

secciones o productos se hacen por trefilado, formado o laminado con rodillos, estas operaciones pueden requerir maquinaria especial.

**Tabla F.7.2.8**  
**Selección de alambres y varillas de metal de aporte para soldadura de gas inerte**  
**Combinación de metal base <sup>1)</sup>**

Primera parte	Segunda parte							
	LM5 Fundiciones	LM6 LM5 Fundiciones	3103 3105	1200	7020	6061 6063 6082	5154 5251 5454	5083
5083	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	NR <sup>3)</sup>	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	5556A Tipo 5 5556A	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	5556A Tipo 5 Tipo 5
5154A 5251 5454	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	NR <sup>2)</sup>	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 <sup>3)</sup> Tipo 5	
6061 6063 6082	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 4/5 Tipo 4 Tipo 4		
7020	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	NR <sup>2)</sup>	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	5556A Tipo 5 Tipo 5			
1200	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4	Tipo 4 Tipo 3/4 Tipo 4	Tipo 1 <sup>4)</sup> Tipo 1 Tipo 1 <sup>1)</sup>				
3103 3105	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4	Tipo 3 <sup>4)</sup> Tipo 3 Tipo 3 <sup>4)</sup>					
LM6 LM25 Fundiciones	NR <sup>2)</sup>	Tipo 4 Tipo 4 Tipo 4						
LM5 Fundiciones	Tipo 5 Tipo 5 Tipo 5							

- 1) Los metales de aporte para la combinación base a soldar se muestran en una casilla localizada en la intersección de la fila con la columna del metal base. En cada casilla, la primera línea corresponde al metal de aporte que brinda la máxima resistencia, en el caso de aleaciones 6\*\*\* y 7020, este valor está por debajo de la resistencia con tratamiento térmico completo del metal base; en la línea media, aparece el metal de aporte que da la máxima resistencia a la corrosión, y en la última línea, se muestra el metal de aporte que no presenta agrietamiento de la soldadura persistente.
- 2) NR = No recomendado. La soldadura de aleaciones que contienen aproximadamente 2% o más de Mg con metal de aporte de Al-Si (5% a 12% Si) (y viceversa) es desaconsejable ya que se forma suficiente precipitado de Mg<sub>2</sub>Si en la frontera de fusión como para hacer frágil la unión.
- 3) El comportamiento frente a la corrosión del metal de aporte es mejor si su aleación tiene un contenido cercano al del metal base y no es marcadamente superior. Esto quiere decir que, para servicio en potencialmente corrosivos, es preferible soldar 5154A con metal de aporte 5154A o soldar 5454 con metal de aporte 5554. Sin embargo, en algunos casos esto sólo es posible a expensas de la profundidad de la soldadura.
- 4) Si es esencial tener una resistencia mayor y/o una resistencia al agrietamiento mayor, se puede usar metal de aporte tipo 4.

NOTA Véase la tabla F.7.2.4 para hallar las aleaciones particulares del metal de aporte de cada tipo de aleación.

Tabla F.7.2.9  
Disponibilidad de formas de producto

Tabla 2.9 Disponibilidad de formas de producto										
Aleación	Planchas	Láminas y tiras	Secciones extruidas				Tubería extruida	Tubería soldada longitudinalmente	Piezas forjadas	Piezas coladas
			Espesor mayor de 6 mm	Espesor menor o igual a 6 mm	Barras sólidas y formas simples	Secciones complejas y especiales				
1200	L	L 1)	S				S			
3103	O	L								
3105		O								
5083	L	L	S				S		O	
5154A	O	O	S				S		O	
5251	L	L	S				S	L	O	
5454	L	L	S				S			
6061	S	S	O	O	O	O	O			
6063			L	L	L	O	O		O	
6082	L 2)	L	L	O	L	O	O		O	
7020	O	O	S		S			S		
LM5									O	
LM6									O	
LM25									O	

L Producto estándar fabricado bajo pedido en un rango limitado de tamaños.  
 O Producto estándar fabricado bajo pedido  
 S Producto normalmente no fabricado en esa aleación pero con posibilidades de estar disponible por pedido es  
 Un espacio en blanco indica que el producto no está disponible  
 1) Incluye láminas y planchas con indentaciones o resaltes.  
 2) Incluye plancha indentada  
 NOTA. Ciertas propiedades mecánicas se dan en las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2.

Tabla F.7.2.10  
Rango de tamaños de secciones extruidas más comúnmente disponibles

Tipo de sección	Rango de tamaño mm
Angulos de lados iguales	30x30 a 120x120
Angulos de lados desiguales	50x38 a 140x105
Canales	60x30 a 240x100
Secciones T	50x38 a 120x90
Secciones I	60x30 a 160x80
Angulos con bulbos iguales	50x50 a 120x120
Angulos con bulbos desiguales	50x37.5 a 140x105
Canales con pestañas	80x40 a 140x70
Secciones T con bulbos	90x75 a 180x150

**F.7.2.7.2 - Tubería** - Los tubos pueden producirse por extrusión, por trefilado o por soldadura de costura. La tubería está disponible, en algunas de estas formas, en un rango limitado de tamaños pero, por lo general, son fabricados bajo pedido, véase la tabla F.7.2.9.

**F.7.2.7.3 - Lámina delgada, tiras y planchas** - Normalmente, un amplio rango de lámina delgada, tiras y planchas se consigue con facilidad en las aleaciones estándares (véase la tabla F.7.2.9). Algunas aleaciones se encuentran disponibles en forma de láminas o planchas con indentaciones o resaltes. Hay un amplio rango

de productos estándares laminados para revestimiento y techado, algunos de los cuales se consiguen fácilmente en cantidades moderadas, con el acabado de la laminadora o pintados, pero la mayoría son producidos bajo pedido.

**F.7.2.7.4 - Piezas forjadas** - Las piezas forjadas a mano o con matriz se suministran bajo pedido. Las primeras normalmente requieren trabajo adicional para lograr las dimensiones requeridas mientras que las últimas son producidas con las dimensiones definidas. Las matrices para forjado son relativamente costosas y los costos deben incluir al menos la fabricación de una pieza forjada y el corte para revisar el flujo o distribución del grano para probar que la matriz puede ser usada para piezas estructurales forjadas.

**F.7.2.7.5 - Piezas coladas** - Se suministran bajo pedido piezas coladas con arena o de enfriamiento rápido. Las piezas coladas con arena se producen con moldes de costo moderado y se usan normalmente para la producción en pequeñas cantidades. Las piezas coladas de enfriamiento rápido se usan generalmente en la producción de cantidades mayores y cuando se necesitan altas tasas de productividad, también son preferidas cuando se requiere buen acabado superficial y buena exactitud en las medidas. El costo de la maquinaria puede ser alto, especialmente para matrices que deben soportar presión.

### F.7.3 - PRINCIPIOS DE DISEÑO

**F.7.3.1 - DISEÑO PARA ESTADOS LIMITE** - Las estructuras de aluminio se diseñarán considerando los estados límite para los que pueden llegar a ser inapropiadas durante su uso futuro. Se deben considerar siempre los siguientes estados límite.

- resistencia estática (estado límite último) (véase F.7.3.3)
- deformación (estado límite de servicio) (véase F.7.3.4)
- durabilidad (véase F.7.3.5)

En ciertas estructuras es necesario considerar uno o ambos de los siguientes estados:

- fatiga (véase F.7.3.6)
- vibración (véase F.7.3.7)

El diseño se realizará usando la guía dada en F.7.4 a F.7.7 y en los apéndices F.7.B a F.7.J. Sin embargo, se permite verificar un diseño propuesto por medio de ensayos (véase F.7.8).

**F.7.3.2 - CARGAS** - Las estructuras de aluminio se diseñarán para las cargas estipuladas en el Título B. Se estudiarán las combinaciones de carga prescritas en B.2.6.2.

**F.7.3.3 - RESISTENCIA ESTÁTICA** - Un componente es aceptable en términos de resistencia estática si se satisface que.

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i$$

en donde:

- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad, estipulado en la tabla F.7.3.1
- $\gamma_i$  = coeficiente de mayoración para la carga  $i$
- $Q_i$  = acción sobre la estructura que resulta de la aplicación de la carga  $i$
- $R_n$  = resistencia nominal de un miembro estructural, calculada con base en procedimientos establecido en este capítulo

**F.7.3.3.1 - Acción-efecto bajo carga mayorada** - Esto es la fuerza axial, el momento flector o la fuerza cortante generada en un componente por la aplicación de una carga mayorada y encontrada usando un procedimiento de análisis estructural aceptado. La carga mayorada se encuentra tomando las cargas estipuladas en el Título B y multiplicando cada una por el coeficiente de mayoración, establecido en B.2.6.2.

**F.7.3.3.2 - Resistencia de diseño** - La resistencia de diseño se define como el producto de la resistencia nominal por el coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$ . La resistencia nominal es la capacidad del componente en relación con la acción estructural en consideración (carga axial, momento flector, fuerza cortante, etc ), calculada con base en un procedimiento de análisis reconocido en este capítulo

El coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  tiene en cuenta las diferencias entre la resistencia real de un miembro estructural y su resistencia nominal, causadas por variaciones en propiedades del material, tolerancias de fabricación y aproximaciones en el análisis. En estructuras de aluminio se utilizarán los coeficientes de reducción establecidos en la tabla F.7.3.1.

**Tabla F.7.3.1**  
**Coeficientes de reducción de capacidad,  $\phi$**

Tipo de construcción	$\phi$	
	Miembros	Uniones
Remachada y emperrada	0.8	0.8
Soldada	0.8	0.75 *
Pegada	0.8	0.3

\* Debe usarse 0.6 en procedimientos de soldadura que no cumplan con las normas correspondientes

En F.7.4, F.7.5 (miembros) y F.7.6 (uniones), se dan las reglas para establecer la resistencia calculada

**F.7.3.4 - DEFORMACION** - Con fines de aceptación las deflexiones de una estructura de aluminio se calcularán para las cargas de servicio y las combinaciones de carga estipuladas en B.2.3

**F.7.3.4.1 - Deformación elástica recuperable** - Una estructura es aceptable en términos de deformación si su deflexión elástica bajo carga de servicio es menor que la deflexión límite.

El cálculo de la deflexión elástica hará generalmente con base en las propiedades de la sección transversal bruta. Sin embargo, en secciones esbeltas puede ser necesario tomar las propiedades de la sección reducida para tener en cuenta el pandeo local (véase F.7.4)

**Tabla F.7.3.2**  
**Deflexiones límites**

Elemento	Deflexión límite recomendada (véase nota)
Voladizos que soportan pisos	L/180
Vigas con acabado de yeso u otro material frágil	L/360
Viguetas y rieles de cubiertas	
(a) carga muerta únicamente	L/200
(b) bajo la peor combinación de carga muerta, impuesta, viento y nieve	L/100
Largueros y travesaños de paredes cortina	
(a) vidrio sencillo	L/175
(b) vidrio doble	L/250
Parte superior de columnas deflexión horizontal	L/300

NOTA

L es la longitud entre apoyos

La deflexión límite debe basarse en criterios racionales de ingeniería y se evaluará para condiciones de servicio con las combinaciones de carga estipuladas en el numeral B.2.3. La tabla F.7.3.2 da valores sugeridos para ciertos tipos de estructuras. En la definición de las deflexiones límites debe tenerse en cuenta que el aluminio es tres veces más flexible que el acero y por lo tanto, se debe evitar usar deflexiones límites excesivamente pequeñas.

**F.7.3.4.2 - Deformación inelástica permanente** - Por lo general, se puede suponer que los componentes cuya resistencia estática ha sido calculada de acuerdo con F.7.4, no sufrirán deformación permanente significativa bajo la acción de la carga nominal. Esto se puede aplicar a todos los grupos de aleaciones.

**F.7.3.4.3 - Distorsión debida a ensamble frecuente** - En ciertas estructuras que tienen que ser armadas y desarmadas frecuentemente, es necesario considerar la posibilidad de cambios en las dimensiones principales del sistema de acople que conducen a la aparición gradual de errores inaceptables en la forma ensamblada.

**F.7.3.5 - DURABILIDAD** - La clasificación de durabilidad de los grupos de aleaciones se da en las tablas F 7 2.1 a F 7 2 4. Si una estructura se diseña en una aleación durable y se protege adecuadamente de acuerdo con normas como el BS 8118: Parte 2, se estima que se comportará satisfactoriamente. Se deben considerar el grado de exposición y la vida de diseño.

### F.7.3.6 - FATIGA

**F.7.3.6.1 - Generalidades** - Cualquier estructura o componente estructural que esté sometida a variaciones significativas de la carga, debe ser revisada por fatiga. Se deben considerar dos estados límite:

- (a) colapso total
- (b) crecimiento estable de grietas (tolerancia de daño)

En ambos casos se supone que actúa el espectro de carga de servicio (no mayorado).

**F.7.3.6.2 - Colapso total** - El procedimiento para considerar este estado límite es determinar la vida prevista de acuerdo con F.7.7 y verificar que no sea menor que la vida de diseño. En ciertas circunstancias, el diseñador puede desear incrementar la vida de diseño nominal multiplicando por un coeficiente de vida por fatiga  $\gamma_{mf}$  ( $>1$ ). La selección de  $\gamma_{mf}$  puede verse influenciada por lo siguiente:

- (a) la posibilidad de que se incremente el crecimiento de grietas durante etapas posteriores de la vida del detalle
- (b) la exactitud del espectro de carga supuesto
- (c) si se mantendrán registros de carga durante la vida del detalle
- (d) la posibilidad de un cambio de uso de la estructura durante su vida

El diseñador puede también desear aplicar un coeficiente de fatiga del material,  $\gamma_{mf}$ , para el rango de esfuerzos de diseño dado en la figura F.7 9. El rango de esfuerzos de diseño se dividiría por  $\gamma_{mf}$  ( $>1$ ) y la selección de  $\gamma_{mf}$  podría estar influenciada por lo siguiente:

- (1) el detalle deberá existir en un ambiente muy hostil
- (2) si la falla del detalle resultaría en la falla de la estructura entera o si existen caminos alternativos para la carga

**F.7.3.6.3 - Crecimiento estable de grietas** - El daño de una estructura bajo condiciones de fatiga se determina monitoreando la tasa de crecimiento de las grietas de fatiga con intervalos de inspección regulares. Los métodos de inspección, las longitudes de grieta límite aceptables, las tasas admisibles de crecimiento de las grietas y el tiempo entre inspecciones deben ser acordados por el diseñador y el cliente. El crecimiento de grietas es estable cuando la tasa admisible de crecimiento de las grietas no se incrementa súbitamente entre inspecciones.

Los métodos para calcular el crecimiento de grietas y la longitud límite de las grietas están por fuera del alcance de estas normas pero la facilidad con que un detalle puede ser inspeccionado buscando grietas puede influir en la selección de  $\gamma_{mf}$  (véase F 7 3 6 2).

**F.7.3.7 - VIBRACIÓN** - Para ciertas estructuras la posibilidad de vibración indeseable bajo condiciones normales de servicio debe ser considerada. Se deben usar las cargas nominales para hacer la verificación de la incompatibilidad de las amplitudes de vibración. Si se cree que la vibración puede ser un problema potencial, se debe verificar también la posibilidad de falla por fatiga (véase F.7.3.6).

**F.7.3.8 - ENSAYOS** - Los componentes estructurales diseñados de acuerdo con F.7.4 a F.7.7 y los apéndices apropiados pueden ser aceptados sin ensayos. Los componentes diseñados usando otros procedimientos de cálculo y los componentes no calculados deben ser aceptados sólo si su resistencia ha sido verificada con ensayos. Tales ensayos deben ser ejecutados de acuerdo con F.7.8.

## F.7.4 - DISEÑO ESTÁTICO DE MIEMBROS

**F.7.4.1 - GENERALIDADES** - Todos los miembros deben satisfacer los estados límite de resistencia estática y de deformación. En F.7.4.9 se trata la deformación.

Cuando se hace referencia a curvas de diseño, se permite, en su lugar, usar las fórmulas con las que se derivaron dichas curvas (véase el apéndice F.7.1).

Los miembros están usualmente formados por extrusiones, planchas, láminas delgadas, tuberías o una combinación de ellos. Las normas siguientes no se aplican a piezas coladas y, por lo tanto, los diseñadores que deseen emplear este tipo de piezas deben consultar con los fabricantes al respecto.

**F.7.4.1.1 - Estado límite de resistencia estática** - La resistencia de diseño de un miembro frente a una acción-efecto específica no debe ser menor que la magnitud de dicha acción-efecto generada bajo carga mayorada. A continuación se dan las reglas para obtener la resistencia frente a diferentes acciones:

- (a) para vigas (resistencia a momento y fuerza cortante) (véase F.7.4.5)
- (b) para riostras (resistencia a tensión axial) (véase F.7.4.6)
- (c) para puntales (resistencia a compresión axial) (véase F.7.4.7)

En F.7.4.8 se define el procedimiento para calcular la interacción de momento y carga axial en miembros sujetos a acciones combinadas.

Las fórmulas dadas contienen los esfuerzos límites ( $p_u$ ,  $p_s$ ,  $p_v$ ) relacionados con las propiedades del material y que deben ser tomados de acuerdo con F.7.4.2. También contienen el coeficiente de reducción de capacidad  $\phi$  que debe ser leído en la tabla F.7.3.1.

La resistencia de un miembro puede reducirse como resultado del pandeo local, dependiendo de la esbeltez de la sección transversal. Un diseño propuesto se revisa (excepto para miembros bajo tensión axial) clasificando la sección en términos de su susceptibilidad a este tipo de falla. En F.7.4.3, se da un método para verificar el pandeo local incluyendo la clasificación de la sección.

**F.7.4.1.2 - Zonas afectadas por el calor** - El material de aluminio estructural generalmente se debilita en la zona afectada por el calor adyacente a las soldaduras y esto debe ser tenido en cuenta en el diseño. No es necesario aplicar esto cuando el material base está en la condición O ó T4, o cuando está en la condición F y el diseño se basa en las propiedades de la condición O.

En F.7.4.4, se dan reglas para estimar la severidad y extensión del ablandamiento en la zona afectada por el calor y los numerales siguientes muestran cómo tener en cuenta el efecto de este ablandamiento en la resistencia del miembro.

Es importante darse cuenta de que una soldadura pequeña como la que se usa, por ejemplo, para colocar un pequeño aditamento, puede causar una reducción considerable en la resistencia del miembro debido al ablandamiento de parte de la sección transversal. En vigas, es a menudo benéfico localizar las soldaduras en áreas de bajo esfuerzo como, por ejemplo, cerca del eje neutro o lejos de la región de momento pico.

**F.7.4.1.3 - Diseño avanzado** - Los miembros pueden ser diseñados para un comportamiento seguro usando las recomendaciones de esta sección y algunos apéndices apropiados. Otros apéndices tratan profundamente ciertos aspectos específicos del comportamiento del miembro y pueden conducir a diseños más livianos.

**F.7.4.2 - ESFUERZOS LIMITES** - Los cálculos de resistencia para miembros se hacen suponiendo los siguientes esfuerzos límites:

- $p_o$  = esfuerzo límite para flexión y fluencia total
- $p_a$  = esfuerzo límite para capacidad local de la sección a tensión o compresión
- $p_v$  = esfuerzo límite a cortante
- $p_s$  = esfuerzo límite para estabilidad al pandeo general

Los valores de  $p_o$ ,  $p_a$  y  $p_v$  dependen de las propiedades del material y deben ser tomados de acuerdo con las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2. Para materiales no cubiertos en estas tablas, refiérase al apéndice F.7.C.

Los valores de  $p_s$  deben determinarse de acuerdo con F.7.4.5.6(c) o F.7.4.7.5.

**Tabla F.7.4-1**  
Esfuerzos límite, aleaciones tratadas en caliente

Aleación	Condición	Producto	Espesor		Esfuerzo límite		
			Desde	Hasta	$p_o$	$p_a$	$p_v$
			mm	mm	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>
6061	T6	Extrusión	-	150	24	26.0	14.5
	T6	Tubería extruida	-	6	24	26.5	14.5
			6	10	22.5	26.0	13.5
6063	T4	Extrusión	-	150	6.5	8.5	4.0
	T4	Tubería extruida	-	10	9.5	12.0	6.0
	T4	Forjados	-	150	8	10.0	5.0
	T5	Extrusión	-	25	11	13.0	6.5
	T6	Extrusión	-	150	16	17.5	9.5
	T6	Tubería extruida	-	10	18	19.0	11.0
	T6	Forjados	-	150	16	17.0	9.5
6082	T4	Extrusión	-	150	11.5	14.5	7.0
	T4	Lámina	0.2	3	11.5	14.5	7.0
	T4	Plancha	3	25	10.5	14.0	6.5
	T4	Tubería extruida	-	10	10.5	14.0	6.5
	T4	Forjados	-	150	11.5	14.5	7.0
	T6	Extrusión	-	20	25.5	27.5	15.5
			20	150	27	29.0	16.0
	T6	Lámina	0.2	3	25.5	27.5	15.5
	T6	Plancha	3	25	24	26.5	14.5
	T6	Tubería extruida	-	6	25.5	28.0	15.5
			6	10	24	27.5	14.5
	T6	Forjados	-	120	25.5	27.5	15.5
	7020	T4	Extrusión	-	25	18.5	23.0
T4		Lámina, plancha	0.2	25	16	20.5	9.5
T6		Extrusión	-	25	28	31.0	17.0
T6		Lámina, plancha	0.2	25	27	29.5	16.0

**Tabla F.7.4.2**  
**Esfuerzos límite, aleaciones no tratadas en caliente**

Aleación	Condición	Producto	Espesor		Esfuerzo límite		
			Desde	Hasta	$P_o$	$P_a$	$P_v$
			mm	mm	kg/mm <sup>2</sup>		
1200	H14	Lámina	0.2	12.5	9.0	9.5	5.5
3103	H14	Lámina	0.2	12.5	11.0	12.0	6.5
	H18	Lámina	0.2	3	15.0	15.0	9.0
3105	H14	Lámina	0.2	3	14.5	15.0	8.5
	H16	Lámina	0.2	3	17.0	17.5	10.0
	H18	Lámina	0.2	3	19.0	20.0	11.5
5083	O, F	Extrusión	-	150	10.5	15.0	6.5
	O	Lámina, plancha	0.2	80	10.5	15.0	6.5
	O	Tubería extruida	-	10	10.5	15.0	6.5
	F	Lámina, plancha	3	25	13.0	17.0	7.5
	H22	Lámina, plancha	0.2	6	23.5	27.0	14.0
	H22	Tubería extruida	-	10	23.5	27.0	14.0
5154A	O, F	Extrusión	-	150	6.5	10.0	4.0
	O	Lámina, plancha	0.2	6	6.5	10.0	4.0
	O	Tubería extruida	-	10	6.5	10.0	4.0
	H22	Lámina, plancha	0.2	6	16.0	20.0	9.5
	H24	Lámina, plancha	0.2	6	22.5	25.0	13.5
5251	F	Tubería extruida	-	10	20.0	22.0	18.0
	H22	Tubería soldada	0.8	2.0	22.0	23.0	13.0
	H24	Lámina, plancha	0.2	6	12.5	15.5	7.5
5454	O, F	Lámina, plancha	0.2	6	17.5	20.0	10.5
	O	Extrusión	-	150	6.5	10.0	4.0
	F	Lámina, plancha	0.2	6	6.0	9.5	3.5
	H22	Lámina	0.2	3	18.0	21.5	11.0
	H24	Lámina	0.2	3	20.0	23.5	12.0

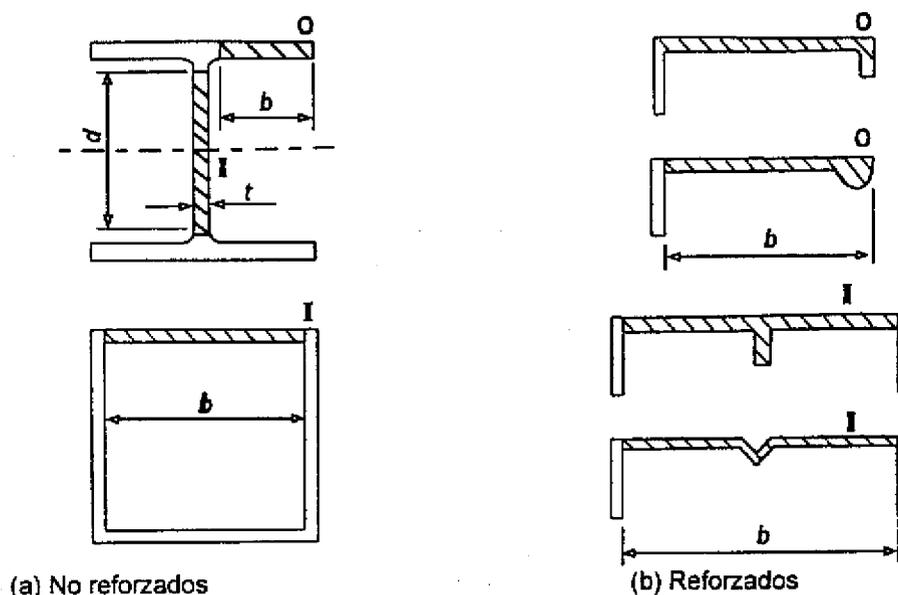
### F.7.4.3 - CLASIFICACION DE LA SECCION Y PANDEO LOCAL

#### F.7.4.3.1 - Generalidades

(a) **Clasificación de la sección** - La resistencia de los miembros sometidos a momento o compresión axial puede reducirse por pandeo local si la esbeltez de sus elementos componentes es alta. El primer paso en la verificación de tales miembros es establecer la clasificación de la sección, esto es, su susceptibilidad al pandeo local. Para hacerlo, y también para tener en cuenta el efecto del pandeo local (cuando sea necesario), el diseñador debe considerar la esbeltez de los elementos individuales que componen la sección.

(b) **Tipos de elementos** - Se identifican los siguientes tipos básicos de elementos de pared delgada: elemento plano saliente, elemento plano interno y elemento curvo interno.

Estos son, a menudo, no reforzados, o sea que no son rigidizados longitudinalmente (véase la figura F.7.4.1(a)). La estabilidad de elementos planos puede mejorarse bastante mediante la colocación de costillas rigidizadoras longitudinales o pestañas, véase la figura F.7.4.1(b) en cuyo caso los elementos se denominan reforzados.



**Convenciones**

O : saliente

I : interno

**Figura F.7.4.1**  
**Tipos de elementos planos**

(c) **Almas sometidas a cortante** - El pandeo de almas a cortante se trata por separado (véase el literal (c) de F.7.4.5.3 y F.7.5).

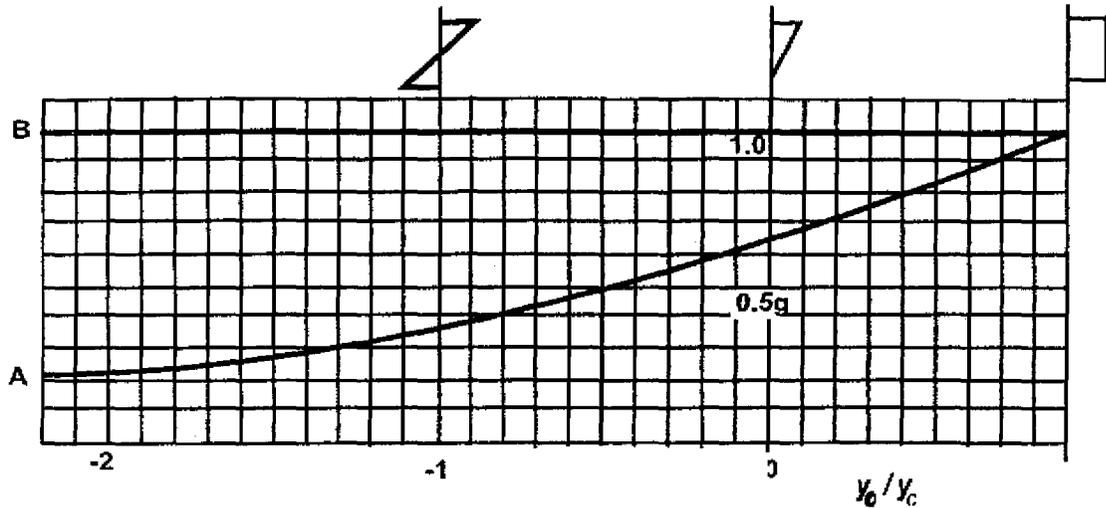
**F.7.4.3.2 - Parámetro de esbeltez  $\beta$**  - La susceptibilidad al pandeo local de un elemento de una viga (resistencia a momento) o en un miembro a compresión (resistencia a fuerza axial) depende del parámetro  $\beta$  como se define en los literales (a) a (d) de este numeral.

(a) **Elementos planos no reforzados** - El parámetro  $\beta$  depende de la relación  $b/t$  o  $d/t$  del elemento considerado;  $t$  es el espesor del elemento,  $b$  es generalmente el ancho del elemento y  $d$  es la altura del elemento del alma en una viga. Los valores de  $b$  y  $d$  deben ser tomados como el ancho del elemento plano medido hasta el comienzo de un filete o hasta el borde de una soldadura.

$\beta$  se define como sigue:

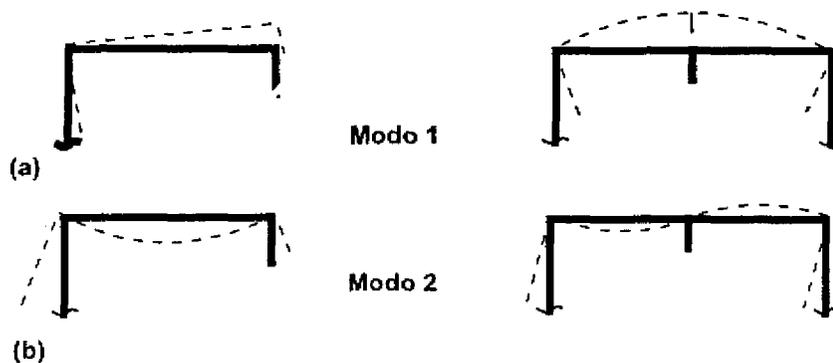
- elemento sometido a compresión uniforme  $\beta = b / t$
- elemento sometido a un gradiente de esfuerzos:
  1. elemento interno con un gradiente de esfuerzos que resulta en un eje neutro en el centro  $\beta = 0.35 d/t$   
o,  $\beta = 0.35 b/t$
  2. para cualquier otro gradiente de esfuerzos  $\beta = g b/t$   
o,  $\beta = g d/t$

donde  $g$  es el coeficiente de gradiente de esfuerzos que se lee en la figura F.7.4.2. En la figura F.7.4.2,  $y_c$  y  $y_o$  son las distancias desde el eje neutro de la sección bruta hasta el extremo más fuertemente comprimido y hasta el otro extremo del elemento respectivamente; son tomadas como positivas hacia el lado comprimido. Deben ser generalmente medidas desde el eje neutro elástico pero en la verificación de si una sección es totalmente compacta se permite usar el eje neutro plástico.



NOTA: Para elementos internos o salientes (compresión pico en la raíz) use la curva A. Para elementos salientes (compresión pico en el borde) use la línea B.

**Figura F.7.4.2**  
Elementos planos bajo gradiente de esfuerzos, valor de  $\beta$



**Figura F.7.4.3**  
Modos de pandeo de elementos planos reforzados

(b) **Elementos planos reforzados** - Se deben considerar dos modos posibles de pandeo (véase la figura F.7.4.3) y se deben encontrar valores diferentes de  $\beta$  para cada uno de ellos:

- **modo 1:** el elemento reforzado se pandea como una unidad llevándose consigo el refuerzo
- **modo 2:** los subelementos, abarcando el elemento reforzado, se pandean como elementos individuales mientras las uniones entre ellos permanecen rectas

En el modo 2 de pandeo,  $\beta$  se encuentra por separado para cada subelemento de acuerdo con el literal (a) de F.7.4.3.2. En el modo 1,  $\beta$  se determina, generalmente, como sigue (véase F.7.4.3.2 para lo que se relaciona con elementos salientes en vigas).

- **Modo 1, compresión uniforme**

1. **Refuerzo estándar** - Se define como el refuerzo consistente en una costilla o pestaña unilateral con espesor igual al del elemento,  $t$ , y localizado como se muestra en la figura F.7.4.4:

$$\beta = h b / t$$

(F.7-1)

donde

$b$  y  $t$  = se definen como en el literal (a) de F.7.4.3.2

$h$  = se lee en la figura F.7.4.4 (a), (b) o (c) según sea apropiado

En la figura F.7.4.4,  $c$  debe tomarse como la altura libre de la costilla o pestaña medida hasta la superficie de la lámina.

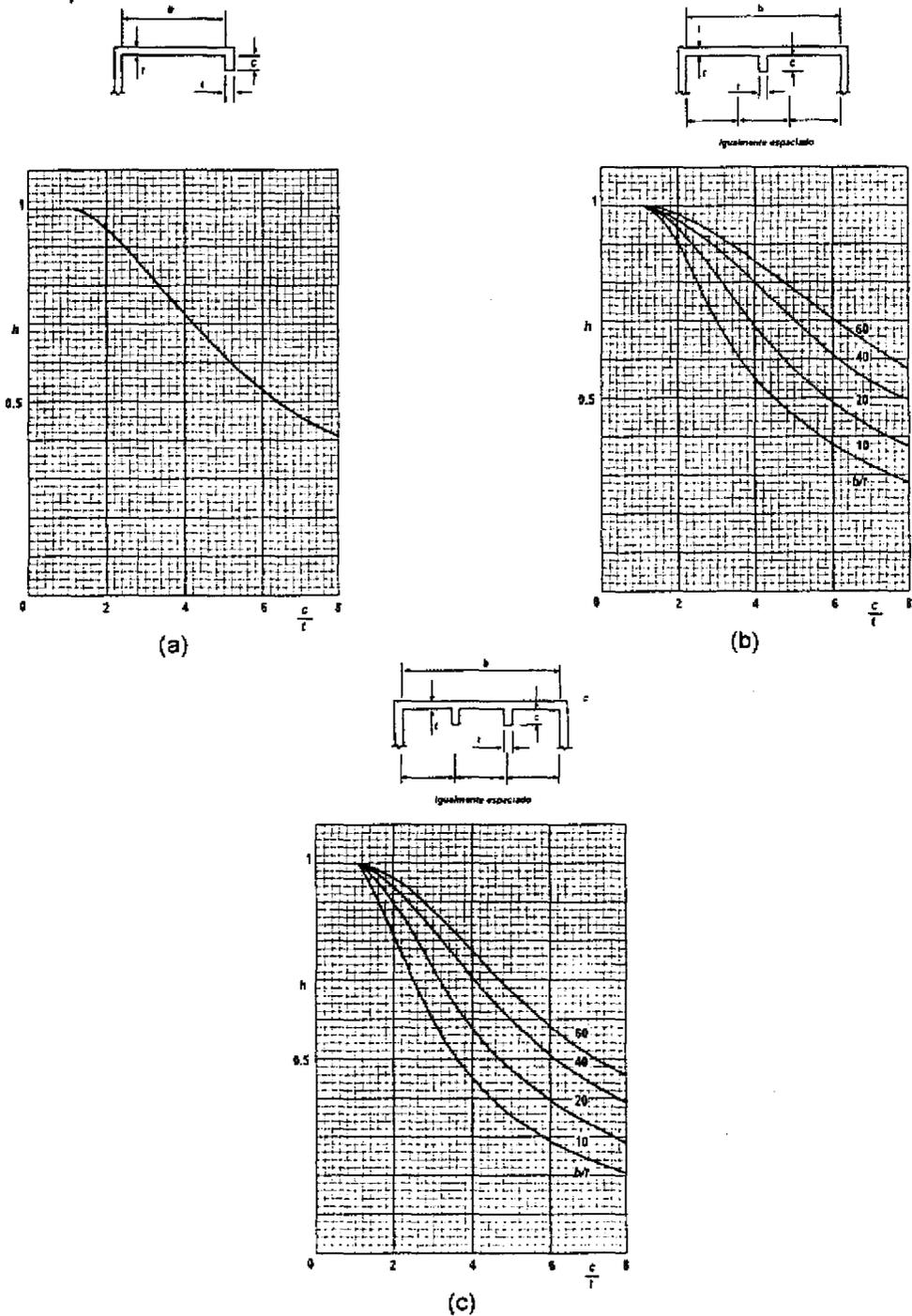


Figura F.7.4.4  
Elementos reforzados, valor de  $h$

2. **Refuerzo no estándar** - Con cualquier otra forma de refuerzo,  $\beta$  debe encontrarse reemplazándolo con una costilla o pestaña equivalente de forma estándar y procediendo como en (1). El valor de  $c$  para la costilla o pestaña equivalente se escoge de modo que su segundo momento del área alrededor del plano medio de la lámina sea igual al del refuerzo verdadero

3. **Método general** - Para casos no cubiertos por (1) y (2),  $\beta$  se debe tomar de acuerdo con

$$\beta = \left(\frac{b}{t}\right) \left(\frac{\sigma_{cro}}{\sigma_{cr}}\right)^{0.4} \quad (F.7-2)$$

donde

$\sigma_{cr}$  y  $\sigma_{cro}$             esfuerzos elásticos críticos, suponiendo soporte en un solo borde, con y sin el refuerzo

- **Modo 1, gradiente de esfuerzos**

$\beta$  debe encontrarse usando la expresión general dada en el numeral (3) en la cual  $\sigma_{cr}$  y  $\sigma_{cro}$  ahora se refieren al esfuerzo en el borde mas comprimido del elemento.

(c) **Elementos curvos internos** - En elementos curvos de poca altura sometidos a compresión uniforme,  $\beta$  debe determinarse usando:

$$\beta = \frac{b/t}{\left[1 + \left(0.006b^4/R^2t^2\right)\right]^{1/2}} \quad (F.7-3)$$

donde

R = radio de curvatura hasta la parte media del metal

b = ancho de desarrollo del elemento en la parte media del metal

t= espesor

En elementos curvos sometidos a un gradiente de esfuerzos se puede tomar un valor de  $\beta$  mas favorable obtenido factorando el valor anterior por  $g$  (obtenido en la figura F 7.4.2).

El tratamiento anterior es válido siempre que  $R/b$  no sea menor que 0.1  $b/t$ . Las secciones que contienen elementos de mayor curvatura requieren estudio especial.

(d) **Tubos redondos**

$\beta$  se debe calcular de acuerdo con lo siguiente, sin hacer distinción entre compresión axial y flexión.

$$\beta = 3 (D/t)^{1/2} \quad (F.7-4)$$

donde

D = diámetro hasta la parte media del metal

t= espesor

**F.7.4.3.3 - Clasificación de la sección** - El procedimiento consiste en clasificar los elementos individuales que conforman la sección, exceptuando cualquier elemento sometido totalmente a tensión. La clasificación de la sección se toma como la del elemento menos favorable. Los elementos individuales se clasifican de acuerdo con los literales (c) o (d) de este numeral.

(a) **Secciones: vigas y miembros a compresión** - Para la sección de una viga (resistencia a momento) o de un miembro a compresión (resistencia a fuerza axial) se aplican las siguientes clasificaciones.

- **Resistencia a momento:**
  1. **Totalmente compacta:** el pandeo local puede ignorarse
  2. **Semi-compacta:** la sección puede desarrollar un momento igual a  $p_c$  veces el módulo elástico de la sección
  3. **Esbelta:** la resistencia a momento se reduce por pandeo local prematuro con un esfuerzo en la fibra extrema menor que  $p_c$ .
- **Resistencia a compresión axial:**
  1. **Compacta:** se puede ignorar el pandeo local
  2. **Esbelta:** el pandeo local disminuye la resistencia

(b) **Secciones sometidas a acciones combinadas** - Véase el literal (a) de F.7.4.8.2 para la clasificación de secciones sometidas a flexión biaxial o a flexión y fuerza axial simultáneas

(c) **Clasificación de elementos** - La clasificación de un elemento individual depende del valor de  $\beta$  (véase F.7.4.3.2).

- **elementos de vigas (resistencia a momento):**
  - $\beta \leq \beta_1$             totalmente compacta
  - $\beta_1 < \beta \leq \beta_c$         semi-compacta
  - $\beta > \beta_c$                 esbelta
- **elementos de miembros a compresión (resistencia axial):**
  - $\beta \leq \beta_c$                 compacta
  - $\beta > \beta_c$                 esbelta

donde  $\beta_c$  y  $\beta_1$  están dados en la tabla F.7.4.3.

**Tabla F.7.4.3**  
Valores límite de  $\beta$

Elementos	$\beta_0$		$\beta_1$	
	No soldado	Soldado	No soldado	Soldado
Elementos salientes	$7\epsilon$	$6\epsilon$	$6\epsilon$	$5\epsilon$
Elementos internos	$22\epsilon$	$18\epsilon$	$18\epsilon$	$15\epsilon$

**NOTA 1.** El valor de  $\epsilon$  se toma generalmente como  $\epsilon = (25/p_c)^{1/2}$  (excepto para ciertos elementos de aleta en vigas, véase F.7.4.3.3 (d))  $p_c$  es el esfuerzo límite en kgf/mm<sup>2</sup> (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2).

**NOTA 2.** Un elemento se considera soldado si contiene soldadura en un borde o en cualquier punto de su ancho. Sin embargo, cuando se evalúa la estabilidad de una sección transversal particular de un miembro, se permite considerar el elemento como no soldado si no contiene soldadura en esa sección aunque esté soldado en cualquier otro lugar de su longitud

**NOTA 3.** En un elemento soldado, la clasificación es independiente de la extensión de la zona afectada por el calor

**(d) Elementos de aleta subesforzados** - Se puede utilizar una clasificación más favorable para elementos de aleta en miembros sometidos a flexión o a flexión más fuerza axial que sean:

- paralelos al eje de flexión; y
- menos altamente esforzados que las fibras más severamente esforzadas de la sección

Se permite entonces, usando la tabla F.7 4 3, tomar un valor modificado de  $\epsilon$  según:

$$\epsilon = \left( \frac{25y_1}{p_0 y_2} \right)^{1/2} \quad (F.7-5)$$

donde  $y_1$  y  $y_2$  son, respectivamente, las distancias desde el eje neutro de la sección bruta hasta las fibras más severamente esforzadas y hasta el elemento. Deben ser, por lo general, medidas desde el eje neutro elástico; no obstante, en la revisión de si la sección es totalmente compacta se permite usar el eje neutro plástico.

**F.7.4.3.4 - Pandeo local** - La posibilidad de pandeo local en miembros clasificados como esbeltos es generalmente tenida en cuenta reemplazando la sección real por una sección efectiva. La sección efectiva se obtiene empleando un coeficiente de pandeo local  $k_L$  para reducir el espesor; esto es aplicable a cualquier elemento esbelto de espesor uniforme que esté total o parcialmente sometido a compresión. Los elementos que no tienen espesor uniforme requieren un estudio especial

**(a) Determinación de  $k_L$**  - El coeficiente  $k_L$ , que se encuentra por separado para los diferentes elementos de la sección, se lee de la curva apropiada de la figura F 7 4 5 seleccionada de acuerdo con la tabla F.7.4.4. Se debe determinar, como se muestra a continuación, el valor correcto de  $\beta/\epsilon$  para poder seleccionar la curva correcta

**Tabla F.7.4.4**  
**Selección de la curva de la figura F.7.4.5 (pandeo local)**

Elementos	No soldado	Soldado
Elementos salientes planos	Curva A	Curva B
Elementos internos (planos o curvos)	Curva C	Curva D
Tubería redonda	La inferior entre las curvas C y E	La inferior entre las curvas D y E

**NOTA:** En un elemento soldado, la clasificación es independiente de la extensión de la zona afectada por el calor.

$\beta$  = se encuentra según F.7 4.3 2

$\epsilon = (25/p_0)^{1/2}$  generalmente (véase la nota 3 del literal (c) de F 7.4.5.2 para aletas a compresión de vigas)

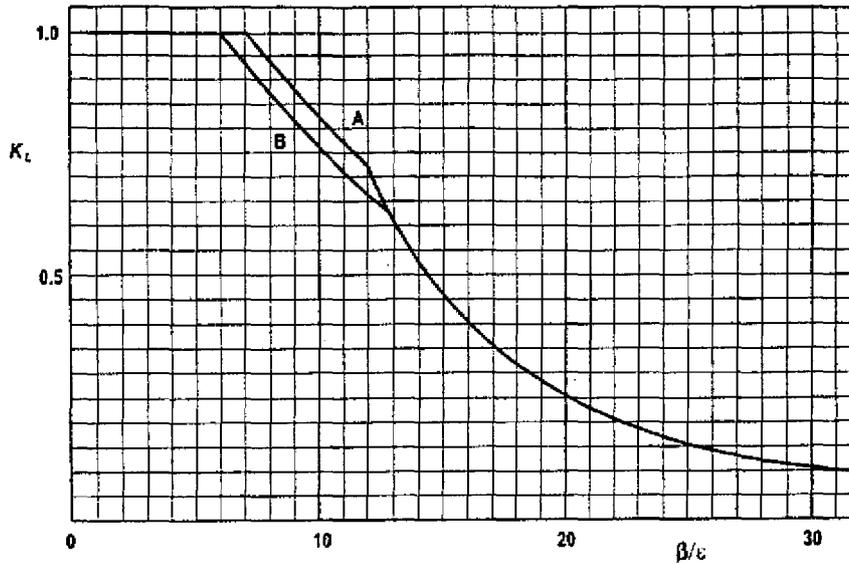
donde

$p_0$  = esfuerzo límite del material en  $\text{kgf/mm}^2$ , sin considerar el efecto de la zona afectada por el calor

Para decidir si un elemento se debe tomar como no soldado o soldado en la tabla F.7.4.4, véase la nota 2 de la tabla F.7 4.3.

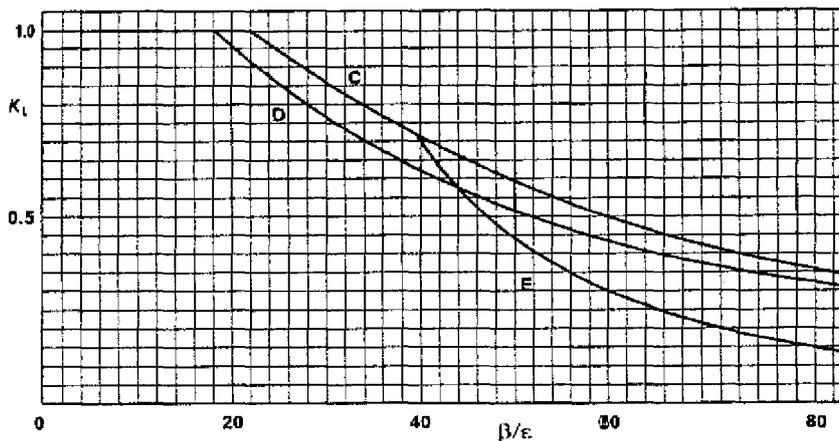
En el caso de elementos planos reforzados es importante considerar ambos modos posibles de pandeo (véase figura F 7.4.3) y tomar el más crítico. En el caso del modo 1, el coeficiente de pandeo  $k_L$  se debe aplicar al área del refuerzo tanto como al espesor básico de la lámina

**(b) Secciones sometidas a acciones combinadas** - Véase el literal (b) de F.7.4 8.2 para determinar  $k_L$  en secciones sometidas a flexión biaxial o a flexión y fuerza axial simultáneas.



Curva A: elementos salientes, no soldados  
 Curva B: elementos salientes, soldados

(a) para elementos planos salientes



Curva C: elementos internos, no soldados  
 Curva D: elementos internos, soldados  
 Curva E: tubos redondos

NOTA. véase la nota 3 de la tabla F.7.4.3

(b) para elementos internos y tubos redondos

Figura F.7.4.5  
 Coeficiente de pandeo local  $k_t$

**F.7.4.4 - ABLANDAMIENTO EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR ADYACENTE A LA SOLDADURA**

**F.7.4.4.1 - Generalidades** - Es necesario considerar en el diseño el ablandamiento que usualmente se presenta en la vecindad de las soldaduras. La región más afectada se localiza inmediatamente alrededor de la soldadura, sin embargo, las propiedades del material mejoran rápidamente con la distancia hasta tener las del material original. El ablandamiento afecta más severamente el esfuerzo de prueba del 0.2% que la resistencia a tensión.

Para el diseño es aceptable aproximarse a la condición real suponiendo que alrededor de cada soldadura existe una zona afectada por el calor en la que las propiedades de resistencia están reducidas por un coeficiente constante  $k_t$ .

Por fuera de esta zona, se supone que se pueden aplicar todas las propiedades originales del material base. La severidad del ablandamiento en la zona afectada por el calor, definida por  $k_t$ , se trata en F.7.4.4.2 La extensión de la zona afectada por el calor, definida por una distancia  $z$ , medida desde la soldadura, se considera en F.7.4.4.3.

Algunas veces es posible mitigar el efecto del ablandamiento de la zona afectada por el calor mediante un tratamiento de envejecimiento artificial aplicado después de soldar (véase el apéndice F.7.E).

#### F.7.4.4.2 - Severidad del ablandamiento

**(a) Coeficiente de ablandamiento de la zona afectada por el calor** - El coeficiente  $k_t$  normalmente debe tomarse de la tabla F 7 4.5 pero para ciertos cálculos se permite usar un valor más favorable, como se explica en el apéndice F.7 E. Esto se aplica cuando la resistencia de un miembro está gobernada por  $p_u$  o  $p_v$  en lugar de por  $p_n$ . Para encontrar el coeficiente  $k_t$  para materiales no cubiertos en la tabla F 7.4.5, véase el apéndice F 7 E.

**(b) Material 7020** - Los valores alternativos de  $k_t$  dados en la tabla F 7.4.5 para el material 7020 deben ser normalmente aplicados de acuerdo con la naturaleza del esfuerzo actuante sobre el material de la zona afectada por el calor

- **valor (A):** esfuerzo de tensión actuando transversalmente al eje de una soldadura a tope o de filete
- **valor (B):** cualquier otra condición de esfuerzo, esto es, esfuerzo longitudinal, compresión transversal, cortante.

Algunas veces es posible incrementar el valor (A) a una cifra superior a la de la tabla dependiendo del grado de control térmico logrado en la fabricación (véase el apéndice F.7.E)

**(c) Tiempo de recuperación para aleaciones tratadas en caliente** - Los valores de  $k_t$  dados en la tabla F 7 4 5 son válidos a partir de los siguientes tiempos después de soldar, siempre y cuando el material se haya mantenido a una temperatura no menor de 15###C

- Aleaciones de la serie 6\*\*\*                      3 días
- Aleaciones de la serie 7\*\*\*                      30 días

Para determinar la resistencia de los componentes que deben ser cargados más tempranamente, pero nunca antes de 24 horas después de soldar, el valor de  $k_t$  debe reducirse por un coeficiente  $f$  calculado de acuerdo con lo siguiente.

- Aleaciones de la serie 6\*\*\*       $f = 0.9 + 0.1 \{(n-1)/2\}^{1/2}$                       (F.7-6)
- Aleaciones de la serie 7\*\*\*       $f = 0.8 + 0.2 \{(n-1)/29\}^{1/2}$                       (F.7-7)

donde  $n$  es el tiempo, en días, entre la soldadura y la carga.

Si el material se mantiene a una temperatura por debajo de 15###C después de haber soldado, el tiempo de recuperación se prolongará y ésto debe ser advertido