

$$H = \sum A_h - \frac{\sum x^2 t}{4y} \quad (F.7-50)$$

- x, y = separación longitudinal y transversal, respectivamente, de los agujeros  
 t = espesor de la lámina o espesor efectivo de la lámina  
 $\sum A_h$  = suma de las áreas de agujero en la sección diagonal o en zig-zag considerada

**(d) Secciones híbridas** - La capacidad a tensión de una sección híbrida que contiene materiales de diferente resistencia, se debe encontrar sumando las resistencias de las varias partes obtenidas en el literal (b) de este numeral.

**F.7.4.6.2 - Tirantes conectados excéntricamente** - Los tirantes conectados excéntricamente incluyen lo siguiente:

- ángulos conectados únicamente por una aleta
- canales conectados por el alma
- secciones T conectadas por la aleta

Los miembros a tensión de estos tres tipos con un sólo vano pueden diseñarse como cargados axialmente y la variación de esfuerzo en el lado o los lados salientes puede ignorarse, siempre y cuando al determinar el área  $A_n$  o  $A_{ne}$  requerida para la revisión local (véase el literal (b) de F.7.4.6.1), parte del área del lado saliente se sustraiga del área bruta, lo mismo que cualquier reducción por agujeros o por efectos de zona afectada por el calor. La cantidad de lado sobresaliente a ser restada se toma como se indica a continuación:

- |  |           |
|--|-----------|
| (1) componente único conectado por un lado a una cartela                 | 0.6 $A_e$ |
| (2) componente doble simétricamente conectado a cada lado de una cartela | 0.2 $A_e$ |

donde  $A_e$  es el área efectiva del lado o lados salientes del elemento conectado, ignorando cualquier filete

Cuando tales miembros son continuos sobre varios vanos, sólo hay que aplicar el tratamiento anterior a los extremos exteriores de los vanos extremos. En cualquier otro lugar, la resistencia local a tensión puede encontrarse de acuerdo con el literal (b) de F.7.4.6.1 sin ninguna reducción por aleta saliente

La revisión a fluencia general debe ser hecha de acuerdo con el literal (a) de F.7.4.6.1.

**F.7.4.7 - MIEMBROS A COMPRESION** - Se necesitan generalmente tres verificaciones para miembros cargados axialmente a compresión (puntales):

**(a) revisión como columna**, esto es, revisión a flexión y pandeo (véanse F.7.4.7.2 y F.7.4.7.3) (se refiere al pandeo general del miembro como un todo)

**(b) revisión por pandeo torsional** (véanse F.7.4.7.2 y F.7.4.7.4) (se refiere al pandeo general del miembro como un todo)

**(c) revisión por aplastamiento local** (véase F.7.4.7.6) (se refiere a la sección transversal más débil a lo largo de la longitud)

La revisión (a) siempre debe hacerse, la (b) generalmente se requiere pero puede ser obviada en algunos casos. La (c) únicamente se necesita para miembros a compresión que tienen bajas relaciones de esbeltez y que están significativamente debilitados localmente por agujeros o soldadura

Para tomar en cuenta la interacción entre carga axial y flexión es generalmente necesario referirse a F.7.4.8. Sin embargo, para puntales con conexiones excéntricas en los extremos, es permitido, en ciertos casos, usar un procedimiento simplificado (véase F.7.4.7.8) para tener en cuenta los momentos introducidos.

**F.7.4.7.1 - Clasificación de la sección para compresión axial** - Antes de hacer cualquiera de las tres revisiones mencionadas, es necesario clasificar la sección transversal como compacta o esbelta. La clasificación se basa en el menos favorable de los elementos componentes de acuerdo con F.7.4.3.3.

**F.7.4.7.2 - Resistencia al pandeo general** - Con las dos revisiones, (a) y (b), la fuerza axial P bajo carga mayorada no debe exceder la resistencia axial de diseño  $P_R$  basada en pandeo general y dada por la siguiente expresión:

$$P_R = p_s A \phi \quad (\text{F.7-51})$$

donde

- A = área bruta, sin reducción por ablandamiento en la zona afectada por el calor, pandeo local o agujeros
- $p_s$  = esfuerzo de pandeo en pandeo por flexión o torsional
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

Para encontrar  $p_s$  para el pandeo como columna, se debe considerar la falla respecto a ambos ejes principales y se toma el menor valor.

Para un miembro a compresión de gran esbeltez ( $\alpha > 130$ ), es necesario consultar el apéndice F.7.1 para encontrar  $p_s$ .

**F.7.4.7.3 - Pandeo como columna**

**(a) Esfuerzo de pandeo** - El valor de  $p_s$  para pandeo como columna debe leerse de la curva apropiada en la figura F.7.4.10, seleccionada de acuerdo con F.7.4.7.5.

**(b) Parámetro de esbeltez** - El parámetro de esbeltez  $\lambda$  para pandeo como columna necesitado para la figura F.7.4.10, se define como sigue:

$$\lambda = l / r \quad (\text{F.7-52})$$

donde

- l = longitud efectiva
- r = radio de giro

ambos apropiados para la dirección de pandeo en consideración.

**Tabla F.7.4.8**  
**Coeficiente de longitud efectiva K para miembros a compresión**

Condiciones en los extremos	K
1. Traslación y rotación impedidas en ambos extremos	0.7
2. Traslación impedida en ambos extremos y rotación impedida en uno solo	0.85
3. Traslación impedida y rotación libre en ambos extremos	1.0
4. Traslación impedida en un extremo y rotación impedida en ambos	1.25
5. Traslación y rotación impedidas en un extremo y rotación parcialmente restringida y libertad de traslación en el otro	1.5
6. Traslación y rotación impedidas en un extremo y traslación y rotación libres en el otro	2.0

La longitud efectiva, l, debe tomarse como K L, donde L es la longitud entre puntos de soporte lateral; o para un puntal en voladizo, como su longitud. El valor de K, coeficiente de longitud efectiva para miembros a compresión, debe determinarse a partir del conocimiento de las condiciones en los extremos; la tabla F.7.4.8 sirve de guía.

El valor de  $r$  debe basarse en la sección bruta para todos los miembros

Cuando la sección transversal está total o substancialmente afectada por ablandamiento en la zona afectada por el calor en un extremo restringido al giro de un miembro, tal restricción debe ignorarse para encontrar el valor adecuado de  $K$ . Así, para el caso 1 en la tabla F 7.4.8,  $K$  debería tomarse como 1.0 si la sección está completamente ablandada en cada extremo

#### F.7.4.7.4 - Pandeo torsional

(a) **Excepciones** - La posibilidad de pandeo torsional puede ignorarse para los siguientes casos.

- secciones huecas cerradas
- secciones l doblemente simétricas
- secciones enteramente compuestas de salientes radiantes, esto es, ángulos, secciones T, cruciformes, que se clasifiquen como compactas de acuerdo con F.7.4 3 3.

(b) **Parámetro de esbeltez** - El parámetro  $\lambda$  de esbeltez para pandeo torsional puede obtenerse usando las expresiones F.7-53 o F.7-54 dadas enseguida, o siguiendo el apéndice F.7.H. Debe siempre basarse en el área bruta de la sección

#### Fórmula general

$$\lambda = \pi \left( \frac{EA}{P_{cr}} \right)^{1/2} \quad (F.7-53)$$

donde

- $A$  = área de la sección bruta, sin reducción por pandeo local, ablandamiento en la zona afectada por el calor o agujeros
- $E$  = módulo de elasticidad
- $P_{cr}$  = carga crítica elástica para pandeo torsional, teniendo en cuenta la interacción con el pandeo como columna cuando sea necesario

#### Secciones como las dadas en la tabla F.7.4.9

$$\lambda = k \lambda_t \quad (F.7-54)$$

donde

- $k$  = se lee en la figura F 7 4.11
- $\lambda_t$  = se encuentra de acuerdo con.

- para ángulos, secciones T, cruciformes

$$\lambda_t = \lambda_o \quad (F.7-55)$$

- para canales, sombreros

$$\lambda_t = \frac{\lambda_o}{\left[ 1 + \left( Y \lambda_o^2 / \lambda_x^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (F.7-56)$$

La tabla F.7.4.9 contiene expresiones para  $\lambda_o$  y  $Y$ , y también para  $s$  y  $X$  (necesarios para la figura F 7 4 11).

En F 7-56, la cantidad  $\lambda_x$  debe tomarse como la esbeltez efectiva para pandeo como columna alrededor del eje xx (como se define en la tabla F 7 4 9).

Tabla F.7.4-9  
Parámetros de pandeo torsional para miembros a compresión

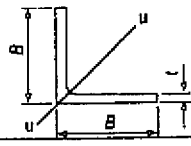
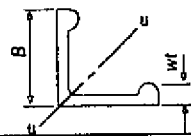
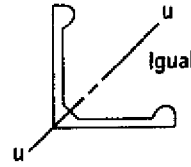
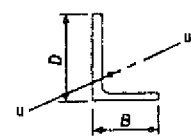
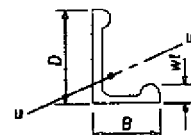
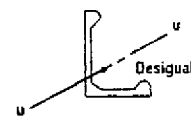
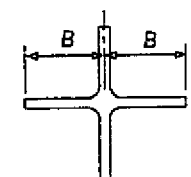
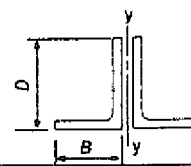
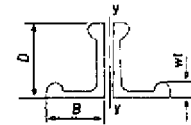
1		$\rho \leq 5$	$\lambda_0 = \lambda_1 = 5B/t - 0.6\rho^{1.5}(B/t)^{1/2}$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ $X = 0.6$
2		$\rho \leq 5$ $1 \leq w \leq 2.5$	$\lambda_0 = \lambda_1 - (w-1)\{2(w-1)^2 - 1.5\rho\}$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ $X = 0.6$
3		NOTA 1	$\lambda_0 = 66$ $s = \lambda_u/\lambda_0$ $X = 0.6$
4		$\rho \leq 5$ $0.5 \leq B/D \leq 1.0$	$\lambda_0 = (D/t)\{4.2 + 0.5(B/D)^2\} - 0.6\rho^{1.5}(D/t)^{1/2}$ $s = s_4 = \{1 + 6(1 - B/D)^2\}(\lambda_u/\lambda_0)$ $X = X_4 = 0.6 - 0.4(1 - B/D)^2$
5		$\rho \leq 5$ $0.5 \leq B/D \leq 1.0$ $1 \leq w \leq 2.5$	$\lambda_0 = \lambda_4 + 1.5\rho(w-1) - 2(w-1)^3$ $s = s_4$ $X = X_4$
6		NOTA 1	$\lambda_0 = 57$ $s = 1.4(\lambda_u/\lambda_0)$ $X = 0.60$
7		$\rho \leq 3.5$	$\lambda_0 = 5.1B/t - \rho^{1.5}(B/t)^{1/2}$ $X = 1$
8		$\rho \leq 5$ $0.5 \leq D/B \leq 2.0$	$\lambda_0 = \lambda_8 = (B/t)\{4.4 + 1.1(D/B)^2\} - 0.7\rho^{1.5}(B/t)^{1/2}$ $s = \lambda_y/\lambda_0$ $X = X_8 = 1.1 - 0.3D/B$
9		$\rho \leq 5$ $0.5 \leq D/B \leq 2.0$ $1 \leq w \leq 2.5$	$\lambda_0 = \lambda_8 + 1.5\rho(w-1) - 2(w-1)^3$ $s = \lambda_y/\lambda_0$ $X = X_8$

Tabla F.7.4.9 (continuación)  
Parámetros de pandeo torsional para miembros a compresión

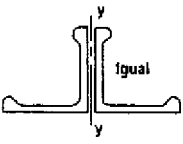
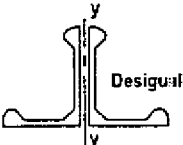
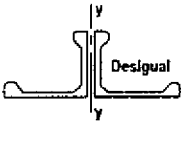
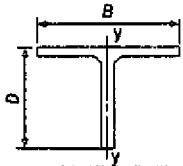
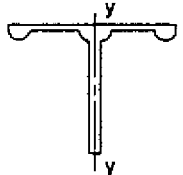
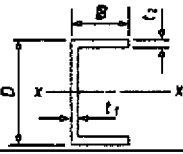
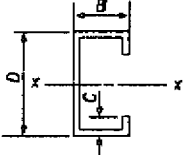
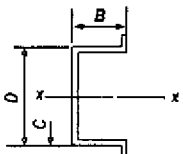
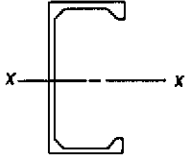
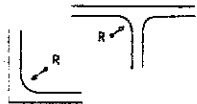
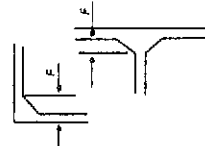
10	 NOTA 1		$\lambda_0 = 70$ $s = (\lambda_y / \lambda_0)$ $X = 0.83$
11	 NOTA 1		$\lambda_0 = 60$ $s = (\lambda_y / \lambda_0)$ $X = 0.76$
12	 NOTA 1		$\lambda_0 = 63$ $s = (\lambda_y / \lambda_0)$ $X = 0.89$
13		$0.5 \leq D/B \leq 2.0$ $\rho \leq 3.5$	$\lambda_0 = (D/t) \{ 1.4 + 1.5(B/D) + 1.1(D/B) \} - \rho^{1.5} (D/t)^{1/2}$ $s = (\lambda_y / \lambda_0)$ $X = 1.3 - 0.8 D/B + 0.2 (D/B)^2$
14			$\lambda_0 = 65$ $s = (\lambda_y / \lambda_0)$ $X = 0.78$
15		$1 \leq D/B \leq 3$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$\lambda_0 = (B/t_2) \{ 7 + 1.5(D/B)(t_2/t_1) \}$ $s = \lambda_x / \lambda_t$ $X = 0.35 D/B - 0.04 (D/B)^2$ $Y = 0.14 - 0.02 D/B - 0.02 t_2/t_1$
16		$1 \leq D/B \leq 3$ $C/B \leq 0.4$	$\lambda_0 = (B/t) \{ 7 + 1.5(D/B) + 5(C/B) \}$ $s = \lambda_x / \lambda_t$ $X = 0.35 D/B - 0.04 (D/B)^2 - 0.25 C/B$ $Y = 0.12 - 0.02 D/B + \{ 0.6(C/B)^2 / (D/B - 0.5) \}$
17		$1 \leq D/B \leq 3$ $C/B \leq 0.4$	$\lambda_0 = (B/t) \{ 7 + 1.5(D/B) + 5(C/B) \}$ $s = \lambda_x / \lambda_t$ $X = 0.35 D/B - 0.04 (D/B)^2$ $Y = 0.12 - 0.02 D/B + \{ 0.05(C/B) / (D/B - 0.5) \}$

Tabla F.7.4.9 (continuación)  
Parámetros de pandeo torsional para miembros a compresión

18	 <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">NOTA 1</p>	$\lambda_0 = 126$ $s = \lambda_x / \lambda_t$ $X = 0.59$ $Y = 0.104$
<p>NOTA 1: Formas de sección reforzada que cumplan con normas como el BS 1161.                  NOTA 2: Las secciones son de espesor uniforme <math>t</math>, excepto los casos 14 y 15.                  NOTA 3: <math>\lambda_u</math>, <math>\lambda</math> y <math>\lambda_x</math> son los parámetros de esbeltez (<math>l/r</math>) para pandeo por flexión respecto a los ejes <math>u</math>, <math>x</math> o <math>y</math>                  NOTA 4: <math>\rho</math> es un coeficiente que depende de la cantidad de material del filete en la raíz de la sección como se indica a continuación:</p> <p style="margin-left: 40px;">Filetes radiados            <math>\rho = R/t</math>                  Filetes a 45°            <math>\rho = 1.6 F/t</math></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p>NOTA 5: Los valores dados para <math>\lambda_0</math>, <math>X</math> y <math>Y</math> son válidos únicamente dentro de los límites mostrados. En el caso de ángulos espalda contra espalda (casos 8 a 12), las expresiones dejan de ser aplicables si la separación entre los ángulos excede <math>2t</math>.</p>		

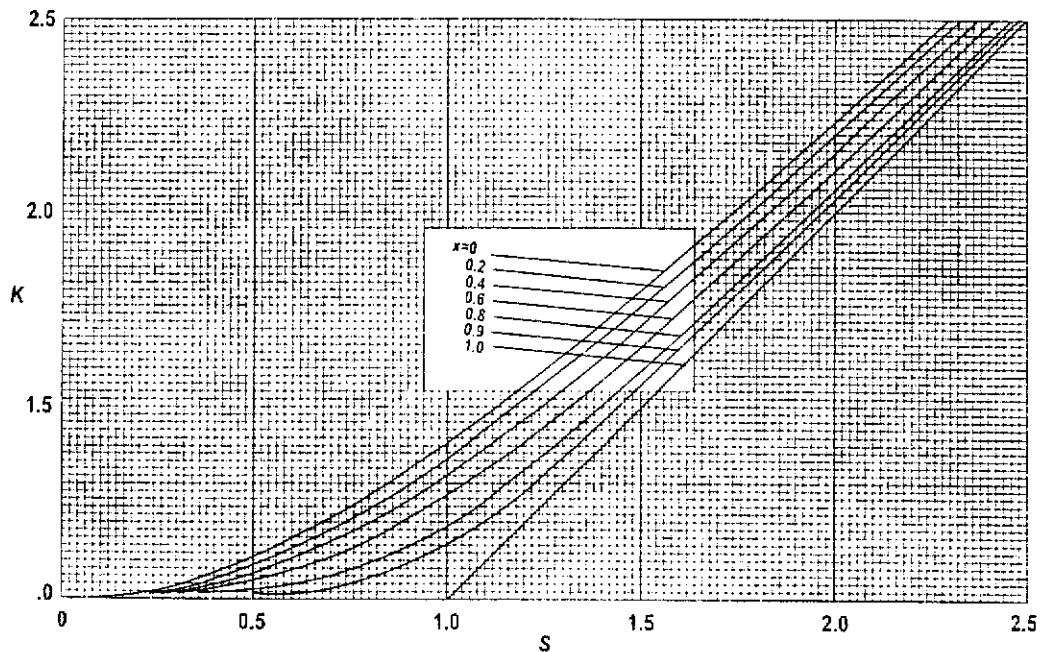
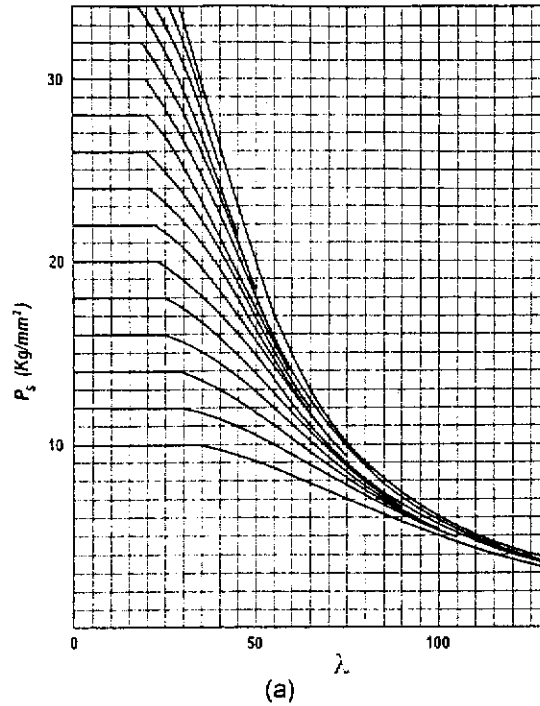
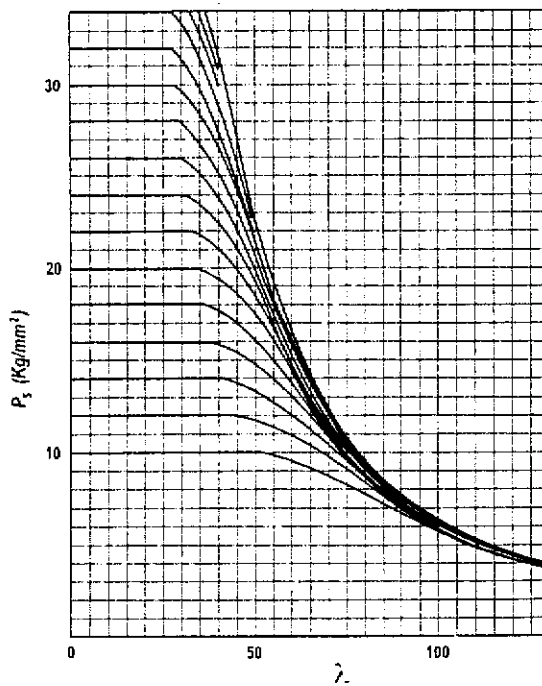


Figura F.7.4.11  
Pandeo torsional de miembros a compresión, coeficiente de interacción  $k$



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

**Figura F.7.4.12**  
Esfuerzo de pandeo torsional para miembros a compresión  $p_s$



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

**Figura F.7.4.12 (b)**  
Esfuerzo de pandeo torsional para miembros a compresión  $p_s$

(c) **Esfuerzo de pandeo** - El valor de  $p_c$  para pandeo torsional debe leerse en la curva apropiada de la figura F.7.4.12, seleccionada de acuerdo con F.7.4.7.5.

**F.7.4.7.5 - Selección de la curva de miembros a compresión** - El esfuerzo de pandeo general  $p_c$  se debe leer de la curva de miembros a compresión apropiada de la figura F.7.4.10 (para pandeo como columna) o de la figura F.7.4.12 (para pandeo torsional). La selección del diagrama debe estar de acuerdo con la tabla F.7.4.10. En cualquier diagrama dado, la curva apropiada es la que encuentra el eje de esfuerzos en un esfuerzo  $p_c$ .

**Tabla F.7.4.10**  
**Selección de la curva para miembros a compresión**

Tipo de pandeo	Miembro no soldado	Miembro soldado
Pandeo de columna: sección simétrica o ligeramente asimétrica sección severamente asimétrica	figura F.7.4.10(a) figura F.7.4.10(b)	figura F.7.4.10(b) figura F.7.4.10(c)
Pandeo torsional generalmente sección compuesta por aletas salientes (véase F.7.4.7.5 (b))	figura F.7.4.12(a) figura F.7.4.12(b)	

**NOTA 1.** Un miembro a compresión debe ser generalmente considerado como soldado, en esta tabla, si contiene soldaduras en una longitud mayor que la mayor dimensión de la sección. Esto se hace haya o no zona afectada por el calor.

**NOTA 2.** Una sección ligeramente asimétrica es aquella para la cual  $y_1/y_2$  es menor o igual a 1.5.  $y_1$  y  $y_2$  son las distancias desde el eje de pandeo a las fibras extremas más lejana y más cercana respectivamente. En otro caso, la sección se debe tratar como severamente asimétrica.

El valor de  $p_c$  debe generalmente determinarse como se indica a continuación (para secciones compuestas por aletas salientes consulte el literal (b) de este numeral).

- sección compacta, sin efectos de zona afectada por el calor  
 $p_c \approx p_o$  (F.7-57)
- otras secciones, generalmente  
 $p_c = (A_e/A) p_o$  (F.7-58)

donde

- $A$  = área bruta de la sección
- $A_e$  = área de la sección efectiva (vease el literal (a) de este numeral)
- $p_o$  = esfuerzo límite para el material (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)

La selección de la curva sobre esta base es válida siempre que el miembro cumpla las tolerancias de rectitud y torcedura establecidas para del material extruído. Cuando exista la posibilidad de que un miembro a compresión fabricado no cumpla estas tolerancias,  $p_c$  debe tomarse como  $s$  veces el valor dado por F.7-57 o F.7-58, donde

$$s = 0.6 + 0.5^{(-0.02\lambda)} \leq 1.0 \quad (F.7-59)$$

(a) **Sección efectiva** - La sección efectiva se aplica a las siguientes secciones de miembros a compresión

- clasificadas como esbeltas
- afectadas por ablandamiento en la zona afectada por el calor
- las dos anteriores



La sección efectiva puede obtenerse tomando el espesor reducido, sin reducción por agujeros, como se enuncia a continuación. Puede basarse en la sección transversal menos favorable (para miembros soldados, véase el literal (c) de este mismo numeral).

**(1) Sección esbelta libre de ablandamiento en la zona afectada por el calor.** El espesor de cualquier elemento se toma como  $k_L$  veces su espesor real  $t$ , donde  $k_L$  se encuentra como indica en F.7.4.3.4. En el caso de elementos reforzados,  $k_L$  debe aplicarse al área del refuerzo tanto como al espesor básico de la lámina.

**(2) Sección compacta con ablandamiento en la zona afectada por el calor.** El espesor de cualquier zona ablandada debe reducirse de manera que se le de un área supuesta de  $k_L$  veces su área real. La extensión de tal zona debe encontrarse como se indica en F.7.4.4.3 y el valor de  $k_L$ , como en F.7.4.4.2.

**(3) Sección esbelta con ablandamiento en la zona afectada por el calor.** Para elementos esbeltos libres de efectos de zona afectada por el calor, el espesor reducido se determina de acuerdo con (1). Para regiones afectadas por el calor no localizadas, en elementos esbeltos, se toma de acuerdo con (2). Si un elemento es esbelto y está afectado por ablandamiento en la zona afectada por el calor, el espesor reducido se toma como el valor menor entre  $k_L t$  y  $k_z t$  en la parte ablandada y como  $k_L t$  en las demás zonas de él.

Las secciones compuestas por aletas salientes se tratan especialmente (en el literal siguiente).

**(b) Secciones compuestas por aletas salientes** - Para secciones tales como ángulos, secciones T y cruciformes, compuestas enteramente por elementos salientes radiantes, los pandeos local y torsional están estrechamente relacionados. Para tales miembros a compresión, el procedimiento a seguir será:

- **Sección que contiene sólo aletas salientes no reforzadas**

(1) Para considerar el pandeo torsional, se puede usar la figura F.7.4.12 (b) para encontrar  $p_1$ , en lugar de la figura F.7.4.12 (a). (El diagrama apropiado para pandeo como columna permanece inalterado).

(2) Para determinar  $p_1$ , que se necesita para seleccionar la curva apropiada en las figuras F.7.4.10 y F.7.4.12, el área  $A_e$  debe basarse en la sección efectiva en la cual la reducción normal se hace por zonas afectadas por ablandamiento causado por el calor pero no hay reducción por pandeo local, esto es, tomar  $k_L=1$ . De este modo, por una sección libre de efectos en la zona afectada por el calor:  $p_1=p_0$ .

- **Sección que contiene aletas salientes con refuerzo en la punta** - Si los elementos salientes en forma de aletas reforzadas son tales que el modo 1 sería crítico en términos de pandeo local (véase el literal (b) de F.7.4.3.2), se sigue el mismo procedimiento descrito para la sección solo aletas salientes no reforzadas. Pero si el modo 2 es el crítico, se debe emplear la figura F.7.4.12 (a) y la sección efectiva se determina como en el literal (a) de este numeral.

**(c) Miembros a compresión que contienen soldaduras localizadas** - La selección de la curva de miembros a compresión para un miembro afectado por ablandamiento en la zona afectada por el calor debe, por lo general, basarse en un valor de  $p_1$  obtenido para la sección más desfavorable, aún cuando tal ablandamiento ocurra sólo localmente a lo largo de la longitud. Esto incluye los efectos de zona afectada por el calor debidos a la soldadura de accesorios temporales.

Sin embargo, cuando tal ablandamiento causado por el calor tiene una cierta localización específica a lo largo de la longitud, su presencia puede ser ignorada para considerar el pandeo general siempre y cuando dicho ablandamiento no se extienda longitudinalmente una distancia mayor que el menor ancho total del miembro. La localización del ablandamiento causado por el calor, para permitir esto, es la posición de curvatura cero o cercana a cero en la forma pandeada del miembro a compresión. Así, para un miembro a compresión restringido al desplazamiento pero no al giro en sus extremos (véase tabla F.7.4.8, caso 3) se puede suponer que la resistencia a pandeo general no se ve afectada por la presencia de zonas de ablandamiento localizadas, si están localizadas en sus extremos. (En tal caso, sería importante hacer la revisión por aplastamiento local).

**F.7.4.7.6 - Aplastamiento local** - La fuerza axial  $P$  bajo carga mayorada no debe exceder la resistencia de diseño  $P_{RS}$  de la sección más desfavorable a lo largo de la longitud del miembro a compresión y determinada así:

(a) sección compacta libre de efectos de zona afectada por el calor

$$P_{RS} = p_a A_n \phi \quad (F.7-60)$$

(b) otras secciones, generalmente

$$P_{RS} = p_a A_{ne} \phi \quad (F.7-61)$$

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 no rellenos
- $A_{ne}$  = área de la sección neta efectiva
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

El área  $A_{ne}$  debe tomarse como  $A_n$  menos una reducción por agujeros no rellenos, donde  $A_n$  es el área efectiva usada para considerar el pandeo general (como columna y torsional), véanse los literales (a) y (b) de F.7.4.7.5. Para agujeros localizados en regiones de espesor reducido, la reducción puede hacerse con base en el espesor reducido en lugar del espesor total.

**F.7.4.7.7 - Secciones híbridas** - En miembros a compresión que contienen materiales base de diferentes resistencias, cada elemento debe ser clasificado de acuerdo con su valor particular de  $p_a$ .

La resistencia  $p_R$  a pandeo general como columna o torsional se puede determinar suponiendo un valor uniforme de  $p_a$  igual al promedio ponderado de los valores de  $p_a$  para las diferentes partes (ponderado de acuerdo con las áreas brutas).

La resistencia al aplastamiento local,  $P_{RS}$ , puede encontrarse sumando la resistencia de las diferentes partes.

**F.7.4.7.8 - Ciertas clases de miembros a compresión excéntricamente conectados**

(a) **Miembros a compresión de un solo vano** - Los siguientes tipos de miembros a compresión excéntricamente conectados pueden ser tratados usando un método simple en lugar del procedimiento de interacción dado en F.7.4.8, siempre y cuando la fijación sea suficiente para prevenir la rotación en el plano del elemento conectado y si no se aplica deliberadamente flexión:

- ángulo simple conectado por un lado únicamente
- ángulos espalda con espalda conectados por un lado de una cartela
- canal simple conectado por su alma únicamente
- T simple conectada por su aleta únicamente

Para éstos se permite, para la revisión por pandeo como columna fuera del plano del elemento o elementos unidos, ignorar la excentricidad de la carga y, en su lugar, tomar una resistencia a compresión axial reducida igual al 40% del valor que se obtendría para carga centroidal usando el radio de giro respecto al eje paralelo a la platina de conexión. La resistencia a pandeo torsional se supone que no se afecta por la excentricidad.

(b) **Miembros a compresión conformados por dos componentes espalda con espalda** - Tales miembros a compresión de doble ángulo, canal o T conectados a cada lado de platinas de conexión en los extremos, se pueden diseñar como miembros monolíticos centroidalmente cargados siempre que lo siguiente ocurra:

- los dos componentes estén seguramente conectados en sus extremos, y
- estén también conectados en los puntos tercios usando espaciadores de igual espesor que la platina de conexión.

**F.7.4.7.9 - Miembros a compresión con presillas** - Las reglas generales para miembros a compresión dadas en F.7.4.7.2 a F.7.4.7.6 no se aplican generalmente a miembros con presillas, éstos deben someterse a un estudio especial. No obstante, si un miembro a compresión con presillas cumple con ciertas condiciones, se permite tratarlo como monolítico y obtener su resistencia en la forma normal.

Para ser tratado como un miembro monolítico, un miembro a compresión con presillas debe satisfacer lo siguiente:

(a) Debe estar cargado axialmente

(b) Debe consistir de dos componentes principales unidos por presillas igualmente espaciadas. La sección transversal debe ser simétrica respecto a un eje normal a las presillas.

(c) Las presillas deben ir generalmente en pares. Sin embargo, si los componentes principales son secciones T o ángulos punta a punta, se permiten presillas simples.

$$(d) \lambda_2 \leq 0.8 \lambda_1 \quad (F.7-62)$$

donde

$\lambda_1, \lambda_2$  = parámetros de esbeltez para pandeo como columna del miembro completo respecto a los ejes paralelo y normal a las presillas respectivamente

$$(e) \lambda_3 \leq 0.7 \lambda_2 \quad (F.7-63)$$

donde

$\lambda_3$  = parámetro de esbeltez para pandeo de uno de los componentes principales entre presillas, basado en el pandeo como columna o torsional, el que sea más crítico.

(f) El sistema de presillas debe diseñarse para resistir una fuerza cortante total  $V$  en el plano de las presillas; tomada como el 2.5% de la fuerza axial en el miembro completo bajo carga mayorada.

(g) La conexión de cada presilla a cada componente principal debe diseñarse para transmitir las siguientes acciones simultáneas bajo carga mayorada:

- un cortante longitudinal de  $Vd/Na$
- un momento de  $Vd/2N$  actuando en el plano de las presillas

donde

$d$  = espaciamiento longitudinal entre centros de presillas

$a$  = espaciamiento de los componentes principales medido hasta los centroides de las conexiones de cada presilla

$N$  = número de presillas en cada posición (1 ó 2)

Para diseñar las presillas es importante considerar los posibles efectos de debilitamiento por pandeo local y ablandamiento en la zona afectada por el calor (si es soldado).

#### F.7.4.8 - FLEXION CON FUERZA AXIAL Y FLEXION BIAxIAL

**F.7.4.8.1 - Generalidades** - Este numeral da las fórmulas de interacción para revisar miembros sujetos a los siguientes casos de acción efecto combinados:

(a) **caso A**, flexión respecto al eje mayor con fuerza axial ( $M_x + P$ )

(b) **caso B**, flexión respecto al eje menor con fuerza axial ( $M_y + P$ )

(c) caso C, flexión biaxial (  $M_x + M_y$  )

(d) caso D, flexión biaxial con fuerza axial (  $M_x + M_y + P$  )

donde

$P$  = fuerza axial bajo carga mayorada

$M_x, M_y$  = momentos uniaxiales respecto de los ejes mayor y menor respectivamente, bajo carga mayorada

En general, se necesitan dos revisiones:

(a) revisión de la sección (véase F.7.4.8.3)

(b) revisión por pandeo general (véase F.7.4.8.4)

La revisión de la sección siempre es necesaria. La revisión por pandeo general puede ser obviada en las siguientes circunstancias:

(1) en el caso A, cuando  $P$  es de tensión y también el miembro está exento de pandeo torsional lateral (véase F.7.4.5.6)

(2) en el caso B, cuando  $P$  es de tensión

En la revisión de la sección, los valores tomados para  $P_{RS}$ ,  $M_{RSx}$  y  $M_{RSy}$  deben tener en cuenta la presencia de agujeros y de ablandamiento en la zona afectada por el calor, donde

$P_{RS}$  = resistencia axial de diseño de la sección transversal, véase F.7.4.6.1 (tensión) o F.7.4.7.6 (compresión)

$M_{RSx}, M_{RSy}$  = resistencias de diseño a momento uniaxial de la sección transversal (véase F.7.4.5.2), ajustadas para tener en cuenta cortante coincidente si es necesario (véase F.7.4.5.4), respecto al eje mayor y menor, respectivamente.

Para hacer la revisión por pandeo general, los valores de  $M_{RSx}$  y  $M_{RSy}$  deben, por lo general, referirse a la sección más desfavorable en el vano considerado, tomando en cuenta el pandeo local y el ablandamiento de la zona afectada por el calor pero ignorando los agujeros. El ablandamiento en la zona afectada por el calor puede ignorarse cuando ocurre en los extremos de la luz, esto quiere decir, no voladizo, vano.

Para secciones exentas de pandeo torsional lateral (véase F.7.4.5.6),  $M_{Rt}$  debe tomarse igual a  $M_{RSx}$ , donde

$M_{Rt}$ , resistencia de diseño a momento para pandeo torsional lateral (véase el literal (a) de F.7.4.5.6)

#### F.7.4.8.2 - Clasificación de la sección y pandeo local bajo acciones combinadas

(a) **Clasificación de la sección** - La sección debe ser clasificada generalmente de acuerdo con F.7.4.3.3 como totalmente compacta, semi-compacta o esbelta.

Para esto, el valor de  $\beta$  para un elemento dado debe basarse en el valor de  $g$  (véase la figura F.7.4.2) correspondiente al patrón de esfuerzos producido en ese elemento cuando todas las acciones (  $P, M_x, M_y$  ) se aplican simultáneamente. Las cantidades  $y_n$  y  $y_c$ , necesarias para la figura F.7.4.2, deben encontrarse usando el eje neutro elástico de la sección bruta bajo las acciones combinadas. sin embargo, para revisar si una sección es totalmente compacta, se permite usar el eje neutro plástico. Se debe tener en cuenta que es posible que el eje neutro elástico quede por fuera de la sección en cuyo caso,  $y_n$  y  $y_c$  tendrían el mismo signo. El método dado en el literal (d) de F.7.4.3.3 para determinar una clasificación más favorable para elementos de aleta subesforzados es aún válido siempre y cuando  $y_n$  y  $y_c$  nuevamente se relacionen con el patrón de esfuerzos bajo las acciones combinadas.

Cualquier sección que resulte totalmente compacta o semi-compacta por el anterior procedimiento, se considera compacta en la obtención de su resistencia axial, no se hace reducción por pandeo local.

**(b) Sección efectiva** - Para un miembro clasificado como esbelto, cada resistencia individual debe encontrarse usando una sección efectiva que se relacione específicamente con la acción considerada ( $P$ ,  $M_x$  o  $M_y$ ), generalmente es diferente para las diferentes acciones. Por lo tanto, cuando se obtiene la resistencia axial, el coeficiente  $k_L$  (véase la figura F.7.4.5) para cada elemento se basa en un valor  $\beta$  para ese elemento correspondiente a un esfuerzo uniforme ( $g=1$ ). Mientras que para hallar la resistencia a momento, se toma un valor  $\beta$  que se relaciona con el patrón de esfuerzo en el elemento cuando la sección está bajo flexión pura.

**F.7.4.8.3 - Revisión de la sección**

**(a) Fórmula general (caso D)** - La sección transversal es adecuada si lo siguiente se satisface en cualquier posición a lo largo de la longitud, todas las seis cantidades se toman como positivas:

$$\frac{P}{P_{RS}} + \frac{M_E}{M_{RSx}} + \frac{M_y}{M_{RSy}} \leq 1.0 \quad (F.7-64)$$

**(b) Otros casos** - Para los casos A, B o C (véase F.7.4.8.1) se debe usar la fórmula F.7-64, con la cantidad apropiada del numerador igualada a cero.

**F.7.4.8.4 - Revisión por pandeo general** - Para miembros sujetos a tensión axial combinada con flexión, la presencia de la fuerza axial debe ser ignorada en la revisión para pandeo general. Para miembros sujetos a compresión axial con flexión, o a flexión biaxial, las fórmulas de interacción apropiadas (véanse los literales (a) a (d) de este numeral) deben ser satisfechas en cualquier longitud no soportada susceptible de pandeo.

Todas las cantidades en las fórmulas de interacción se deben tomar positivas.

**(a) Caso A (flexión respecto al eje mayor con compresión axial)** - Para el caso A, ambas condiciones, siguientes deben cumplirse:

- prevención del pandeo respecto al eje mayor:

$$\frac{P}{P_{Rx}} + \frac{\bar{M}_x}{M_{RSx}} + \frac{P\bar{M}_x}{2P_{Rx}M_{RSx}} \leq 1.0 \quad (F.7-65)$$

- prevención del pandeo respecto al eje menor:

$$\frac{P}{P_{Ry}} + \frac{\bar{M}_x}{M_{Rx}} \leq 1.0 \quad (F.7-66)$$

donde

$\bar{M}_x$  = momento uniforme equivalente respecto al eje mayor, obtenido en el literal (b) de F.7.4.5.6

$P_{Rx}$ ,  $P_{Ry}$  = resistencias axiales de diseños a pandeo como columna general, alrededor de los ejes mayor y menor respectivamente (véanse F.7.4.7.2 y F.7.4.7.3)

**(b) Caso B (flexión respecto al eje menor con compresión axial)** - Para el caso B, se debe satisfacer la siguiente única condición (prevención del pandeo respecto al eje menor):

$$\frac{P}{P_{Ry}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{RSy}} + \frac{P\bar{M}_y}{2P_{Ry}M_{RSy}} \leq 1.0 \quad (F.7-67)$$

donde

$M_x$  = momento uniforme equivalente respecto al menor eje obtenido como en el literal (b) de F.7.4.5.6

(c) **Caso C (flexión biaxial)** - Para el caso C se debe satisfacer la siguiente única condición (prevención del pandeo respecto al eje menor):

$$\frac{\bar{M}_x}{M_{Rx}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{RSy}} \leq 1.0 \quad (\text{F.7-68})$$

(d) **Caso D (flexión biaxial con fuerza axial)** - Para el caso D se debe satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{\bar{M}_x}{M_{RPx}} + \frac{\bar{M}_y}{M_{RPy}} \leq 1.0 \quad (\text{F.7-69})$$

donde

$M_{RPx}$  = valor de  $\bar{M}_x$  que sería aceptable en combinación con P pero en ausencia de flexión respecto al eje menor, como está dado en el **caso B** (valor menor)

$M_{RPy}$  = valor similar de  $\bar{M}_y$  en ausencia de flexión respecto al eje mayor, como está dado en el **caso C**.

**F.7.4.9 - DEFORMACION (ESTADO LIMITE DE SERVICIO)** - La deflexión elástica recuperable bajo carga nominal (no mayorada) no debe exceder el valor límite (véase F.7.3.4).

Si el estado límite último (resistencia estática) se ha satisfecho, usando F.7.4.2 a F.7.4.8, se puede suponer que la deformación inelástica permanente en servicio será despreciable. Generalmente no se requiere una revisión por separado para esto.

#### F.7.4.9.1 - Deflexión elástica recuperable

(a) **Secciones compactas** - La deflexión elástica de estas secciones puede calcularse usando las propiedades de la sección bruta, ignorando los agujeros y los efectos de zona afectada por el calor. Para vigas esto se aplica para secciones totalmente compactas y semi-compactas.

(b) **Secciones esbeltas** - Los cálculos de deflexión deben ser realizados generalmente usando las propiedades de la sección calculadas para una sección efectiva que tiene en cuenta el pandeo local pero ignora cualquier efecto de ablandamiento causado por el calor o de agujeros. La sección efectiva supuesta puede tomarse conservadoramente con base en el espesor reducido como está dado en el literal (c.1) de F.7.4.5.2 para flexión o en el literal (a.1) de F.7.4.7.5 para compresión axial, también puede adoptarse el siguiente procedimiento más favorable.

- Reclasificar un elemento esbelto usando un valor modificado de  $\epsilon$  en el literal (c) de F.7.4.3.3, obtenido tomando  $p_u$  igual a 2/3 del valor normal dado en las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2.
- Si la sección ya no resulta ser esbelta, se toman las propiedades de la sección bruta.
- Si después de la reclasificación, resulta aún esbelta, se supone una nueva sección efectiva basada en los valores de  $k_t$  encontrados usando el valor modificado de  $\epsilon$  de (a) en la figura F.7.4.5.

## F.7.5 - LAMINAS Y VIGAS ENSAMBLADAS

**F.7.5.1 - GENERALIDADES** - Esta sección cubre la resistencia estática (estado límite último) de los siguientes componentes estructurales:

(a) láminas no rigidizadas (véase F.7.5.2 y la figura F.7.5.1)

(b) láminas multi-rigidizadas (véase F.7.5.3 y la figura F.7.5.2)

(c) vigas ensambladas (véase F.7.5.4 y la figura F.7.5.3)

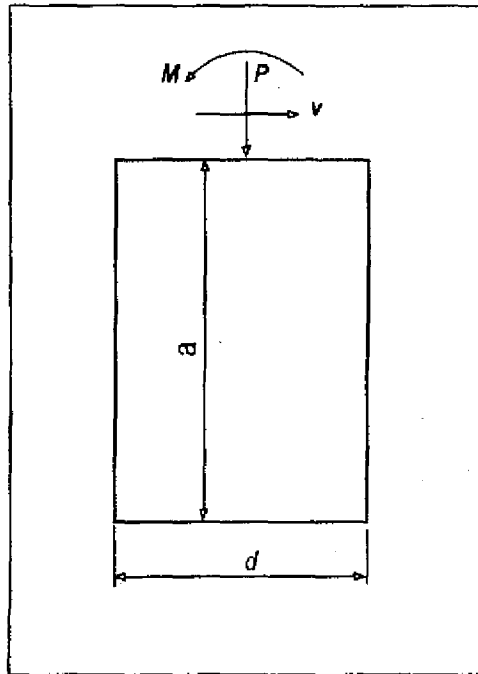


Figura F.7.5.1  
Lámina no rigidizada

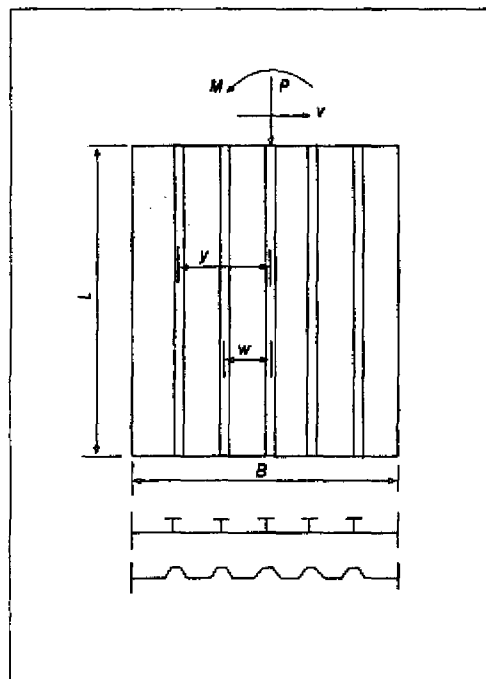


Figura F.7.5.2  
Lámina multi-rigidizada

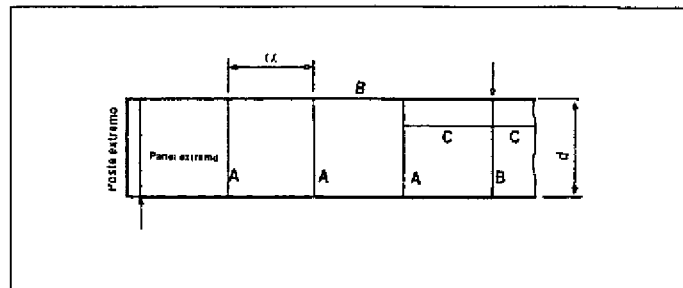


Figura F.7.5.3  
Viga ensamblada

Para (a) y (c), la resistencia obtenida tiende a ser más favorable que la basada en las reglas más simples de F.7.4, especialmente si se consideran láminas o almas esbeltas de baja relación de  $(a/d)$ . El numeral F.7.4 no cubre las láminas multi-rigidizadas.

**F.7.5.2 - LÁMINAS NO RIGIDIZADAS** - Las láminas no rigidizadas sujetas a esfuerzo directo pueden diseñarse de acuerdo con F.7.5.2.1 a F.7.5.2.3, las sujetas a cortante, según F.7.5.2.4. Los efectos de interacción se discuten en F.7.5.2.5

El espesor de la lámina se denominará  $t$  para todos los casos

**F.7.5.2.1 - Láminas no rigidizadas bajo esfuerzo directo** - La resistencia de una lámina a compresión uniforme en su plano,  $P$ , actuando en la dirección mostrada en la figura F.7.5.1, se describe en los literales (a) a (c) de este numeral

(a) **Clasificación** - La lámina se debe clasificar de acuerdo con lo siguiente

$\beta \leq \beta_1$	totalmente compacta
$\beta_1 < \beta \leq \beta_0$	semi-compacta
$\beta > \beta_0$	esbelta

donde

$$\beta = d / t \quad (F.7-70)$$

$\beta_0$  y  $\beta_1$  dadas en la tabla F.7.4.3

(b) **Láminas totalmente compactas y semi-compactas** - La resistencia axial de diseño  $P_{RS}$  a compresión uniforme debe basarse en la sección transversal menos favorable como se indica a continuación:

totalmente compacta	$P_{RS} = p_a A_{ne} \phi$	(F.7-71)
semi-compacta	$P_{RS} = p_0 A_{ne} \phi$	(F.7-72)

donde

$p_a$  y  $p_0$  = esfuerzos límite (véase las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)

$A_{ne}$  = área neta efectiva teniendo en cuenta los agujeros y tomando un espesor reducido  $k_1 t$  en cualquier región afectada por ablandamiento debido al calor (véanse F.7.4.4.2 y F.7.4.4.3)

$\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

(c) **Láminas esbeltas** - Se debe hacer una revisión por fluencia y otra por pandeo tomando los siguientes valores para la resistencia axial de diseño  $P_{RS}$ .

- **Revisión por fluencia.** Para una lámina semi-compacta,  $P_{RS}$  se obtiene como en el literal (b) de este numeral ignorando el pandeo
- **Revisión por pandeo**