quad (\text{F.7-25})$$

donde y_1 y y_2 son las distancias desde el eje neutro elástico de la sección bruta hasta las fibras extremas y hasta el elemento considerado, respectivamente. Esta relación se aplica sólo si el elemento es substancialmente paralelo al eje de flexión.

Nota 4. Para un elemento reforzado que forma parte de la aleta a compresión de una sección esbelta en la cual el refuerzo tiene la forma de una pestaña dirigida hacia afuera, la presencia de la pestaña debe ignorarse para determinar la resistencia a momento.

Nota 5. Para un elemento soldado en una sección semi-compacta o esbelta, se puede suponer un espesor más favorable de acuerdo con lo siguiente:

- Se ignora el ablandamiento en la zona afectada por el calor para cualquier material que esté a menos de $k_z y_1$ del eje neutro elástico de la sección bruta, donde y_1 es la distancia de allí a las fibras más lejanas de la sección.
- Para el material de la zona afectada por el calor, a una distancia $y (> k_z y_1)$ del eje neutro, k_z se puede reemplazar por un valor k_{zy} determinado de acuerdo con:

$$k_{zy} = k_z + 1 - \frac{y}{y_1} \quad (\text{F.7-26})$$

(d) Secciones híbridas - La capacidad a momento de una sección híbrida que contiene materiales de diferentes resistencias puede basarse, con seguridad, en el menor valor de p_0 dentro de la sección. Como alternativa puede usarse el siguiente procedimiento que es más ventajoso.

- Cada elemento se clasifica de acuerdo con su valor particular de p_0 .
- Para una sección totalmente compacta, M_{RS} se encuentra usando la teoría de flexión plástica convencional teniendo en cuenta el valor de p_0 en cada elemento y usando nuevamente la sección neta efectiva en el caso de miembros soldados
- Para otras secciones, M_{RS} se encuentra con la expresión F.7.20, F.7.22 o F.7.23 del literal (b) de F.7.4.5.2, la que sea apropiada, tomando como base los valores de p_0 y Z del punto de la sección que da los menores valores de M_{RS} .

(e) Secciones semi-compactas - Para este tipo de secciones se permite, si se desea, tomar un valor mejorado de M_{RS} que se obtiene por interpolación de acuerdo con lo siguiente:

$$M_{RS} = M_S + \frac{\beta_0 - \beta}{\beta_0 - \beta_1} (M_f - M_S) \quad (\text{F.7-27})$$

donde:

- M_r y M_s = valores de M_{RS} totalmente compacto y semi-compacto encontrados de acuerdo con el literal (b) de F.7.4.5.2
 β = valor de β para el elemento más crítico de la sección
 β_1 y β_0 = valores límite de β totalmente y semi-compacto para ese mismo elemento (véase la tabla F 7 4 3).

F.7.4.5.3 - Resistencia a fuerza cortante

(a) **Clasificación de la sección** - Primero es necesario clasificar la sección como compacta o esbelta en términos de su resistencia a fuerza cortante: una sección compacta no se afecta por pandeo mientras que una sección esbelta se debe revisar a pandeo. Las secciones se clasifican como sigue:

- **Secciones que contienen almas a cortante orientadas en el plano de carga, sin platinas de encaje:**

$$\frac{d}{t} \leq 49\varepsilon \quad \text{compacta}$$

$$\frac{d}{t} > 49\varepsilon \quad \text{esbelta}$$

donde

d = altura libre del alma entre aletas (medida sobre la pendiente en el caso de almas inclinadas)

t = espesor del alma

$$\varepsilon = \left(\frac{25}{p_0} \right)^{1/2} = \left(\frac{15}{p_v} \right)^{1/2}$$

p_0 y p_v = esfuerzos límite (en kgf/mm²) (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)

- **Secciones que contienen almas a cortante orientadas en el plano de carga, con platinas de encaje.** Véase el literal (e).
- **Barra sólida.** compacta
- **Tubería redonda:** la misma clasificación que para compresión axial (véanse el literal (d) de F.7.4.3.2 y el literal (c) de F.7.4.3 3).

(b) **Secciones compactas** - La resistencia de diseño a fuerza cortante V_{RS} de una sección, en ausencia de momento, se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$V_{RS} = \phi p_v A_v \quad \text{(F.7-28)}$$

donde

p_v = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F 7 4 2)

A_v = área efectiva de cortante

ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

El área de la sección efectiva será:

- Para secciones que contienen almas a cortante sin platinas de encaje que están libres de ablandamiento en la zona afectada por el calor, A_v se determina usando:

$$A_v = 0.8NDt \quad \text{(F.7-29)}$$

donde

- D = altura total del alma medida desde la superficie exterior de las aletas
- t = espesor del alma
- N = número de almas

La presencia de pequeños agujeros se puede ignorar siempre y cuando ellos no ocupen, en total, más del 20% de la altura libre del alma entre aletas.

- Para secciones como las de (a) pero con almas afectadas por ablandamiento en la zona afectada por el calor, A_v se determina con la siguiente ecuación:

$$A_v = N(0.8Dt - (1 - k_z)d_z t) \quad (F.7-30)$$

donde

- d_z = altura total de material de la zona afectada por el calor dentro de la altura libre entre aletas del alma (véase F.7.4.4.3)
- k_z = coeficiente de ablandamiento (véase F.7.4.4.2)

Para un alma soldada en toda su altura o continuamente soldada longitudinalmente en cualquier punto de su altura, V_{RS} se debe tomar como k_z veces el valor no soldado.

- Para una barra sólida:

$$A_v = 0.8 A \quad \text{ó} \quad 0.8 A_e \quad (F.7-31)$$

- Para un tubo redondo compacto

$$A_v = 0.6 A \quad \text{ó} \quad 0.6 A_e \quad (F.7-32)$$

donde

- A = área de la sección (en ausencia de ablandamiento en la zona afectada por el calor)
- A_e = área efectiva de la sección (cuando hay ablandamiento en la zona afectada por el calor) encontrada tomando un espesor efectivo de k_z veces el espesor real para el material de la zona afectada por el calor

En el caso de secciones que contienen almas a cortante, se pueden usar los métodos para el cálculo de V_{RS} de vigas ensambladas (véanse los literales (a) y (d) de F 7 5.4 2).

(c) Secciones esbeltas - La resistencia de diseño a fuerza cortante V_{RS} , en ausencia de momento, para secciones que contienen almas esbeltas a cortante sin platinas de encaje y orientadas en el plano de carga, se debe tomar como la menor de los dos valores obtenidos en las siguientes revisiones:

- **Revisión a fluencia.** La resistencia se calcula como para una sección compacta usando el literal (b) de F 7 4 5 3
- **Revisión por pandeo.** El valor de V_{RS} en kgf se obtiene con la siguiente expresión

$$V_{RS} = \phi \frac{3.4 N t^3}{d} \quad (F.7-33)$$

donde

- d = altura libre del alma entre aletas

- t = espesor del alma
 N = número de almas
 ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

(d) Almas a cortante inclinadas - Las expresiones que cubren secciones compactas en el literal (b) de F 7 4 5 3 siguen siendo válidas para almas inclinadas siempre que D sea medido perpendicularmente al eje neutro. Para revisar secciones inclinadas esbeltas (véase el literal (c) de F.7.4 5 3), la expresión F 7-33 debe factorarse por $\cos \theta$, donde θ es el ángulo entre el alma y el plano de aplicación de la carga

(e) Uso de platinas de encaje - La resistencia a fuerza cortante de secciones que contienen almas a cortante con platinas de encaje puede generalmente calcularse, con seguridad, usando el tratamiento dado en F 7 5 4 2 pero con los coeficientes v tomados como sigue:

- v_1 = coeficiente de pandeo crítico al corte en el rango elástico determinado según el literal (b) de F 7 5 4 2
 v_{if} = coeficiente de campo tensionado, igual a cero

Este tratamiento es válido sólo si las platinas de encaje cumplen con F.7.5.4.4.

F.7.4.5.4 Combinación de momento y fuerza cortante

(a) Momento con cortante bajo - En cualquier sección, se puede suponer que la resistencia de diseño a momento M_{RS} no se afecta por una fuerza cortante coincidente V (bajo carga mayorada) menor que la mitad de la resistencia de diseño a fuerza cortante V_{RS} encontrada en el literal (c) de F.7.4.5.3.

(b) Momento con cortante elevado - Si V excede $0.5V_{RS}$, se debe calcular un valor reducido de la resistencia de diseño a momento M_{RSO} .

- Para secciones con almas a cortante conectadas a aletas en ambos extremos longitudinales:

$$M_{RSO} = M_{RS} \left(1 + (1 - \alpha) \left(0.6 - \frac{1.2V}{V_{RS}} \right) \right) \quad (F.7-34)$$

- Para otras secciones:

$$M_{RSO} = M_{RS} \left(1.6 - \frac{1.2V}{V_{RS}} \right) \quad (F.7-35)$$

donde

- M_{RS} = resistencia de diseño a momento de la sección, en ausencia de cortante (véase F.7.4.5.2)
 α = relación entre los esfuerzos cortantes mínimo y máximo en al alma suponiendo distribución elástica de esfuerzos

Para secciones clasificadas como esbeltas para flexión o afectadas por ablandamiento en la zona afectada por el calor, α debe basarse en la sección supuesta usada en la demostración de M_{RS} (véase el literal (c) de F.7.4.5.2).

F.7.4.5.5 - Aplastamiento del alma - Este numeral trata del diseño de almas sometidas a fuerzas localizadas causadas por cargas concentradas o reacciones aplicadas a una viga.

(a) Alma no rigidizada - Cuando el alma, por sí sola, debe soportar la fuerza localizada, sin el suministro de un rigidizador de apoyo, como por ejemplo bajo una carga rodante, las dos condiciones siguientes deben cumplirse.

$$P_{w1} \leq \phi P_a \quad \text{o,} \quad \frac{k_2 P_a}{\phi} \quad (\text{F.7-36})$$

$$P_{w2} \leq \phi P_s \quad (\text{F.7-37})$$

donde

- P_{w1} , P_{w2} = esfuerzos en el borde extremo y en el punto medio, respectivamente, suponiendo un ángulo de dispersión de 45° a cada lado de una fuerza localizada
- P_a = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- P_s = esfuerzo de pandeo para el alma tratada como una columna delgada entre aletas
- k_2 = coeficiente de ablandamiento para el material de la zona afectada por el calor (véase F.7.4.4.2)
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

En la ecuación F.7-36, la segunda expresión debe usarse cuando el alma está soldada a la aleta y hay ablandamiento en la zona afectada por el calor. De otro modo, la primera expresión es válida.

El valor de P_s debe determinarse de acuerdo con el literal (a) de F.7.4.7.3, seleccionando la curva en la figura F.7.4.10 (a) que intercepta el eje de esfuerzos en un valor P_o (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2). El parámetro de esbeltez λ que se debe usar para seleccionar la curva debe tener en cuenta el posible movimiento lateral relativo de las aletas cuando el alma se pandea y nunca debe ser menor que $3.5d/t$.

(b) Alma con platina de encaje - Cuando se suministra una platina de encaje, se debe satisfacer la ecuación F.7-36 tanto en el extremo superior de la platina de encaje como en el extremo superior del alma delgada.

(c) Alma rigidizada - Un rigidizador de apoyo apropiado debe ser de sección compacta. Puede ser conservadoramente diseñado suponiendo que resiste la fuerza de aplastamiento completa, sin ayuda del alma. El rigidizador se revisa como un miembro a compresión (véase F.7.4.7) para pandeo como columna fuera del plano y aplastamiento local considerando efectos de flexión, si es necesario (véase F.7.4.8). Alternativamente, se puede diseñar un rigidizador más económico utilizando la cláusula de rigidizador de viga ensamblada (véase F.7.5.4.4).

F.7.4.5.6 Pandeo torsional lateral - Una viga, que no sea una de las excepciones dadas aquí, se debe revisar contra posible falla por pandeo torsional lateral de acuerdo con los literales (a) a (f) de este mismo numeral.

La posibilidad de falla prematura por pandeo torsional lateral se puede ignorar en cualquiera de los siguientes casos:

- flexión respecto al eje menor
- viga soportada contra movimiento lateral en toda su longitud
- soporte lateral de la aleta a compresión suministrado a espaciamiento no mayor que $40\epsilon r_y$,

donde

- r_y = eje de giro menor de la sección
- $\epsilon = (25/P_o)^{1/2}$
- P_o = esfuerzo límite (en kgf/mm^2) del material de la aleta a compresión (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)

(a) Condición básica - La viga debe revisarse por posible pandeo torsional lateral en cada tramo no soportado entre puntos de apoyo lateral. En cada uno de ellos se debe satisfacer la siguiente condición:

$$M \leq M_{Rn} \quad (\text{F.7-38})$$

donde

- M = momento bajo carga mayorada en la longitud considerada
- M_{Rt} = momento factorado de resistencia a pandeo torsional lateral. es igual a $p_s S / \phi$
- S = módulo plástico de la sección bruta sin reducción por ablandamiento en la zona afectada por el calor, pandeo local o agujeros
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)
- p_s = esfuerzo de pandeo (véase el literal (c) de F.7.4.5.6)

(b) **Margen para variación de momento** - El valor de M en el literal (a) puede ser, seguramente, tomado como el valor máximo en el tramo considerado. Como alternativa, se permite tomar M como el momento uniforme equivalente \bar{M} . Para el caso de gradiente simple de momento en la longitud considerada (variación lineal) \bar{M} se puede tomar como se indica enseguida:

$$\text{para } 1.0 > \frac{M_2}{M_1} \geq -0.5 \quad \bar{M} = 0.6M_1 + 0.4M_2 \quad (\text{F.7-39})$$

$$\text{para } \frac{M_2}{M_1} < -0.5 \quad \bar{M} = 0.4M_1 \quad (\text{F.7-40})$$

donde M_1 y M_2 son, respectivamente, los momentos máximo y mínimo (véase la figura F.7.4.8). Para otros casos de variación de momento consulte el apéndice F.7.G

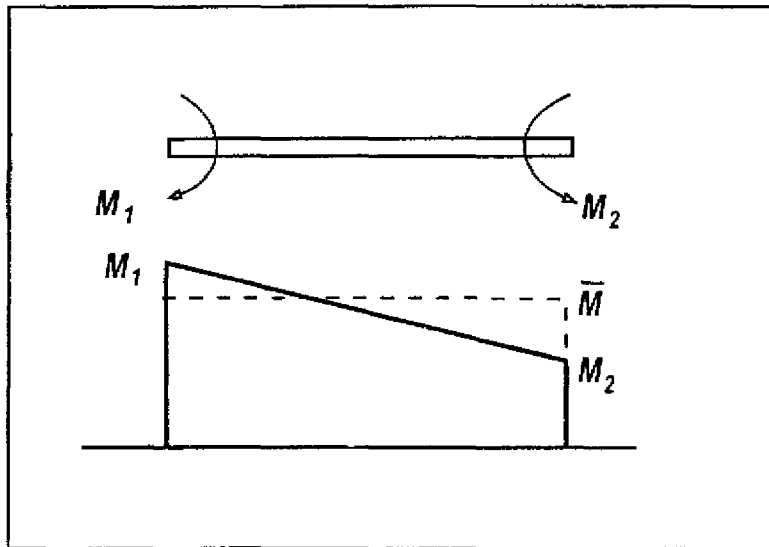


Figura F.7.4.8
Pandeo torsional lateral, momento uniforme equivalente \bar{M}

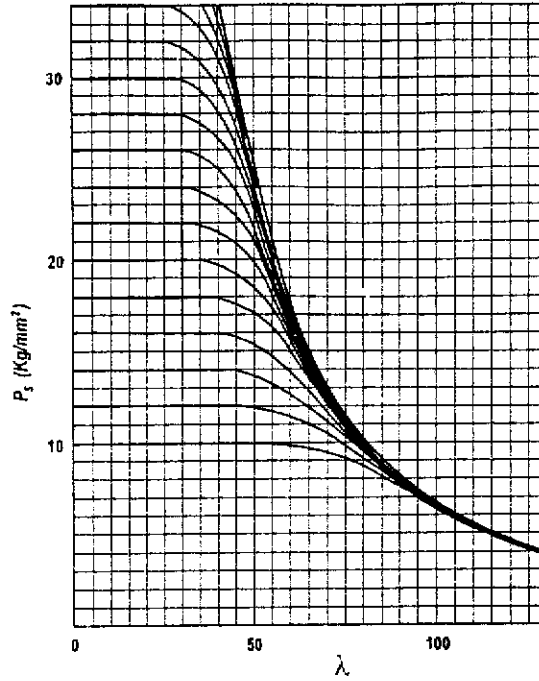
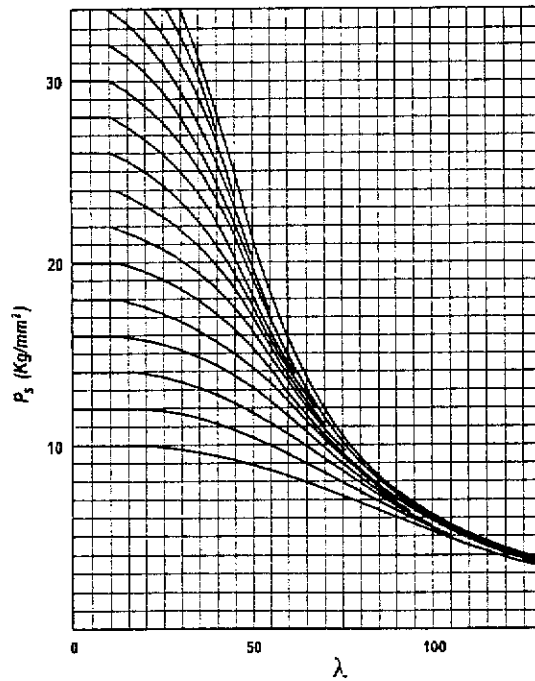
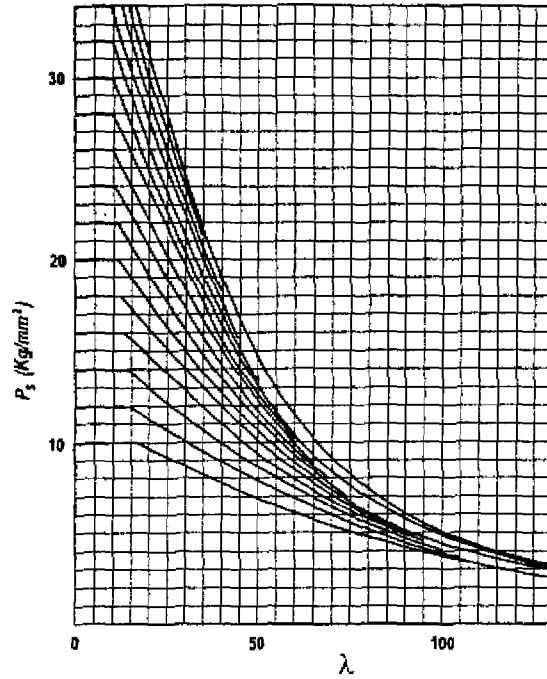


Figura F.7.4.9
Pandeo torsional lateral de vigas, esfuerzo de pandeo p_s



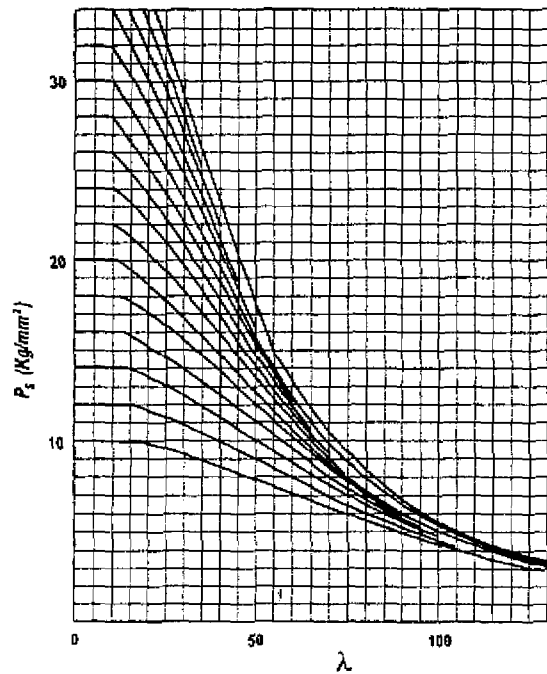
NOTA: Para encontrar p_s con $\lambda > 130$ véase la figura F.7.1.1

Figura F.7.4.10 (a)
Esfuerzo de pandeo como columna para miembros a compresión p_s



NOTA: Para encontrar p_c con $\lambda > 130$ véase la figura F.7.1.1

Figura F.7.4.10 (b)
Esfuerzo de pandeo como columna para miembros a compresión p_c



NOTA: Para encontrar p_c con $\lambda > 130$ véase la figura F.7.1.1

Figura F.7.4.10 (c)
Esfuerzo de pandeo como columna para miembros a compresión p_c

(c) **Esfuerzo de pandeo** - El esfuerzo de pandeo torsional lateral p_1 , se lee en la figura F.7.4.9 usando la curva que intercepta el eje de esfuerzos en un esfuerzo p_1 , encontrado de acuerdo con lo siguiente:

- para secciones no soldadas totalmente compactas

$$p_1 = p_0 \quad (F.7-41)$$

- para otras secciones incluyendo secciones híbridas

$$p_1 = \frac{M_{RS}}{\phi S} \quad (F.7-42)$$

donde

- p_0 = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- M_{RS} = resistencia a momento de diseño de la sección
- S = módulo plástico de la sección bruta
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

Por lo general, M_{RS} debe determinarse de acuerdo con F.7.4.5.2 teniendo en cuenta pandeo local y ablandamiento en la zona afectada por el calor pero sin reducción por agujeros.

Para vigas de gran esbeltez ($\lambda > 130$) es necesario consultar la curva adimensional apropiada en el apéndice F.7.1 para encontrar p_1 .

(d) **Parámetro de esbeltez** - El parámetro de esbeltez de pandeo torsional lateral, λ , necesario para la figura F.7.4.9, se puede obtener usando cualquiera de las siguientes expresiones F.7-43 a F.7-45.

Valor conservador $\lambda = \lambda_y = \frac{l}{r_y} \quad (F.7-43)$

donde

- l = longitud efectiva para pandeo torsional lateral
- r_y = radio de giro del eje menor para la sección bruta

Para los siguientes casos, se debe usar el apéndice F.7.G para calcular la longitud efectiva de la viga (l)

- vigas en voladizo
- vigas sujetas a cargas desestabilizadoras, esto es, carga entre puntos de soporte lateral que efectivamente actúa en un punto de la sección sobre el lado a compresión del eje neutro
- vigas sujetas a cargas normales cuando la aleta a compresión no está lateralmente restringida, ambas aletas pueden rotar en el plano y la restricción torsional es suministrada únicamente por el soporte de la aleta de fondo en los apoyos

Para todos los otros tipos de soporte, l , puede tomarse seguramente como la distancia entre puntos de soporte lateral. Alternativamente, se puede encontrar un valor más favorable para ciertas condiciones de restricción usando F.7.G.1.

Expresión general $\lambda = \pi \left(\frac{ES}{M_{cr}} \right)^{1/2} \quad (F.7-44)$

donde

- E = módulo de elasticidad
- S = módulo plástico de la sección bruta

M_{cr} = momento uniforme elástico crítico (véase F.7.G.2)

Miembros con sección en I o en canal cubiertos en la tabla F.7.4.7: El parámetro λ puede tomarse como se indica enseguida pero no debe exceder el valor dado por la ecuación F.7-43:

$$\lambda = \frac{X\lambda_y}{\left[1 + Y\left(\lambda_y / (D/t_2)\right)^2\right]^{1/4}} \quad (F.7-45)$$

donde

D = altura total de la sección

t_2 = espesor de la aleta

X y Y = coeficientes tomados de la tabla F.7.4.7 (pueden ser tomados conservadoramente como X=1.0, Y=0.05)

Cuando el refuerzo de la aleta de una viga en I o un miembro en canal no es de la forma precisa mostrada en la tabla F.7.4.7 (pestañas simples), se permite inclusive obtener λ usando la expresión F.7-45. Si esto se hace, X y Y deben tomarse como para una pestaña simple equivalente que tiene la misma altura interna C, en tanto que λ_y se calcula para la sección con el refuerzo real.

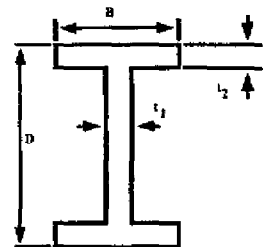
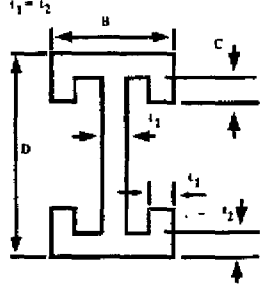
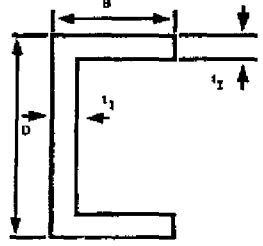
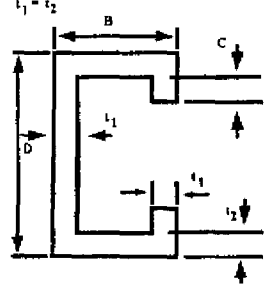
(e) Restricciones laterales efectivas - Los sistemas de arriostamiento para proveer restricción lateral se deben diseñar suponiendo que la fuerza lateral total ejercida por una aleta a compresión, bajo carga mayorada, distribuida entre los puntos de restricción en cualquier vano, es el 3% de la compresión en esa aleta.

Cuando una serie de dos o más vigas paralelas requiere restricción lateral, no es adecuado simplemente amarrar las aletas a compresión juntas de modo que resulten mutuamente dependientes. La restricción es adecuada únicamente si se anclan los amarres a un soporte robusto independiente o si se provee un sistema de arriostamiento triangulado. Si el número de vigas paralelas es mayor de 3, es suficiente diseñar el sistema de restricción para resistir la suma de las fuerzas laterales derivadas de las tres mayores fuerzas compresivas únicamente.

(f) Vigas que contienen soldaduras localizadas - El valor de M_{RS} en el literal (c) de F.7.4.5.6 para una viga sujeta a ablandamiento en la zona afectada por el calor, debe generalmente referirse a la sección más desfavorable en el vano considerado aunque tal ablandamiento ocurra únicamente localmente a lo largo de la longitud.

Sin embargo, cuando el ablandamiento en la zona afectada por el calor ocurre en los extremos del vano únicamente, su presencia se puede ignorar para considerar el pandeo torsional lateral siempre y cuando tal ablandamiento no exceda una distancia a lo largo del miembro, en cada extremo del vano, mayor que el ancho de la sección.

Tabla F.7.4.7
Pandeo torsional lateral de vigas, coeficientes X y Y

Sección de la viga	Coeficientes
	$X = 0.90 - 0.03 \frac{D}{B} + 0.04 \frac{t_2}{t_1}$ $Y = 0.05 + 0.010 \left\{ \frac{D}{B} \left(\frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \right\}^{1/2}$
	$X = 0.94 - \frac{D}{B} \left(0.03 - 0.07 \frac{C}{B} \right) - 0.3 \frac{C}{B}$ $Y = 0.05 - 0.06 \frac{C}{D}$
	$X = 0.95 - 0.03 \frac{D}{B} + 0.06 \frac{t_2}{t_1}$ $Y = 0.07 + 0.014 \left\{ \frac{D}{B} \left(\frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \right\}^{1/2}$
	$X = 1.01 - \frac{D}{B} \left(0.03 - 0.06 \frac{C}{B} \right) - 0.3 \frac{C}{B}$ $Y = 0.07 - 0.10 \frac{C}{D}$

Nota Las expresiones para X y Y son válidas para $1.5 \leq D/B \leq 4.5$, $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$, $0 \leq C/B \leq 0.5$

F.7.4.6 - MIEMBROS A TENSION - La tensión P generada bajo carga mayorada en miembros axialmente cargados a tensión (tirantes) no debe exceder la resistencia de diseño a tensión P_{RS} de la sección

Para miembros a tensión conectados excéntricamente en los extremos, es generalmente necesario referirse a F 7 4.8 para tener en cuenta la interacción entre la carga axial y los momentos introducidos. Sin embargo, en ciertos casos (véase F 7 4 6 2) se permite usar un procedimiento simplificado.

F.7.4.6.1 - Resistencia a tensión - La resistencia a tensión de diseño P_{RS} se debe tomar como el menor de los dos valores correspondientes a:

- fluencia general a lo largo del miembro
- falla local en una sección crítica

(a) **Fluencia general** - El valor de P_{RS} se basa en la sección transversal general del miembro a lo largo de su longitud, ignorando el efecto de las conexiones de los extremos, agujeros ocasionales o regiones afectadas por el calor localizadas, de la siguiente manera:

Para un miembro libre de ablandamiento en la zona afectada por el calor o únicamente afectado en posiciones localizadas a lo largo de su longitud:

$$P_{RS} = \phi P_o A \quad (F.7-46)$$

Para un miembro en el cual la sección contiene material afectado por el calor generalmente a lo largo de su longitud, como con soldaduras longitudinales:

$$P_{RS} = \phi P_o A_e \quad (F.7-47)$$

donde

- p_o = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- A = área de la sección bruta
- A_e = área de la sección efectiva
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

El valor de A_e se encuentra tomando un área reducida igual a k_2 veces el área real para una zona ablandada, tomando k_2 como se indica en F.7.4.4.2 y la extensión de la zona de acuerdo con F.7.4.4.3.

(b) **Falla local** - El valor de P_{RS} se basa en la sección más crítica como se indica enseguida:

Para una sección libre de ablandamiento en la zona afectada por el calor:

$$P_{RS} = \phi P_a A_n \quad (F.7-48)$$

Para una sección que contiene material afectado por el calor:

$$P_{RS} = \phi P_a A_{ne} \quad (F.7-49)$$

donde

- p_a = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- A_n = área de la sección neta, con reducción por agujeros
- A_{ne} = área de la sección neta efectiva
- ϕ = coeficiente de reducción de capacidad (véase la F.7.3.1)

El valor de A_{ne} se encuentra en la misma forma que el de A_e (véase el literal (a) de F.7.4.6.1) pero con la apropiada reducción por agujeros, si es necesaria. La reducción por agujeros en las regiones afectadas por el calor puede hacerse con base en el espesor reducido $k_2 t$.

(c) **Agujeros escalonados** - Cuando hay agujeros escalonados, se deben calcular valores alternos de A_n o A_{ne} usando las siguientes indicaciones y el valor menor será luego usado en el literal (b) de este mismo numeral.

- A_n o A_{ne} se toma como la sección transversal más desfavorable.
- Se considera una sección diagonal o en zig-zag encontrando A_n o A_{ne} como sigue:

$$A_n = A - H \quad \text{o} \quad A_{ne} = A_e - H$$

donde