

**INDICE**

	<b>Página</b>
<b>Preámbulo</b>	<b>VII</b>
0 <b>Introducción</b>	1
1 <b>Alcance</b>	2
2 <b>Campo de aplicación</b>	3
<b>SECCION UNO - ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO</b>	3
3 <b>Referencias</b>	3
4 <b>Definiciones</b>	4
5 <b>Materiales</b>	16
6 <b>Tipos de construcción</b>	17
6.1    Definición	17
6.2    Requisitos de aplicación de cada tipo de construcción	17
7 <b>Memoria de cálculo</b>	18
7.1    Requisitos	18
7.2    Cálculo numérico	19
7.3    Comprobación de tensiones	19
8 <b>Planos</b>	19
8.1    Planos de diseño	19
	I

## Indice

	<b>Páginas</b>
8.2 Planos de fabricación	19
8.3 Indicaciones para soldadura	20
8.4 Símbolos normales de soldadura	20
<b>9 Solicitaciones y combinaciones de carga</b>	<b>20</b>
9.1 Sollicitaciones	20
9.2 Combinaciones de carga	22
<b>SECCION DOS - DISEÑO ELASTICO</b>	<b>22</b>
<b>10 Pandeo local</b>	<b>22</b>
10.1 Terminología	22
10.2 Generalidades	23
10.3 Elementos no atiesados en compresión uniforme	24
10.4 Elementos atiesados en compresión uniforme	30
10.5 Elementos formados por subelementos atiesados y no atiesados en compresión uniforme	41
10.6 Atiesadores	41
10.7 Esbeltez máxima admisible en elementos atiesados y no atiesados en compresión uniforme, $(b/e)_{\text{máx}}$	44
10.8 Control de la ondulación en vigas con alas excesivamente anchas	45
10.9 Vigas extremadamente cortas solicitadas por cargas concentradas	46
<b>11 Tensiones admisibles</b>	<b>46</b>
11.1 Tensión base admisible, $F_b$	46

**Indice****Páginas**

11.2	Flexión	49
11.3	Corte	71
11.4	Interacción, flexión y corte	79
11.5	Atiesadores de alma	82
11.6	Pandeo y aplastamiento del alma	85
11.7	Compresión	94
11.8	Interacción de compresión y flexión (Flexión compuesta)	109
11.9	Tensión admisible de compresión y flexión en tubos, $F_c$ y $F_m$	115
11.10	Esbeltez máxima, $(KL/i)_{\text{máx.}}$	115
12	<b>Vigas con losa colaborante</b>	116
12.1	Generalidades	116
12.2	Adherencia natural	116
12.3	Conectores	116
12.4	Propiedades de la sección	116
12.5	Tensiones admisibles y de trabajo	117
12.6	Resistencia al corte	120
13	<b>Flechas y contraflechas</b>	122
13.1	Flechas	122
13.2	Contraflechas	124

**Indice**

	<b>Páginas</b>
<b>14 Uniones</b>	<b>125</b>
14.1 Generalidades	125
14.2 Uniones mínimas	125
14.3 Excentricidad de la unión	125
14.4 Suples	125
14.5 Perfiles en compresión con juntas de aplastamiento	126
14.6 Uniones de vigas simplemente apoyadas	126
14.7 Uniones de vigas empotradas	127
<b>15 Conectores</b>	<b>129</b>
15.1 Generalidades	129
15.2 Remaches, pernos y elementos con hilo	132
15.3 Soldaduras	139
<b>16 Perfiles compuestos</b>	<b>150</b>
16.1 Generalidades	150
16.2 Separación máxima entre conectores y/o separadores	150
<b>17 Bielas y planchas unidas con pasadores</b>	<b>155</b>
17.1 Definiciones	155
17.2 Requerimientos	155
<b>18 Fatiga</b>	<b>158</b>
18.1 Generalidades	158

# Indice

## Páginas

18.2	Rango de tensiones admisibles, $F_r$ y $F_r'$	159
	<b>SECCION TRES - DISEÑO PLASTICO</b>	164
19	<b>Generalidades</b>	164
19.1	Campo de aplicación	164
19.2	Sistemas de arriostramiento vertical	164
19.3	Factor de amplificación, FA	165
19.4	Esbeltez de los elementos de la sección	165
20	<b>Esfuerzos admisibles</b>	166
20.1	Flexión $M_p$	166
20.2	Distancia entre arriostramientos laterales, $L_m$	166
20.3	Corte, $V_u$	167
20.4	Aplastamiento del alma	167
20.5	Compresión $P_{cr}$	168
20.6	Compresión y flexión (flexión compuesta)	168
21	<b>Uniones</b>	170
21.1	Requisitos	170
21.2	Uniones de esquina	170
21.3	Atiesadores	170
21.4	Conectores	170

## Indice

	Páginas
Anexo A - Utilización del trabajo de formado en frío	171
Anexo B - Pandeo torsional en perfiles de simetría puntual	173
Anexo C - Pandeo flexo-torsional en perfiles no simétricos	174
Anexo D - Nomenclatura de electrodos y fundentes	175
Apendice - Bibliografía	178

## **Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios**

### **Preámbulo**

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh427 ha sido preparada por el instituto Chileno del acero ICHA en conjunto con la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización.

Esta norma se estudió para reordenar y actualizar las especificaciones de la norma de Emergencia NCh427 y solucionar los problemas que se detectaron durante su vigencia.

Esta norma anula y reemplaza a la norma de Emergencia NCh427.EOf74 Construcción - Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios, declarada Oficial para la República de Chile por Decreto N°917 del Ministerio de Obras Públicas de fecha 26 de Agosto de 1974.

Los anexos forman parte del cuerpo de la norma.

Solamente se han actualizado las referencias a normas que aparecen en ella.





## Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios

### 0 Introducción

La necesidad de contar con una norma actualizada para el cálculo de estructuras de acero que emplean perfiles laminados, armados o formados en frío (plegados), llevó al Instituto Chileno del Acero (ICHA) a elaborar un proyecto de norma, al cual el Instituto Nacional de Normalización (INN) le otorgó la denominación NCh427, con el carácter de norma de emergencia.

En base a un análisis teórico de los problemas de inestabilidad que afectan a un perfil de acero y tomando como referencia el criterio central que guía al American Iron and Steel Institute (AISI) en su especificación, en el sentido de *coordinar las exigencias de diseño para perfiles plegados con las indicadas por el American Institute of Steel Construction (AISC) para perfiles laminados o armados, en la medida que sea posible*, se decidió presentar en forma unificada todas las exigencias de diseño para estructuras de acero que emplean los perfiles aludidos.

En consecuencia, la norma NCh427, permite diseñar cualquier tipo de construcción de acero en la cual se emplean perfiles laminados, armados (es decir, remachados, apernados, soldados, incluso híbridos) y plegados, ya que, uno solo es el material, el acero, uno solo el problema, diseñar, y las diferencias sólo radican en la fabricación del perfil y las formas geométricas resultantes, lo que implica un comportamiento estructural levemente diferente, el que se ha considerado en algunos casos empleando distintos factores de seguridad y, en otros, aplicando los resultados experimentales para la determinación de las exigencias de diseño.

En Chile, los perfiles de mayor uso son los soldados y los plegados. Estos últimos se fabrican en espesores que van desde 0,5 a 12 ó más milímetros, lo que permite su empleo tanto en la parte fundamental como en las partes secundarias (cubierta, pisos, etc.) de la estructura.

## NCh427

En general, las exigencias de diseño se encuentran expresadas en función de la tensión de fluencia,  $F_f$ , del acero.

Para permitir el uso más expedito de esta norma, las exigencias de diseño se han agrupado en tablas. Por otra parte las esbelteces límites y las tensiones máximas admisibles indicadas en estas tablas se han calculado tomando como base a los aceros A37-24 y A52-34 producidos por la Compañía de Acero del Pacífico (CAP).

Además, se han llevado a gráficos las diferentes estabilidades de carácter local o general que pueden afectar a un perfil estructural. Por último se han confeccionado figuras que permiten visualizar algunos conceptos definidos en esta norma.

El presente texto mantiene los criterios centrales contemplados en la norma NCh427, a la vez que incluye los cambios pertinentes que el análisis crítico de aquella norma arrojó como conclusiones. Estos cambios son los siguientes:

- 1) Modificaciones formales en la presentación de algunas secciones (fundamentalmente, Secs. 4 y 5 del Capítulo I), para permitir una mejor comprensión de los conceptos teóricos que ellas encierran.
- 2) Aplicación de las normas y recomendaciones ISO (International Organization for Standardization), en Sec. 8.2 del capítulo I, en lo referente a las áreas de cálculo, y tolerancias de agujeros para remaches, pernos y elementos con hilo.
- 3) Adaptación, en Sec 8.3 del Capítulo I, de las normas norteamericanas de soldaduras, *Code for Welding in Building Construction AWS D1.0-69*, y de las uniones de ranura precalificadas establecidas por AISC en su Manual de Construcciones de Acero (7a. Edición).
- 4) Reducción del límite de esbeltez plástico,  $(b/e)_p$ , a aplicar en Capítulo II Diseño plástico, para elementos no atiesados, en base a los resultados experimentales entregados por AISC.

El Instituto Chileno del Acero agradece el patrocinio dado a este documento por Instituto Nacional de Normalización, INN.

Por último, cabe puntualizar que este proyecto revisado de la norma NCh427 constituye el fundamento teórico del nuevo Manual de Diseño de Estructuras de Acero, ICHA, 1976.

## 1 Alcance

**1.1** Esta norma especifica el procedimiento para el cálculo de estructuras de acero para edificios (acero al carbono o acero cobreado).

**1.2** Especifica también las condiciones mínimas de resistencia que deben cumplir en esas estructuras los miembros componentes y sus uniones.

## 2 Campo de aplicación

**2.1** Esta norma se aplicará en el diseño de estructuras de acero que empleen perfiles laminados, armados (remachados, apernados y soldados), o formados en frío (plegados).

**2.2** Las uniones entre los miembros componentes de la estructura se realizarán empleando remaces, pernos y/o soldaduras (eléctrica por arco o de resistencia), u otro tipo de conector cuya capacidad resistente sea debidamente demostrada y certificada.

**2.3** Esta norma no se aplicará en el diseño de estanques, depósitos o cañerías sometidas a presiones superiores a 5 kgf/cm<sup>2</sup>, ni en las construcciones en que los miembros metálicos estén sometidos a temperaturas superiores a 200°C.

NOTA - En los casos siguientes deberá aplicarse las normas que corresponda:

- a) puentes ferroviarios y camineros;
- b) material rodante, ferroviario o caminero;
- c) torres o construcciones análogas destinadas a cables conductores eléctricos de alta tensión;
- d) construcciones en que se usen procesos especiales de soldadura o de fabricación.

## SECCION UNO - ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO

### 3 Referencias

NCh203	Acero para uso estructural – Requisitos
NCh206	Acero laminado en barras para pernos corrientes.
NCh207	Acero laminado en barras para remaches estructurales.
NCh208	Acero laminado en barras para tuercas corrientes.
NCh215	Planchas gruesas de acero al carbono para tubos soldados al arco eléctrico.
NCh217	Acero – Mallas de alta resistencia para hormigón armado - Especificaciones.
NCh300	Elementos de fijación – Pernos, tuercas, tornillos y accesorios – Terminología y designación.
NCh301	Pernos de acero con cabeza y tuerca hexagonales.
NCh302	Pernos de acero, de cabeza redonda, con cuello cuadrado y tuerca cuadrada.
NCh308	Examen de soldadores que trabajan con arco eléctrico.
NCh428	Ejecución de construcciones de acero.
NCh429	Hormigón armado - I parte.
NCh430	Hormigón armado - II parte.
NCh431	Construcción - Sobrecargas de nieve.
NCh432	Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.
NCh433	Diseño sísmico de edificios.
NCh1185	Rosca ISO - Perfil básico - Dimensiones métricas.
ICHA	Manual de Estructuras de Acero para Edificios. 2ª Edición.
ASTM A242	High-Strength Low-Alloy Structural Steel.
ASTM A375	High-Strength Low-Alloy Hot-Rolled Steel Sheet and Strip.

NCh427

ASTM A325	High-Strength Bolts for Structural Steel Joints Including Suitable Nuts and Plain Hardened. Washers.
ASTM A490	Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts for Structural Steel Joints.
ASTM A502	Specifications for Structural Rivets, Grade 1 or Grade 2, latest edition.
AWS A5.1	Specifications for Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes.
AWS A5.5	Specifications for Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes.
AWS A5.17	Specifications for Bare Mild Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding.
AWS A5.18	Specifications for Mild Steel Electrodes for Gas Metal Arc Welding.
AWS A5.20	Mild Steel Electrodes for Flux-Cored-Arc Welding.
AWS Sec. 2	Recommended Practices for Resistance Welding. Tables 26.1 y 26.2.
AWS Art. 422	Requirements for Electroslag and Electrode Gas Welding.
AISC	Manual of Steel Construction - Seventh Edition.
AISI	Cold-Formed Steel Design Manual, latest edition.
AISE	Specifications for the Design and Construction of Mill Buildings.

## 4 Definiciones

Símbolo	Definición
$A$	= Área de la sección transversal de un perfil, $\text{cm}^2$ .
$A_a$	= $B_e$ ; Área del ala de un perfil, $\text{cm}^2$ .
$A_{ap}$	= $D_e$ ; Área de aplastamiento, $\text{cm}^2$ .
$A_{ar}$	= Área de las barras longitudinales de acero redondo en las zonas de momento negativo, en vigas con losa colaborante, ubicadas en el ancho efectivo de éstas, $\text{cm}^2$ .
$A_{at}$	= Área de atiesadores, $\text{cm}^2$ .
$A_{ef}$	= Área efectiva del perfil considerando las reducciones de ancho de los elementos atiesados afectos a pandeo local, $\text{cm}^2$ .
$A_h$	= Área real de hormigón, correspondiente al ancho efectivo de la losa colaborante de una viga compuesta, $\text{cm}^2$ .
$A_n$	= Área neta, $\text{cm}^2$ .
$A_r$	= Área de las armaduras longitudinales de la losa ubicadas en el ancho colaborante, $\text{cm}^2$ .
$A_v$	= $h_t$ ; Área de corte de un perfil, $\text{cm}^2$ .

$B$  = Ancho total del ala de un perfil, cm.

$B_h$  = Ancho efectivo de una losa en vigas con losa colaborante, cm.

$B_n$  = Ancho neto, cm.

$B_s$  = Ancho del ala superior de una viga, cm.

$C$  = Altura total de un atiesador de borde, cm.  
Razón entre la tensión del perno y la tensión de la parte unida.  
Rango de variación de tensiones de compresión.

$C_a$  = Constante de alabeo de la sección transversal de un perfil,  $\text{cm}^6$ .

$C_e$  =  $\sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q F_f}}$  Esbeltez límite para la aplicación de la fórmula de columna según Euler considerando una tensión residual de  $0,5 F_f$ .

$C_{ft}$  = Coeficiente de pandeo flexo-torsional en la expresión  $C_{ft}/(1 - \sigma_{cx}^{FT})/\sigma_{cx}^E$ .

Expresión que amplifica la tensión crítica de trabajo por flexión,  $\sigma_m$ , al introducir el efecto del momento secundario producido por la carga crítica de compresión por flexo-torsión  $P_c^{FT}$  y la deformación originada por los momentos extremos  $P_c^{FT} \cdot e$ .

$C_o$  = Porcentaje de ondulación, %.

$C_m$  = Coeficiente de amplificación de la tensión admisible por pandeo lateral  $F_m^A$  y  $F_m^T$  en función de la gradiente de momento.

$C_{\min.}$  = Altura mínima de una pestaña simple, cm.

$C_f$  = Coeficiente de pandeo por flexión en la expresión.

$$C_f/(1 - f_c/F_c^F)$$

Expresión que amplifica la tensión de trabajo de compresión por flexión,  $f_{mc}$ , al introducir el efecto del momento secundario producido por la carga axial  $P$ , y la deformación originada por las sollicitaciones transversales en el plano de flexión considerado.

## NCh427

$C_v$  = Coeficiente entre la tensión crítica de corte del alma  $\sigma_v$  de acuerdo a la teoría de pandeo elástico, y la tensión de fluencia por corte. Su valor es:

$$\frac{\pi^2 E k}{12 (1 - \nu^2) (h/t)^2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{F_f} \quad \text{para } C_v \leq 0,8 \text{ y}$$

$$\sqrt{\frac{0,8 \pi^2 E k}{12 (1 - \nu^2) (h/t)^2}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{F_f} \quad \text{para } C_v > 0,8$$

$C_1$  =  $F_f$  (ala viga) /  $F_f$  (columna).

$C_2$  =  $F_f$  (columna) /  $F_f$  (atiesador).

$D$  = Factor que depende del tipo de atiesador transversal.  
Diámetro medio de un tubo, cm.  
Diámetro del agujero para remaches o pernos, cm.

$E$  = 2 100 000 kgf/cm<sup>2</sup>; Módulo de elasticidad del acero.

$E_h$  = 210 000 kgf/cm<sup>2</sup>; Módulo de elasticidad del hormigón.

$FA$  = Factor de amplificación en diseño plástico.

$FS$  = Factor de seguridad.

$F$  = Tensión admisible en general, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_{ap}$  = Tensión admisible de compresión por aplastamiento, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_b$  = Tensión básica de diseño, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_e$  = Tensión admisible de compresión, kgf/cm<sup>2</sup>, en que:

### Subíndice extremo superior izquierdo

- + Indica que la carga P se encuentra ubicada más allá del centroide y en el lado opuesto al centro de corte ( $e > 0$ ).
- (-) Indica que la carga P se encuentra ubicada entre el centroide y el centro de corte ( $e < 0$ ).

$x_o$  Indica que la carga P se encuentra ubicada en el centro de corte ( $e = x_o$ ).

Indica que la carga P se encuentra ubicada más allá del centro de corte y en el lado opuesto al del centroide ( $e < o$ ).

La ausencia de subíndice en esta ubicación indica que la carga P se encuentra ubicada en el centroide ( $e = o$ ).

#### **Subíndice extremo superior derecho**

T Indica pandeo por torsión.

FT Indica pandeo por flexo-torsión (flexo-torsional).

F Indica pandeo por flexión.

#### **Subíndice extremo inferior derecho**

c Indica que la tensión admisible es de compresión.

co Indica que la tensión admisible es de compresión con  $KL = 0$ .

cs Indica que la tensión admisible es de compresión en elementos secundarios o de arriostramientos (salvo sísmicos).

$F_c^E$  = Tensión admisible de compresión axial según Euler,  $\text{kgf/cm}^2$ .

$$\frac{12}{23} \frac{\pi^2 E}{(KL/i)^2}$$

$F_f$  = Tensión de fluencia mínima especificada,  $\text{kgf/cm}^2$ .

$F_{fr}$  = Tensión de fluencia mínima especificada de las barras de acero redondo utilizadas en las zonas de momento negativo en vigas con losa colaborante,  $\text{kgf/cm}^2$ .

$F_m$  = Tensión admisible de flexión,  $\text{kgf/cm}^2$ , en que:

#### **Subíndice extremo superior derecho**

T Indica la resistencia a la torsión de una viga afecta a pandeo lateral-torsional.

A Indica la resistencia al alabeo de una viga afecta a pandeo lateral-torsional.

Subíndice extremo inferior derecho

mc Indica tensión de compresión por flexión.

mt Indica tensión de tracción por flexión.

$F'_m$  = Tensión admisible de flexión que considera reducciones por esbeltez del alma, kgf/cm<sup>2</sup>.

$(F_m)_p$  = Tensión admisible de flexión para vigas de sección plástica kgf/cm<sup>2</sup>.

$(F_m)_{sp}$  = Tensión admisible de flexión para vigas de sección semiplástica, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_t$  = Tensión admisible de tracción, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_u$  = Tensión de ruptura especificada, kgf/cm<sup>2</sup>.

$F_v$  = Tensión admisible de corte, kgf/cm<sup>2</sup>.

$(F_m)_{\text{máx}}$  = Tensión máxima admisible de flexión sin considerar la inestabilidad general de la viga, kgf/cm<sup>2</sup>.

$G$  = 800 000 kgf/cm<sup>2</sup>; módulo elástico de corte.

$$\frac{\sum I_c / L_c}{\sum I_v / L_v} \text{ grado de empotramiento.}$$

$H$  = Altura total de la sección transversal de un perfil, cm.

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal de un perfil en donde los subíndices x, y, u, v, indican los ejes con respecto a los cuales se ha calculado el momento, cm<sup>4</sup>.

$I_c$  = Momento de inercia del área comprimida de una sección en flexión en torno a un eje centroidal de ésta, cm<sup>4</sup>.  
Momento de inercia de una columna con respecto al eje perpendicular al plano de pandeo del marco, cm<sup>4</sup>.

$I_{ef}$  = Momento de inercia efectivo determinado de acuerdo al ancho efectivo en perfiles con elementos atiesados uniformemente comprimidos afectos a pandeo local, cm<sup>4</sup>.



- $I_{\min}$  = Momento de inercia mínimo admisible del atiesador respecto al eje centroidal paralelo al elemento atiesado,  $\text{cm}^4$ .
- $I_{tr}$  = Momento de inercia de la sección transformada de vigas con losa colaborante,  $\text{cm}^4$ .
- $I_v$  = Momento de inercia de una viga que incide en el extremo de la columna en estudio respecto al eje perpendicular al plano de pandeo de dicha columna,  $\text{cm}^4$ .
- $I_{xc}$  = Momento de inercia de la zona comprimida de una sección con respecto al eje de simetría,  $\text{cm}^4$ .
- $I_{xy}$  = Producto de inercia,  $\text{cm}^4$ .
- $I_{yc}$  = Momento de inercia de la zona comprimida de una sección con respecto al eje centroidal paralelo al alma de la sección total,  $\text{cm}^4$ .
- $J$  =  $1/3 \sum be^3$  Constante de torsión de San Venant de la sección transversal de un perfil,  $\text{cm}^4$ .
- $K$  = Factor de longitud efectiva.
- $K'$  = Constante: para secciones C,  $K' = m/H$   
para secciones Z,  $K' = I_{xy} / I_x$
- $Ka$  =  $1/\sqrt{C_m}$  Coeficiente que toma en cuenta la influencia del gradiente de momento en la resistencia al alabeo de una viga.
- $K_t$  =  $1/C_m$  Coeficiente que toma en cuenta la influencia del gradiente de momento en la resistencia a la torsión de una viga.
- $L$  = Distancia entre apoyos en vigas simplemente apoyadas, cm.  
Distancia entre puntos de inflexión para vigas continuas, cm.  
Dos veces la longitud de una viga cantiléver, cm.  
  
Longitud total de una columna, cm.
- $L_c$  = Distancia entre secciones arriostradas al giro o desplazamiento lateral del ala comprimida, que permite utilizar la tensión de flexión admisible  $0,6 F_f Q_s$ , cm.  
Longitud entre apoyos de una columna, cm.

## NCh427

- $L_m$  = Distancia entre arriostramientos en el plano de flexión considerado, cm.
- $L_p$  = Distancia entre secciones arriostradas al giro o desplazamiento lateral del ala comprimida, que permite utilizar una tensión admisible de flexión comprendida entre  $0,66 F_f$  y  $0,6 F_f$ , cm.
- $L_v$  = Longitud entre apoyos de una viga, cm.
- $L_{cr}$  = Distancia máxima entre arriostramientos laterales para la formación de una rotula plástica, cm.
- $M$  = Momento de flexión solicitante, kgf cm.
- $M_c$  = Momento elástico crítico en el plano de simetría de una sección afecta a pandeo flexotorsional, que produce compresión en las fibras extremas más cercanas al centro de corte, kgf cm.
- $M_{ev}$  = Momento producido por cargas eventuales (viento o sismo), kgf cm.
- $M_m$  = Momento crítico admisible en diseño plástico para perfiles sometidos a flexión y compresión (flexión compuesta), kgf cm.
- $M_o$  = Momento máximo entre los apoyos debido a una carga transversal, kgf cm.
- $M_p$  = Momento plástico, kgf cm.
- $M_{pp}$  = Momento producido por peso propio, kgf cm.
- $M_{sc}$  = Momento producido por sobrecargas permanentes, kgf cm.
- $M_t$  = Momento elástico crítico, en el plano de simetría de una sección afecta a pandeo flexotorsional, que produce tracción en las fibras extremas más cercanas al centro de corte, kgf cm.
- $M_1$  = Momento extremo menor en la longitud no arriostrada de una viga-columna. Momento producido por cargas aplicadas antes de  $0,75 R_{28}$  del hormigón, kgf cm.
- $M_2$  = Momento extremo mayor en la longitud no arriostrada de una viga-columna, kgf cm.  
Momento producido por cargas aplicadas después de  $0,75 R_{28}$  del hormigón, kgf cm.
- $N$  = Longitud de apoyo para una carga concentrada, cm.  
Número de conectores de corte igual a  $V_h/R$  o  $V'_h/R$ , según corresponda.

$N_1$	=	Número de conectores de corte cuando se requiere un espaciamiento menor en las zonas adyacentes a los puntos de momento cero.
$P$	=	Carga concentrada solicitante, kgf. Carga total en perfiles en compresión, kgf. Perno corriente.
$P_{cr}$	=	$1,70 \cdot A \cdot F_c^F$ , kgf.
$P_e$	=	$1,92 \cdot A \cdot F_c^E$ , kgf.
$P_f$	=	$A \cdot F_f$ ; Carga plástica axial, kgf.
$P_{lat}$	=	Fuerza que debe ser resistida por los arriostramientos intermedios de una viga, kgf.
$P_{m\acute{a}x}$	=	Carga o reacción máxima admisible por pandeo vertical del alma en perfiles plegados, kgf.
$PA_a$	=	Pernos de alta resistencia en unión tipo aplastamiento.
$PA_f$	=	Pernos de alta resistencia en unión tipo fricción.
$PP$	=	Peso propio, kgf/m <sup>2</sup> .
$Q$	=	$Q_a \cdot Q_s$ ; Coeficiente de reducción de tensión admisible en perfiles sometidos a compresión axial y que están compuestos por elementos atiesados y/o no atiesados afectos a pandeo local.
$Q_a$	=	$A_{ef} / A$ ; Coeficiente de área en perfiles sometidos a compresión axial debido a la presencia de elementos atiesados uniformemente comprimidos afectos a pandeo local.
$Q_s$	=	Coeficiente de reducción de tensión (tensión básica = $0,6 F_f$ ) en elementos no atiesados uniformemente comprimidos afectos a pandeo local.
$R$	=	Remache. Resistencia de un conector, kgf. Radio interior de doblado en perfiles plegados, cm.
$R_{28}$	=	Resistencia cúbica del hormigón a los 28 días, kgf/cm <sup>2</sup> .
$R_x$	=	Resistencia del hormigón a x días, kgf/cm <sup>2</sup> .

## NCh427

$S$	= Soldadura. Separación entre vigas, cm.
$SC$	= Sobrecarga de diseño, kgf/m <sup>2</sup> .
$T$	= Rango de variación de tensiones de tracción.
$T_p$	= Fuerza de pretensado especificada en pernos de alta resistencia, kgf.
$T_s$	= Esfuerzo de tracción en el conector, kgf. Solicitud de corte, kgf.
$V$	= Rango de variación de tensiones de corte, kgf/cm <sup>2</sup> .
$V_h$	= Esfuerzo de corte horizontal a ser resistido por los conectores en el caso de colaboración total de una losa de hormigón, kgf.
$V'_h$	= Esfuerzo de corte horizontal a ser resistido por los conectores en el caso de acción compuesta parcial, kgf.
$V_u$	= $0,58 F_f$ ht; Esfuerzo de corte estático producido por la carga <i>última</i> en diseño plástico, kgf.
$W$	= $I / c$ ; Módulo resistente, cm <sup>3</sup> .
$W_i$	= Módulo resistente de la sección de acero, en vigas con losa colaborante, con respecto a la fibra traccionada, cm <sup>3</sup> .
$W_{ef}$	= $I_{ef} / c$ ; Módulo resistente efectivo, determinado de acuerdo al ancho efectivo, en perfiles con elementos atiesados uniformemente comprimidos afectos a pandeo local, cm <sup>3</sup> .
$W_{ti}$	= Módulo resistente de la sección transformada compuesta, para el cálculo de la tensión en el ala inferior de la viga de acero, cm <sup>3</sup> .
$W_{ti}^P$	= Módulo resistente de la sección transformada, para el cálculo de la tensión en el ala inferior de la viga de acero, cuando existe colaboración parcial de la losa, cm <sup>3</sup> .
$W_{xc}$	= $I_x / c$ ; Módulo resistente del ala comprimida con respecto a eje mayor, cm <sup>3</sup> .
$Z$	= Módulo plástico de una sección, cm <sup>4</sup> .
$a$	= Distancia libre entre atiesadores transversales, cm.

- $b$  = Ancho plano de un elemento atiesado o no atiesado en compresión uniforme, cm.
- $b_e$  = Ancho efectivo de un elemento o subelemento atiesado en compresión uniforme afecto a pandeo local, cm.
- $b'_e$  = Ancho efectivo reducido de un elemento o subelemento atiesado con esbeltez comprendida entre 60 y 90, cm.
- $b_{ma}$  = Proyección plana total de un elemento multiatiesado descontando solamente las esquinas redondeadas de los bordes extremos, cm.
- $b_{m\acute{a}x}$  = Ancho plano máximo que limita la ondulación o deformación excesiva del ala, cm.
- $c$  = Distancia desde el eje neutro de una sección a la fibra más alejada en compresión o tracción, cm.
- $d$  = Diámetro de un remache o perno, cm.
- $e$  = Espesor del ala en perfiles laminados o soldados, cm.  
Espesor en perfiles plegados, cm.  
Excentricidad de la carga con respecto al eje centroidal, cm.
- $e_{eq}$  = Espesor equivalente de un elemento multiatiesado, cm.
- $e_h$  = Espesor de una losa de hormigón, cm.
- $f$  = Tensión de trabajo determinada según lo indicado en 10.4.2, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $f_c$  =  $P/A$ ; Tensión de trabajo de compresión considerando el área total de la sección, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $f_{mt}$  =  $M/W$ ; Tensión de trabajo por flexión en que los subíndices  $t$  y  $c$  indican tracción y compresión respectivamente, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $f_{pr}$  = Tensión promedio de flexión en la fibra extrema considerando el ancho plano total sin reducción por concepto de pandeo local, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $f_t$  =  $P/A_n$ ; Tensión de trabajo por tracción calculada considerando el área neta de la sección, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $f_v$  =  $V/ht$ ; Tensión de trabajo por corte en diseño elástico y plástico, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $(f_v)_{at}$  = Tensión de corte entre el alma y el atiesador de rigidez, kgf/cm.

## NCh427

- $g$  = Distancia vertical entre dos líneas de unión cerca de, o en las alas superior e inferior de un perfil compuesto, cm.  
Distancia entre agujeros según la línea central de una sección, cm.
- $g_b$  = Distancia de un agujero a los bordes, cm.
- $g_l$  = Distancia longitudinal con respecto a la dirección del esfuerzo entre dos agujeros consecutivos, cm.
- $g_t$  = Distancia transversal con respecto a la dirección del esfuerzo, entre dos agujeros consecutivos, cm.
- $g_{\min}$   
 $g_{\max}$  = Distancia mínima o máxima transversal o longitudinal entre conectores, cm.
- $h$  = Distancia libre entre alas medida a lo largo del plano del alma, cm.
- $i$  =  $\sqrt{I/A}$  ; Radio de giro de una sección, cm.
- $i_o$  =  $\sqrt{i_x^2 + i_y^2 + x_o^2}$  ; Radio de giro polar de una sección en torno al centro de corte, cm.
- $i_a$  =  $\sqrt{H I_{yc} / W_{xc}}$  ; Radio de giro del ala comprimida de un perfil en flexión, cm.
- $i_t$  =  $B_e/H$ ; (0,833  $B_e/H$  para vigas I con un eje de simetría).  
Radio de giro ficticio para el cálculo de la resistencia al pandeo lateral-torsional, considerando la resistencia a la torsión de la sección de un perfil, cm.
- $j$  =  $\frac{1}{2 I_y} \left[ \int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - x_o$  ; Propiedad de la sección para los efectos de cálculo del pandeo flexo-torsional, cm.
- $k$  = Distancia entre el borde exterior del ala y la raíz del filete de laminación o soldadura, cm.  
Coeficiente de placa en la expresión  $\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(h/t)^2}$  para el cálculo del pandeo elástico de una placa en función de sus dimensiones y condiciones de borde.
- $l$  = Distancia entre puntos de unión o centros de soldadura de dos o más elementos que forman un perfil compuesto, cm.  
Longitud de una sección de espesor constante según su línea central, cm.
- $m$  = Distancia del centro de corte a la línea media del elemento más cercano, según el eje de simetría, de una sección, cm.
- $n$  =  $E/E_n$ ; Razón de módulos.
- $q$  = Carga uniformemente distribuida, kgf/cm.

- $r$  = Razón entre la fuerza transmitida por los pernos en la sección de falla considerada dividida por la tensión de tracción que existe en ella.
- $s$  = Dimensión nominal de una soldadura de filete, mm.
- $t$  = Espesor del alma de un perfil I laminado o armado, cm.
- $w$  = Longitud de un conector con forma de canal, cm.  
Ancho proyectante del ala medida desde su unión con el alma, cm.
- $x$  = Subíndice cuyo significado es:  
En perfiles no afectados a pandeo flexo-torsional  $x$  corresponde al eje mayor.  
En perfiles afectados a pandeo flexo-torsional  $x$  corresponde al eje de simetría.  
Distancia de una carga concentrada al arriostramiento, cm.
- $x_o$  = Distancia desde el centro de corte al centroide según el eje  $x$  ( $x_o < 0$ ), cm.
- $y$  = Subíndice cuyo significado es:  
En perfiles no afectados a pandeo flexo-torsional " $y$ " corresponde al eje menor.  
En perfiles afectados a pandeo flexo-torsional " $y$ " corresponde al eje perpendicular al eje de simetría.
- $\alpha$  = Coeficiente de reducción para el cálculo del área afectiva de un atiesador.
- $\beta$  =  $W_{ii}/W_i$  o  $W_{ii}^P/W_i$ ; según corresponda.  
 $1 - (x_o/i_o)^2$
- $\phi$  = Parámetro para el cálculo de la tensión crítica de pandeo flexo-torsional.
- $\psi$  = Parámetro para el cálculo de la tensión admisible de pandeo flexo-torsional.  
 $(\pi^2 \delta_o EI / M_o L_m^2)$ ; Coeficiente para determinar  $C_f$ .
- $\nu$  = Razón de Poisson ( $\nu = 0,3$  para acero).
- $\delta_o$  = Deformación máxima debida a una carga transversal, cm.
- $\sigma_e$  = Tensión crítica de compresión por pandeo elástico.  
(Los subíndices indican lo especificado anteriormente para la tensión admisible  $F_c$ ), kgf/cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_c^E$  =  $\pi^2 E / (KL/i)^2$ ; Tensión crítica de compresión según Euler, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_c^T$  =  $\frac{I}{Ai_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_a}{(KL)^2} \right]$ ; Tensión crítica de pandeo torsional, kgf/cm<sup>2</sup>.
- $\Delta$  = Deformación, cm.

## 5 Materiales

Los aceros destinados a la fabricación de estructuras de acero, deberán cumplir con las normas que se indican en tablas 1 y 2.

**Tabla 1 - Acero estructural. Plancha delgada ( $e < 5$  mm)**

Acero		Norma	Observaciones
Proceso	Designación		
A. Laminado en frío ( $e < 2$ mm)		No existe norma chilena	Las características mecánicas deben obtenerse mediante ensayos. CAP fabrica espesores entre 0,4 y 1,5 mm.
B. Laminado en caliente ( $2 \leq e \leq 5$ mm)	A 34-21 ES A 37-24 ES A 42-27 ES A 52-34 ES	NCh217	CAP fábrica espesores mayores o iguales a 2 mm.
	COR-CAP-R COR-CAP-S	ASTM A 375	Acero cobreado con $F_u = 4\,900 \text{ kgf/cm}^2$ y $F_r = 3\,500 \text{ kgf/cm}^2$

**Tabla 2 - Acero estructural. Plancha gruesa ( $e \geq 5$  mm)**

Acero		Norma	Observaciones		
Proceso	Designación				
A. Laminado en caliente ( $e < 2$ mm)	A 37-24 ES A 42-27 ES A 52-34 ES	NCh203			
	COR-CAP-S ( $5 \leq e \leq 38$ ) COR-CAP-R ( $5 \leq e \leq 12,7$ )	ASTM A 242 Tipo 2 ASTM A 242 Tipo 1	Acero cobreado con		
			Tensiones	$5 \leq e \leq 19$	$e > 19$
			$F_u$ $F_r$	4 900 3 500	4 700 3 200
	A 34-21 TS A 42-25 TS	NCh215	Acero para tubos soldados		

NOTA - La presente norma (NCh427), es aplicable a otras calidades de acero de características mecánicas conocidas y de soldabilidad garantizada, en caso que esto último sea requerido.



## 6 Tipos de construcción

### 6.1 Definición

En la construcción de estructuras metálicas se pueden distinguir tres tipos de construcción con las hipótesis de diseño correspondientes:

#### a) Construcción Tipo 1

Este tipo de construcción se llama comúnmente de marco rígido, en él se considera que las uniones de vigas a columnas tienen suficiente rigidez para mantener virtualmente inalterados los ángulos entre los elementos que se unen.

#### b) Construcción Tipo 2

Se llama, también, de apoyo simple (sin rigidez, de extremos simplemente apoyados); en este tipo de construcción se considera, en lo que se refiere a cargas verticales, que los extremos de las vigas están unidos de tal forma que pueden girar libremente y que sus uniones se calculan para resistir solamente los esfuerzos de corte.

#### c) Construcción Tipo 3

Frecuentemente se le llama marco semirrígido (parcialmente empotrado), supone que las uniones de vigas a columnas poseen un grado de empotramiento conocido y confiable, de magnitud intermedia entre la rigidez absoluta del Tipo 1 y la completa flexibilidad del Tipo 2.

### 6.2 Requisitos de aplicación de cada tipo de construcción

En la aplicación de los tipos de construcción definidos en 6.1 se debe considerar:

- a) La construcción Tipo 1 se permite incondicionalmente por esta norma. Para su dimensionamiento se pueden emplear los siguientes métodos de diseño:
  - 1) **Diseño elástico**, basado en una distribución de momentos según la teoría elástica. Sus elementos se dimensionarán de acuerdo a lo indicado en SECCION DOS.
  - 2) **Diseño plástico**, basado en una distribución de momentos de acuerdo a la teoría plástica. Sus elementos se dimensionarán según lo indicado en SECCION TRES.
- b) El tipo 2 de construcción es permitido por la presente norma, siempre que cumpla con lo estipulado en los párrafos siguientes, en los casos en que sean aplicables.

En edificios en altura diseñados, en general, como construcciones Tipo 2, los momentos producidos por las sollicitaciones de viento o sismo podrán ser distribuidos entre uniones seleccionadas del marco siempre que:

- 1) Las uniones y los elementos unidos tengan la capacidad necesaria para resistir los momentos producidos por el viento o el sismo.

## NCh427

- 2) Las vigas sean adecuadas para resistir la totalidad de las cargas verticales como vigas simplemente apoyadas.
  - 3) Las uniones tengan la suficiente capacidad de rotación no elástica para evitar la sobretensión de los elementos de unión bajo la acción combinada de las cargas verticales junto con el viento o el sismo.
- c) El Tipo 3 de construcción (marco semirrígido) está permitido solamente cuando se tiene la seguridad que sus uniones son capaces de suministrar, como mínimo, una proporción conocida del momento de empotramiento perfecto. El dimensionamiento de los elementos principales unidos por estas conexiones, se realizará considerando un momento de empotramiento no mayor que este mínimo.

### NOTAS

- 1) El diseño de todas las uniones deberá ser compatible con el tipo de construcción indicado en los planos de diseño.
- 2) Los Tipos 2 y 3 de construcción pueden requerir, en ciertas partes de la estructura metálica, algunas deformaciones no propiamente elásticas, pero sí, autolimitadas.

## 7 Memoria de cálculo

### 7.1 Requisitos

En la justificación del cálculo se indicará, a lo menos, lo siguiente:

- a) magnitud, ubicación, tipo y combinaciones de carga consideradas;
- b) condiciones de fijación de los extremos de los elementos;
- c) ubicación del elemento y función que cumplirá;
- d) desarrollo detallado de la teoría cuando el método de cálculo empleado sea nuevo o poco conocido. Se indicará los coeficientes de seguridad considerados;
- e) si el cálculo se basa en una norma extranjera, deberá indicarse lo que ésta dispone al respecto y su aplicabilidad al caso analizado;
- f) las características del terreno, de las fundaciones y la forma en que se liga la estructura a ellas;
- g) las características de los materiales que se emplearán.

## 7.2 Cálculo numérico

Para la determinación de los valores numéricos, en general, se considerará suficiente la aproximación que proporcione una buena regla de cálculo o un procedimiento gráfico cuidadoso. El cálculo de sistemas estáticamente indeterminados o el de líneas de influencia puede requerir mayor exactitud.

## 7.3 Comprobación de tensiones

En la comprobación de tensiones se considerará lo siguiente:

- a) deberán realizarse en conformidad con las disposiciones de esta norma;
- b) podrán emplearse otros métodos sólo si son demostrados ampliamente; y
- c) en aspectos de comprobación no contemplados por esta norma, éstos deberán ser resueltos por el calculista y serán de su responsabilidad, debiendo demostrar ante el revisor autorizado, el procedimiento adoptado ya sea mediante una norma extranjera o por el cálculo de estabilidad propiamente tal.

# 8 Planos

## 8.1 Planos de diseño

Los planos de diseño mostrarán el proyecto completo con todos los perfiles, dimensiones principales y ubicación relativa de los diversos elementos. Se acotarán los centros de columnas, niveles de pisos de las mismas, alturas y diferencias de nivel.

Los planos de diseño deberán dibujarse a una escala que permita incluir en forma adecuada toda la información requerida. Además, en estos planos se indicará el tipo o tipos de construcción a emplearse, según se definen en capítulo 6, e incluirán los datos suficientes relativos a las cargas consideradas, momentos, esfuerzos axiales y de corte que deben resistir todos los elementos y sus uniones, para la correcta preparación de los planos de fabricación.

En aquellas uniones que emplean pernos de alta resistencia y que están solicitadas por corte, e indicará el tipo de unión a usarse, ya sea de fricción o aplastamiento.

Las contraflechas de las vigas, laminadas, armadas o enrejadas, serán indicadas, si ello es necesario.

## 8.2 Planos de fabricación

Los planos de taller se prepararán con anterioridad a la fabricación, proporcionando todos los antecedentes necesarios para la confección de las partes componentes de la estructura; se incluirá ubicación, tipo y tamaño de la totalidad de los remaches, pernos y soldaduras, indicando claramente cuales son de terreno y cuales son de taller.

NCh427

Estos planos deben ser realizados de acuerdo con las prácticas más modernas, tomando en cuenta la rapidez y economía en la fabricación y montaje de las estructuras.

### 8.3 Indicaciones para soldadura

En aquellas uniones o grupos de uniones, en las cuales es especialmente importante minimizar las tensiones residuales y evitar deformaciones indebidas, se indicará, en los planos de diseño y fabricación, la secuencia y técnica de soldadura que se debe emplear<sup>1)</sup>.

### 8.4 Símbolos normales de soldadura

Los símbolos normales de soldadura a usar en los planos de diseño y fabricación serán, de preferencia, los de la American Welding Society (AWS)<sup>2)</sup>.

Se podrá emplear otros símbolos adecuados, siempre que en estos planos se de una explicación completa de ellos.

## 9 Solicitaciones y combinaciones de carga

### 9.1 Solicitaciones

#### 9.1.1 Cargas permanentes, G

##### a) **Peso propio, PP**

Las cargas de peso propio a considerar en el diseño estarán constituidas por el peso de la estructura y todo el material unido o soportado permanentemente por ella;

##### b) **Sobrecargas, SC**

Las sobrecargas de diseño a considerar, incluso las cargas de nieve N, si las hubiere, serán las indicadas por las normas respectivas<sup>3)</sup>, o en su defecto, se harán consideraciones especiales de carga correspondientes al uso de la estructura.

Deberá usarse la disposición de cargas que dé la máxima sollicitación en el elemento soportante.

##### c) **Impacto, I<sup>4)</sup>**

Las estructuras que soportan sobrecargas que producen impacto deberán diseñarse considerando un incremento de la sobrecarga que tome en cuenta este efecto.

---

<sup>1)</sup> Para ejecución de construcciones de acero ver norma NCh428.

<sup>2)</sup> En el nuevo Manual de Diseño de Estructuras de Acero ICHA, se incluye una adaptación de la nomenclatura empleada por AWS junto con diversas uniones precalificadas por AISC.

<sup>3)</sup> Para cargas de nieve ver NCh431.

<sup>4)</sup> Para edificios industriales ver AISE Standard N°13 Specifications For The Design and Construction of Mill Building.

Si no se indican especialmente otros coeficientes de impacto, se usarán los siguientes:

**Tabla 3 - Coeficiente de impacto**

<b>Tipos de estructuras</b>	<b>Coeficiente</b>
A. Para soporte de elevadores	100%
B. Para vigas porta-grúas y sus uniones	25%
C. Para soportes de maquinaria ligera con impulso de transmisión o motor, no menos de	20%
D. Para soportes de maquinaria de movimiento recíproco o unidades con fuerza motriz, no menos de	50%
E. Para colgadores que soporten pisos y balcones	33%

**d) Fuerza horizontal en los rieles de una viga porta-grúa, H**

La fuerza horizontal lateral que actúa sobre el riel de una grúa viajera, producida por el movimiento transversal del carro, será, si no se especifica lo contrario, el 20% de la suma total de la carga que puede levantar más el peso del carro (sin tomar en cuenta otras partes componentes de la grúa).

La mitad de esta fuerza para cada riel se considera actuando lateralmente en dirección normal al riel en ambos sentidos y sobre la cabeza de éste.

La fuerza longitudinal, si no se especifica lo contrario, se calculará con el 10% de las cargas máximas de las ruedas y se aplicará en la cabeza del riel.

**9.1.2 Cargas eventuales, E**

**a) Viento, V**

La estructura deberá diseñarse para absorber las tensiones originadas por el viento durante el montaje de la estructura y después de terminado el edificio.

**b) Sismo, S**

Las estructuras ubicadas en lugares afectos a acciones sísmicas serán diseñadas considerando estas solicitaciones.

**c) Otras fuerzas**

Las estructuras solicitadas por otras fuerzas, tales como huracanes, se diseñarán considerando estas solicitaciones.

## 9.2 Combinaciones de carga

### 9.2.1 Cargas permanentes

Las tensiones máximas aceptadas en esta norma se aplicarán a las cargas o combinaciones de cargas permanentes o de ocurrencia normal.

### 9.2.2 Cargas eventuales

Las tensiones máximas podrán aumentarse:

- a) En un 33 1/3% para combinaciones que incluyan una carga eventual (por ejemplo viento o sismo).
- b) En un 50% para combinaciones que incluyan dos o más cargas eventuales, o bien cargas de montaje.

### 9.2.3 Verificación

En todo caso la sección ya dimensionada deberá ser verificada para una combinación de cargas que incluya: peso propio, sobrecarga e impacto si lo hubiere.

## SECCION DOS - DISEÑO ELASTICO

## 10 Pandeo local

### 10.1 Terminología

#### 10.1.1 Tipos de elementos<sup>5)</sup>

Atendiendo a la sollicitación de compresión uniforme los elementos constituyentes de una sección se clasificarán en:

- a) **elementos no atiesados**, son elementos planos uniformemente comprimidos que están atiesados en un solo borde paralelo a la dirección del esfuerzo;
- b) **elementos atiesados**, son elementos planos uniformemente comprimidos cuyos bordes paralelos a la dirección del esfuerzo se encuentran rigidizados por un alma, ala, pestaña atiesadora, atiesador intermedio o equivalente, que cumplen con los requisitos especificados en párrafo 10.6;
- c) **elemento atiesado en forma múltiple**, es un elemento atiesador con atiesadores intermedios, los que deben cumplir con los requisitos especificados en párrafo 10.6. Un subelemento es una parte del elemento total comprendido entre dos atiesadores.

---

<sup>5)</sup> Como ejemplos de elementos en compresión uniforme se tiene el ala comprimida de un perfil en flexión y, las alas y/o almas de perfiles en compresión.

### 10.1.2 Ancho plano, $b$

De acuerdo al tipo de elemento, para perfiles laminados, armados o plegados, se tiene:

- a) En elementos no atiesados. (Ver ejemplos en figura 1).
  - 1) Para perfiles laminados y armados, el ancho plano será la distancia entre el eje del elemento atiesador y el borde libre. En perfiles C, L, Z y almas de T, el ancho plano será la dimensión nominal real del perfil.
  - 2) Para perfiles plegados, el ancho plano será la proyección plana del elemento excluida la esquina redondeada.
- b) En elementos atiesados. (Ver ejemplos en figura 2).
  - 1) Para perfiles laminados y plegados, el ancho plano será la distancia medida entre los filetes de laminación o esquinas redondeadas respectivamente.
  - 2) Para perfiles armados, el ancho plano será la distancia libre entre los elementos atiesadores.

### 10.1.3 Ancho efectivo, $b_e$

En elementos atiesados, cuando el ancho plano por estar afecto a pandeo local debe reducirse para los efectos de diseño, éste se denominará ancho efectivo de diseño. (Ver subpárrafo 10.4.2).

### 10.1.4 Esbeltez, $b/e$

Se entiende por esbeltez de un elemento,  $b/e$ , a la razón entre el ancho plano y su espesor.

## 10.2 Generalidades

En esta sección se indica el procedimiento que se debe seguir para el dimensionamiento de perfiles, cuyos elementos, sometidos a compresión uniforme, se encuentran afectados a pandeo local.

### 10.2.1 Consideraciones del pandeo local de acuerdo con el tipo de elemento.

Dependiendo del tipo de elemento se tiene:

#### a) Elementos no atiesados

En este caso, el pandeo local será considerado limitando la tensión de compresión de estos elementos. (Ver párrafos 10.3 y 10.5).

## b) Elementos atiesados

Cuando se trata de elementos atiesados, el pandeo local será considerado reduciendo el ancho real de estos elementos. (Ver párrafos 10.4 y 10.5).

### 10.2.2 Consideraciones del pandeo local en la determinación de tensiones

Dependiendo del tipo de solicitaciones se deberá tener en cuenta lo siguiente:

#### a) Compresión

En perfiles solicitados en compresión axial, las fórmulas para la determinación de las tensiones admisibles consideran el pandeo local de los elementos que constituyen la sección (Factor  $Q$ ). Por lo tanto, en la determinación de las tensiones de trabajo se deberá considerar el área total de la sección (ver párrafo 11.7).

#### b) Flexión

En perfiles solicitados en flexión, el efecto del pandeo local, en los elementos solicitados en compresión, ha sido considerado en la forma indicada a continuación:

- 1) En elementos no atiesados afectos a pandeo local, el efecto de éste se considerará sobre la tensión máxima admisible,  $0,6 F_f$ , la que debe ser multiplicada por el coeficiente de reducción de tensiones  $Q_s$ . (Ver subpárrafo 10.3.2).
- 2) En elementos atiesados, el efecto del pandeo local será considerado en el cálculo de las tensiones de trabajo; para ello, se utilizará un módulo resistente efectivo  $W_{ef}$  calculado a partir del ancho efectivo,  $b_e$ , del elemento atiesador. (Ver subpárrafo 10.4.2).

NOTA - En la determinación de las tensiones admisibles se utilizarán las propiedades de la sección total del perfil.

## 10.3 Elementos no atiesados en compresión uniforme

### 10.3.1 Esbeltez compacta, $(b/e)_c$ .

La tensión admisible base,  $F_b = 0,6 F_f$ , de un elemento no atiesador sometido a compresión uniforme (compresión axial o compresión por flexión) no estará afectada a reducción por concepto de pandeo local cuando su esbeltez,  $b/e$ , sea menor o igual a la esbeltez límite  $(b/e)_c$ , indicada en tabla 4.



Tabla 4 - Esbeltez compacta de elementos no atiesados,  $(b/e)_c$ 

Perfil	Casos	$(b/e)_e$	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
			2 400	3 400
Laminado o Armado	A. Puntales formados por ángulos simples o ángulos dobles con separadores	$630/\sqrt{F_f}$	12,9	10,8
	B. Puntales formados por ángulos en contacto  Atiesadores de almas de vigas  En general	$810/\sqrt{F_f}$	16,5	13,9
	C. Almas de vigas T	$1090/F_f$	22,2	18,7
Plegado	D. En general	$535/\sqrt{F_f}$	10,9	9,2

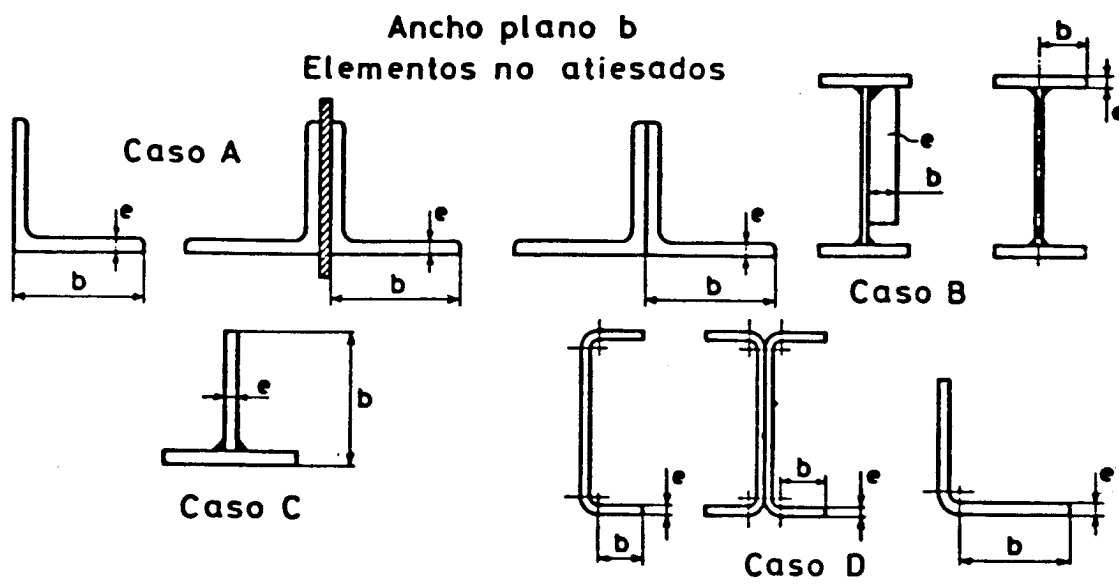


Figura 1

### 10.3.2 Factor de reducción de tensiones, $Q_s$

En aquellos elementos no atiesados cuya esbeltez sea superior a los límites indicado anteriormente, la tensión base,  $F_b$ , estará afecta al factor de reducción de tensiones,  $Q_s$ , calculado de acuerdo a lo indicado en tabla 5.

Tabla 5 - Factor de reducción de tensiones,  $Q_s$ 

Ca so	b/e	$Q_s$	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
			2 400	3 400
A.  B.  C.  D.	$630/\sqrt{F_f} < b/e < 1310/\sqrt{F_f}$ $1310/\sqrt{F_f} \leq b/e \leq 60$	1) $1,324 - 0,000515 (be)\sqrt{F_f}$ 2) $1120000/F_f (b/e)^2$	Graf. 1	Gráf. 2
	$810/\sqrt{F_f} < b/e < 1490/\sqrt{F_f}$ $1490/\sqrt{F_f} \leq b/e \leq 60$	1) $1,417 - 0,000515 (be)\sqrt{F_f}$ 2) $1450000/F_f (be)^2$		
	$1090/\sqrt{F_f} < b/e < 1490/\sqrt{F_f}$ $1490/\sqrt{F_f} \leq b/e \leq 60$	1) $1,954 - 0,000875 (b/e)\sqrt{F_f}$ 2) $1450000/F_f (be)^2$		
	$535/\sqrt{F_f} < b/e < 1210/\sqrt{F_f}$ $1210/\sqrt{F_f} \leq b/e < 25$ $25 \leq b/e \leq 60$	1) $1,277 - 0,000518 (b/e)\sqrt{F_f}$ 2) $950000/F_f (b/e)^2$ 3) $950000/F_f (b/e)^{2*})$ 4) $[2\ 320 - 32,8 (b/e)]/F_f^{**})$		

\*) Para secciones L (ver curva D3 en gráficos 1 y 2).

\*\*) para cualquier otra sección (ver curva D4 en gráficos 1 y 2).

### 10.3.3 Limitaciones adicionales

Los elementos no atiesados de perfiles C y T, cuyas dimensiones excedan los límites de esbeltez indicados en subpárrafo 10.3.1, deberán cumplir, además, los requisitos de la tabla 6.

Tabla 6 - Razones límites para secciones C y T

Perfil	Razón	
	Ancho ala/altura perfil	Espesor ala/espesor alma
Canal	Armada $\leq 0,25$	$\leq 3,0$
	Laminada $\leq 0,50$	$\leq 2,0$
Te	Armada $\geq 0,50$	$\geq 1,25$
	Laminada $\geq 0,50$	$\geq 1,10$

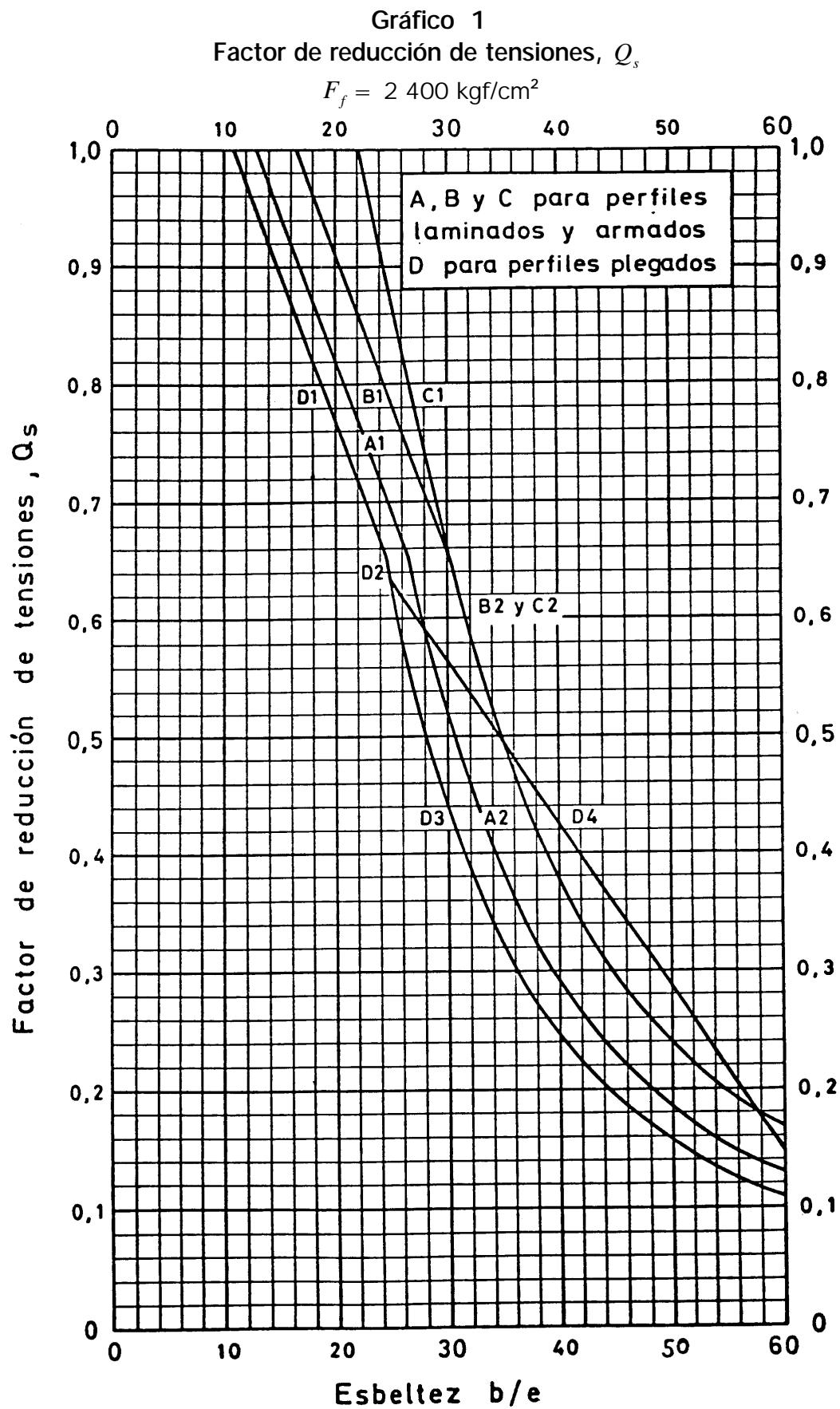
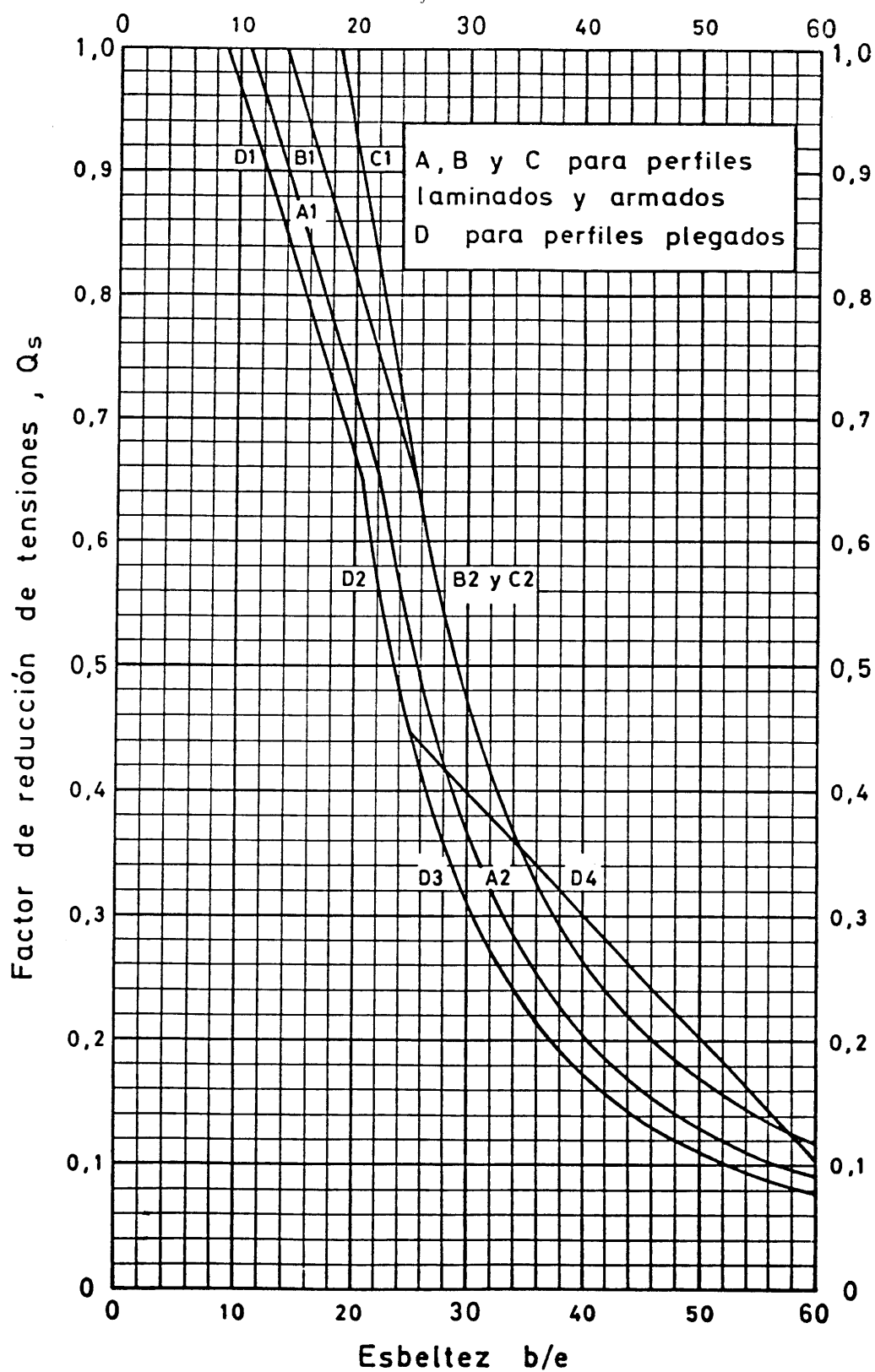


Gráfico 2  
Factor de reducción de tensiones,  $Q_s$

$$F_f = 3\,400 \text{ kgf/cm}^2$$



## 10.4 Elementos atiesados en compresión uniforme

### 10.4.1 Esbeltez compacta, $(b/e)_c$

El ancho plano,  $b$ , de un elemento atiesado en compresión uniforme, no estará afecto a reducción por concepto de pandeo local, si su esbeltez,  $b/e$ , es menor o igual a la esbeltez límite,  $(b/e)_c$ .

En este tipo de elementos se define una esbeltez límite para la determinación de tensiones y otra para la determinación de deformaciones, según se indica en tabla 7.

Tabla 7 - Esbeltez compacta de elementos atiesados,  $(b/e)_c$  \*)

Perfil	Tensiones			Deformaciones		
	1. $(b/e)_c$	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>		2. $(b/e)_c$	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
		2 400	3 400		2 400	3 400
A. Laminado o armado	$2120/\sqrt{F_f}$	43,3	36,4	$2370/\sqrt{F_f}$	55,7	46,8
B. Plegado	$1860/\sqrt{F_f}$	38,0	31,9	$2400/\sqrt{F_f}$	49,0	41,2
C. Sección □ de espesor uniforme	$1990/\sqrt{F_f}$	40,6	34,1	$2560/\sqrt{F_f}$	52,3	43,9
D. Plancha perforada **)	$2550/\sqrt{F_f}$	52,1	43,7	--	--	--

\*) Para perfiles en flexión, la esbeltez compacta de los elementos en compresión se podrá incrementar en función de la tensión de trabajo,  $f_m$ , según lo indicado en gráficos 3 al 8.

\*\*) Para el cálculo de la tensión de compresión,  $f_c$ , considerar el área neta de la plancha en el agujero más ancho.

10.4.2 Ancho efectivo,  $b_e$ 

En aquellos elementos atiesados cuya esbeltez sea superior a los límites indicados anteriormente, su ancho plano,  $b$ , se reducirá a un ancho efectivo,  $b_e$ , de acuerdo a lo indicado en tabla 8.

Tabla 8 - Determinación del ancho efectivo,  $b_e$  <sup>1)</sup>

Para el cálculo de	Caso	Ancho efectivo $b_e$ <sup>2)</sup>	Gráfico
1) Tensiones	A	$b_e = \frac{2\,130\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{377}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	3
	B	$b_e = \frac{2\,130\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{465}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	4
	C	$b_e = \frac{2\,130\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{427}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	5
2) Deformaciones	A	$b_e = \frac{2\,750\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{487}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	6
	B	$b_e = \frac{2\,750\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{601}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	7
	C	$b_e = \frac{2\,750\,e}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{552}{b/e\sqrt{f}} \right] \leq b$	8

En esta tabla,  $f$  = tensión de trabajo cuyo valor es:

- a) en perfiles en flexión  $f = M/W_{ef} \leq 0,6 F_f$  <sup>3)</sup>;
- b) en perfiles en compresión y en perfiles en flexión compuesta  $f = 0,6 F_f$ .

- 1) Para ejemplos de ancho efectivo ver figuras 3 y 4.
- 2) Si  $b/e > 60$  y el elemento atiesado tiene sólo un borde rigidizado por un alma, el ancho efectivo,  $b_e$  calculado en esta tabla deberá reducirse a un ancho  $b'_e$  de acuerdo a la siguiente fórmula:  $b'_e = b_e - 0,1 (b - 60e)$  (Fórmula 1).
- 3)  $W_{ef}$  es el módulo resistente efectivo. Se calcula con el ancho efectivo correspondiente.

**10.4.3 Solicitaciones eventuales**

Cuando estos elementos están sometidos a tensiones producidas por cargas eventuales (ej. viento, sismo, montaje, etc.), según lo indicado en subpárrafo 9.1.2, el ancho efectivo par el cálculo de tensiones se determinará considerando la tensión de trabajo dividida por un coeficiente de reducción igual a 1,33 ó 1,5 dependiendo si existe una o dos eventualidades.

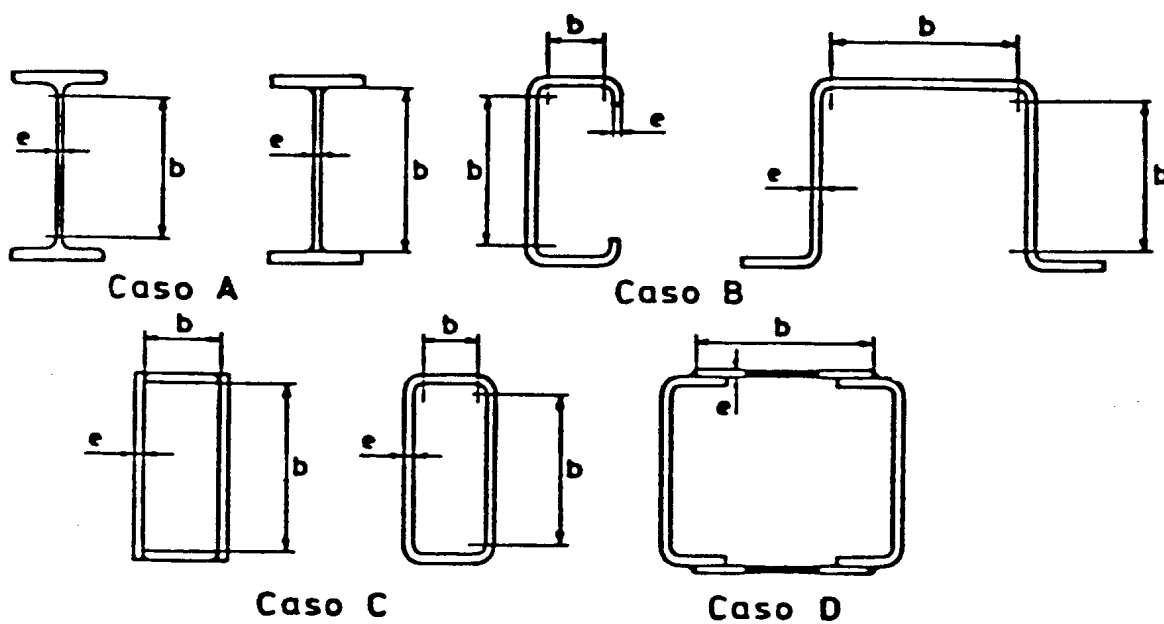


Figura 2 - Ancho plano  $b$  Elementos atiesados



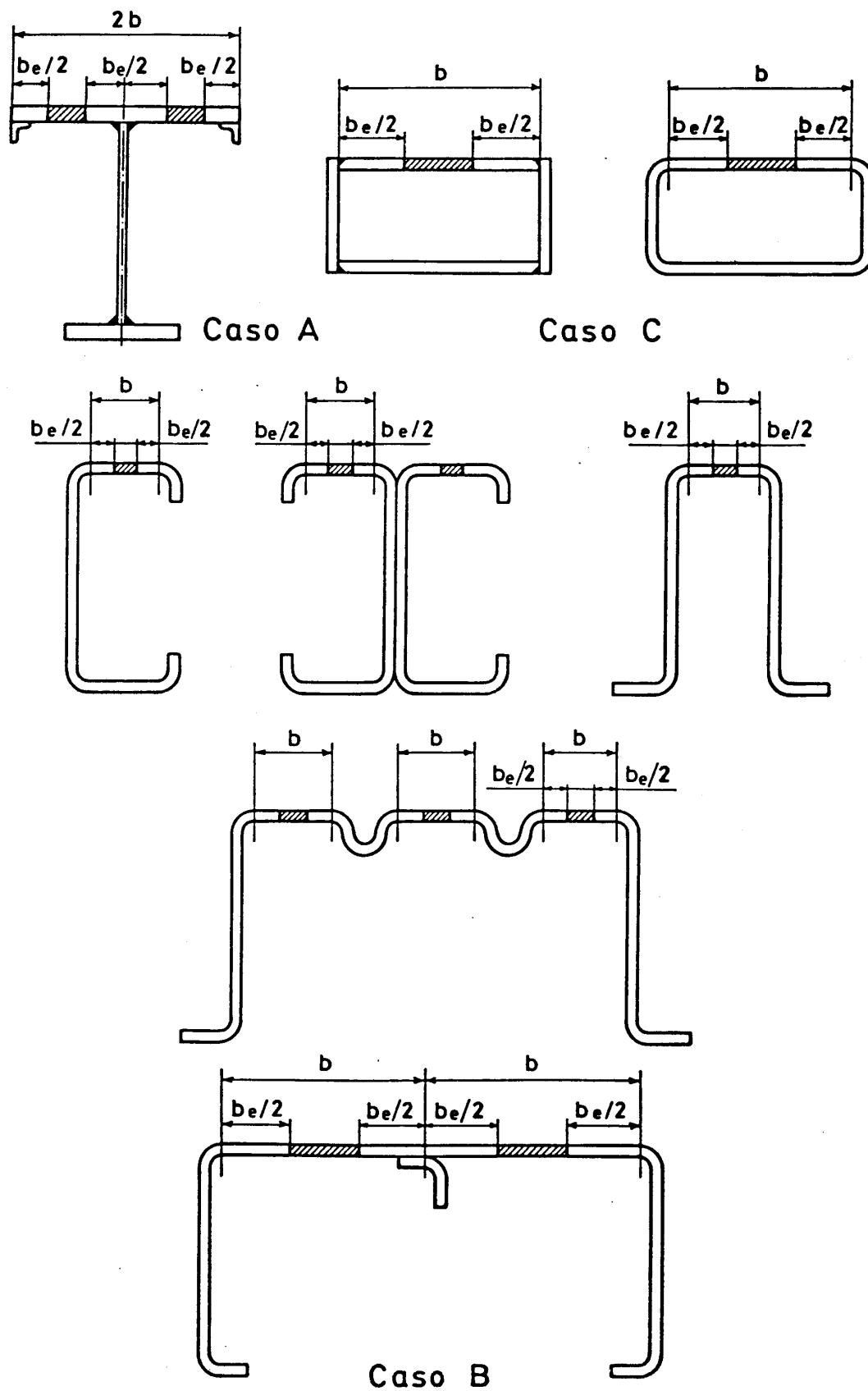


Figura 3 - Concepto ancho efectivo,  $b_e$  Perfiles en flexión

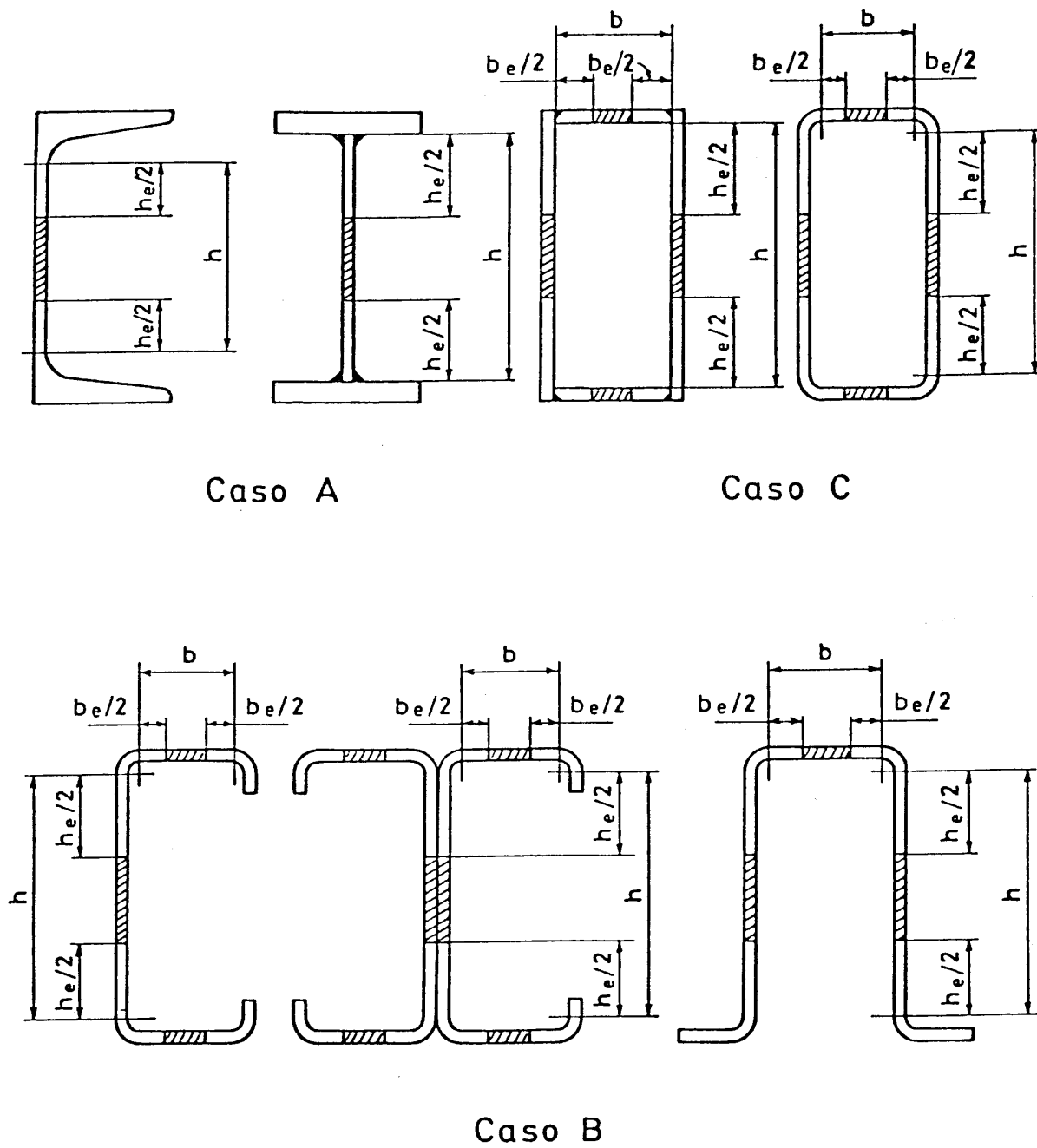


Figura 4 - Concepto ancho efectivo Perfiles en compresión

NOTA:  $h_e$  = ancho efectivo del alma  
 $b_e$  = ancho efectivo del ala

Gráfico 3  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de tensiones

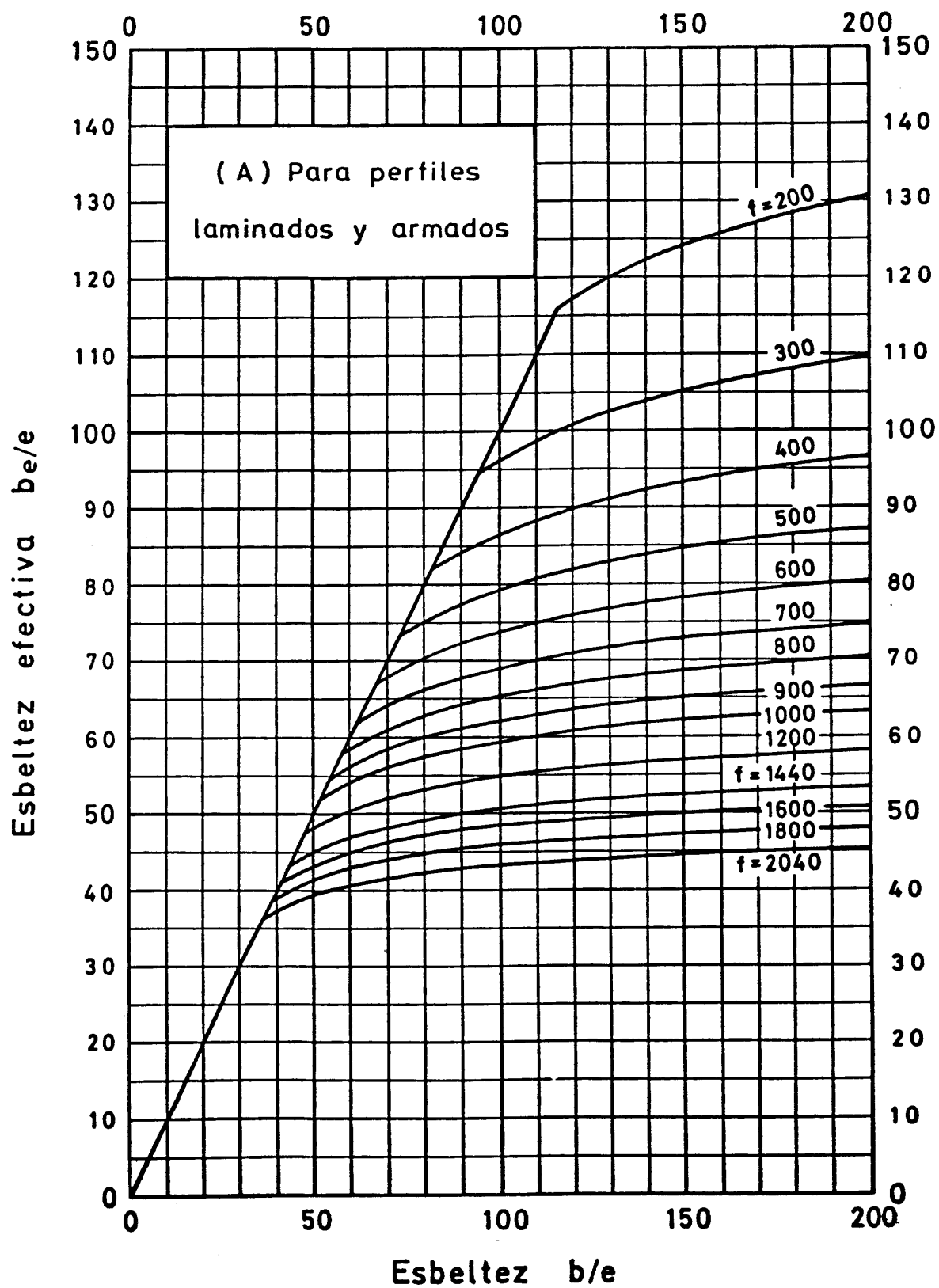


Gráfico 4  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de tensiones

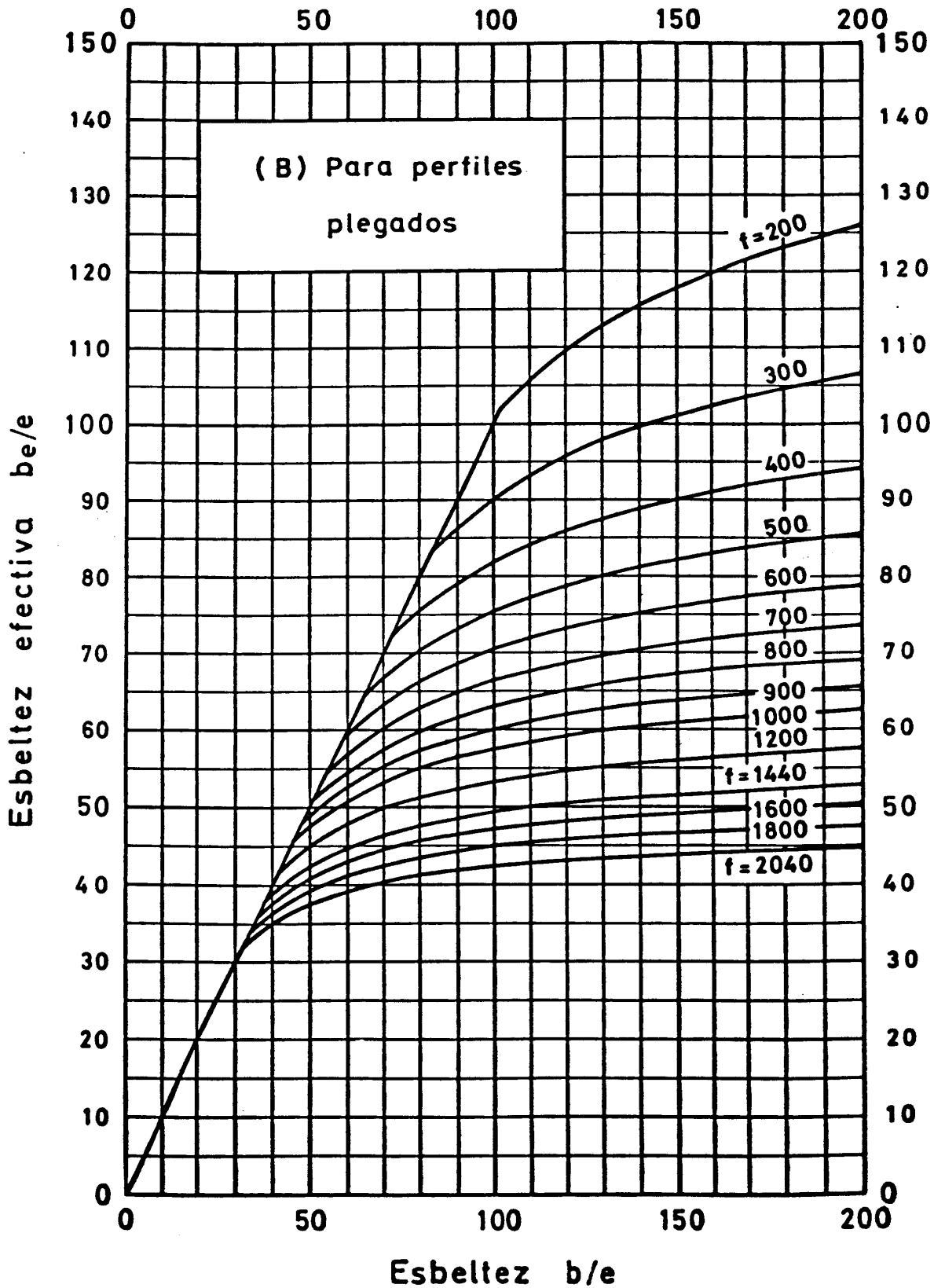


Gráfico 5  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de tensiones

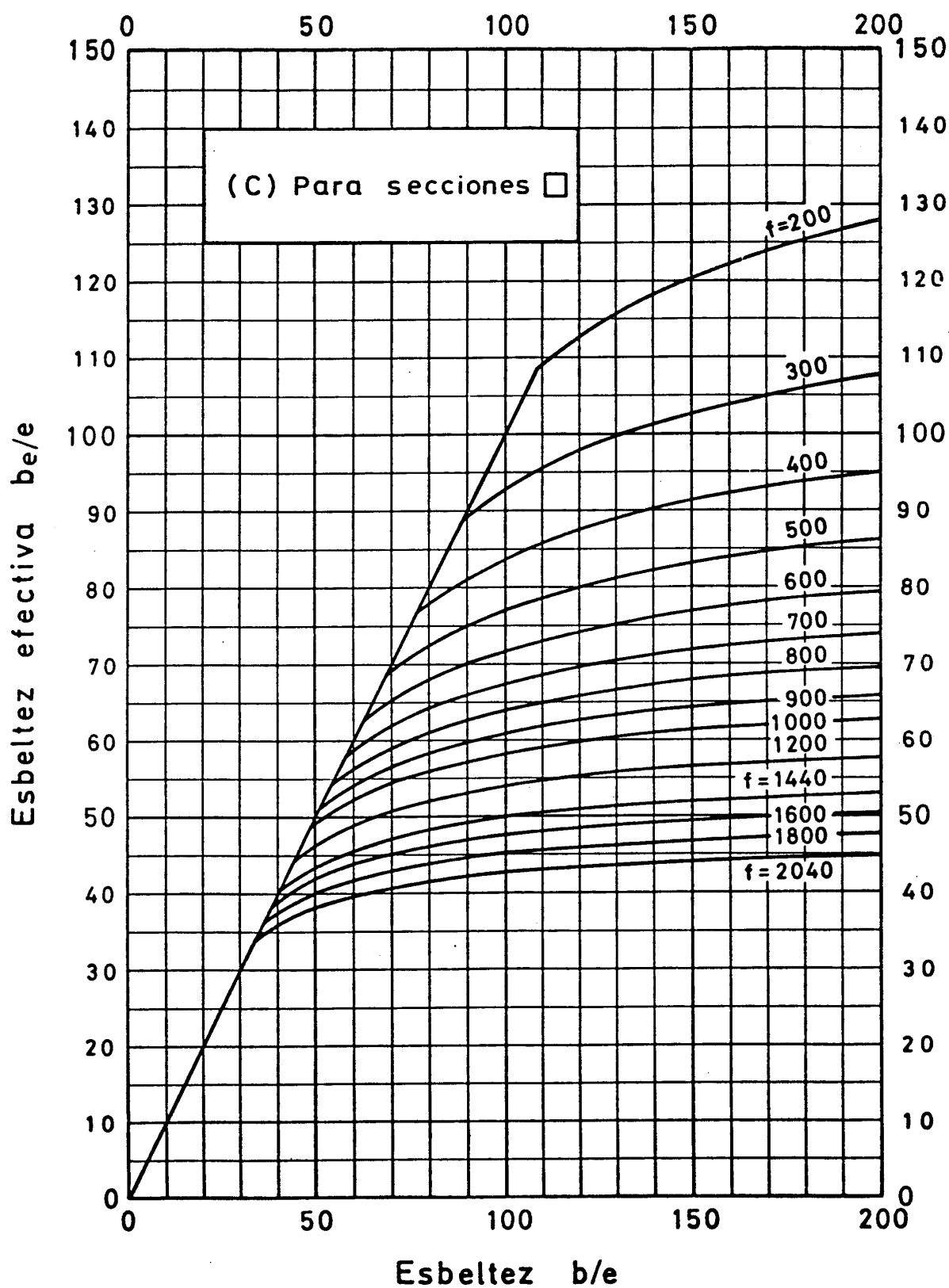


Gráfico 6  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de deformaciones

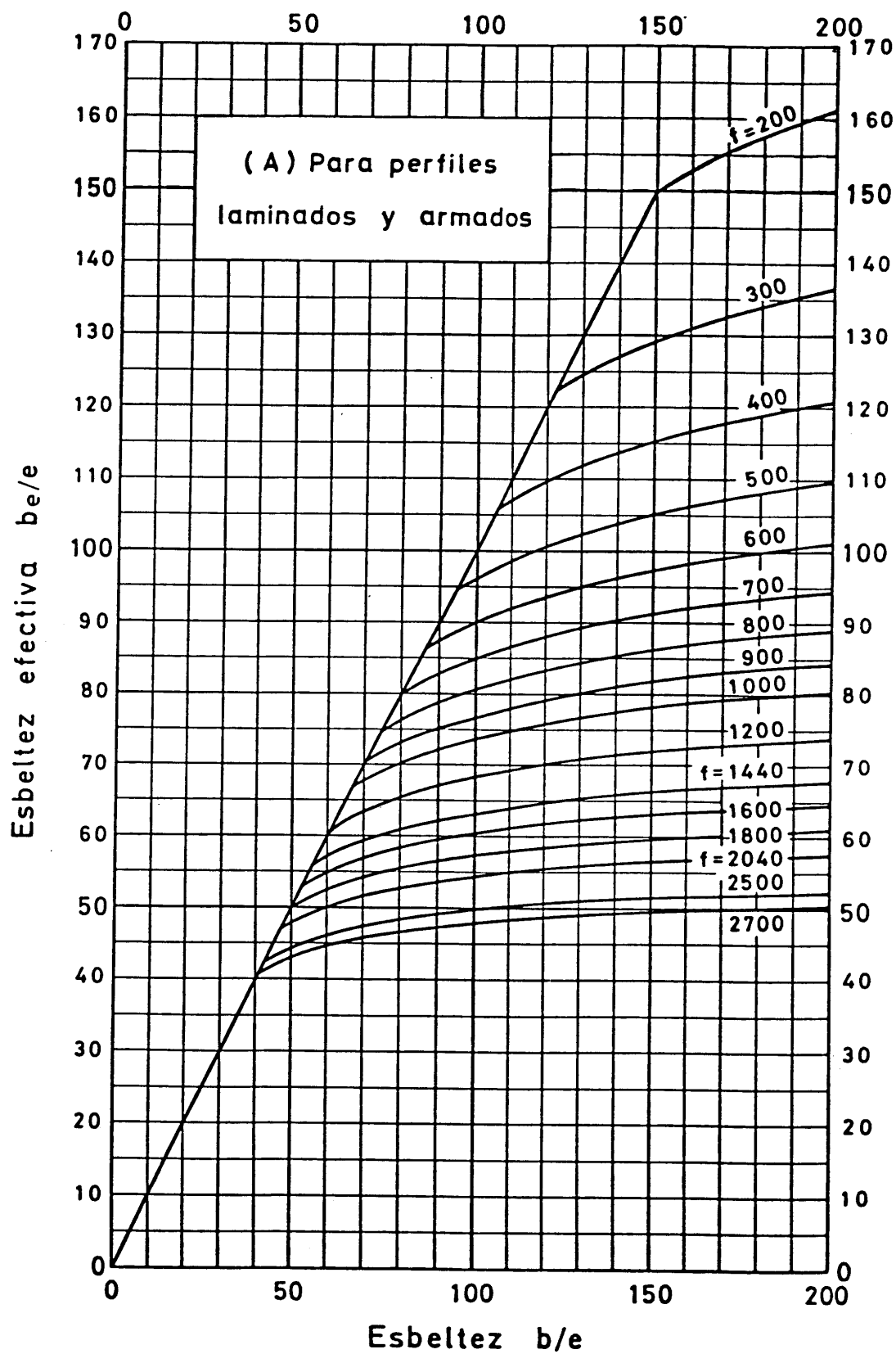


Gráfico 7  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de deformaciones

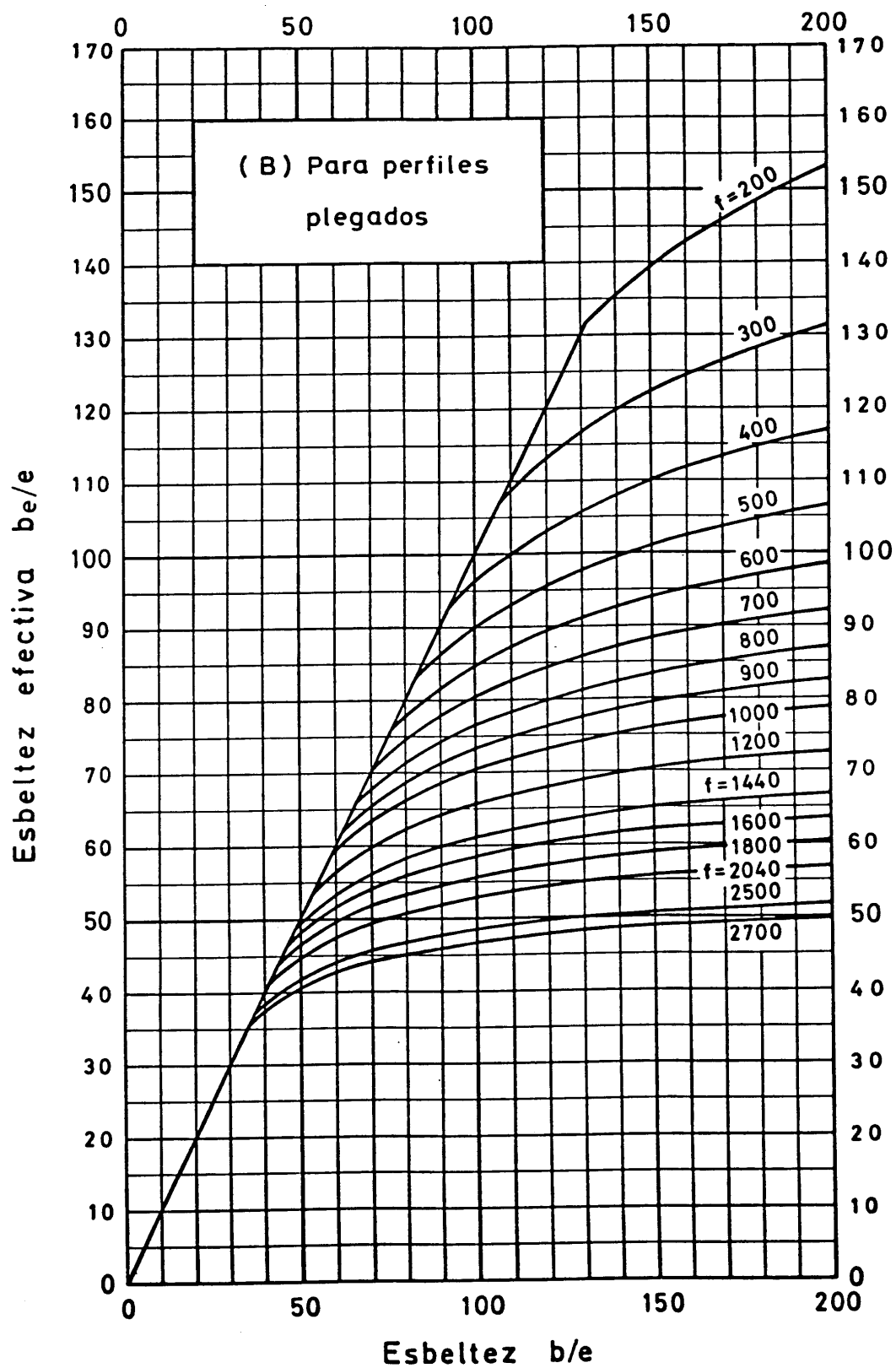
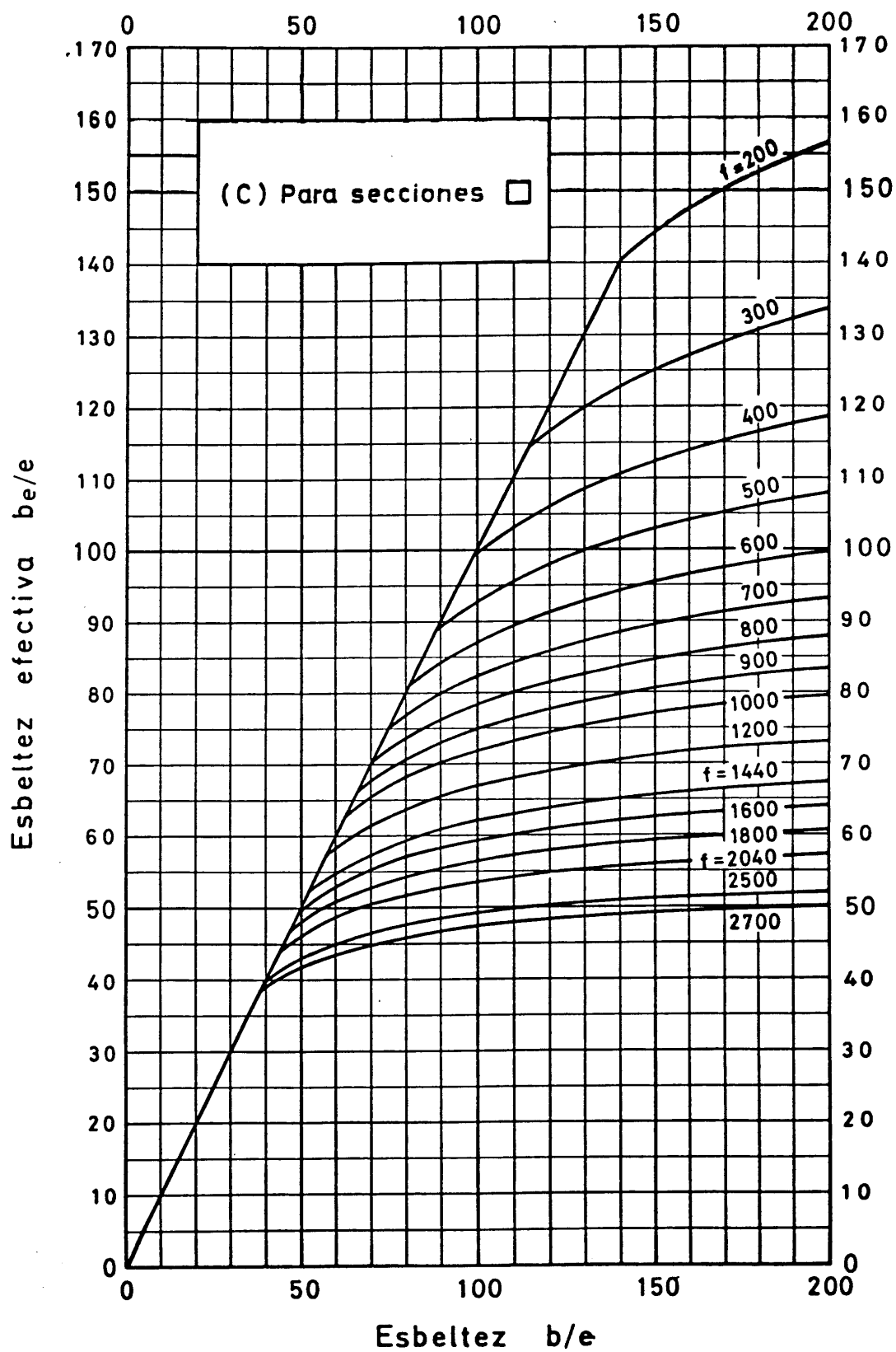


Gráfico 8  
 Esbeltez efectiva,  $b_e/e$   
 Cálculo de deformaciones





## 10.5 Elementos formados por subelementos atiesados y no atiesados en compresión uniforme

### 10.5.1 Subelementos no atiesados

Para los subelementos no atiesados se aplicará lo indicado en párrafo 10.3.

### 10.5.2 Subelementos atiesados

Para los subelementos atiesados se aplicará lo indicado en párrafo 10.4, considerando las siguientes modificaciones:

a) **Esbeltez compacta**,  $(b/e)_c$ : En el cálculo de la esbeltez límite de elementos compactos,  $(b/e)_c$ , la tensión de fluencia,  $F_f$ , se modificará por el menor factor de reducción de tensiones,  $Q_s$ , de los subelementos no atiesados.

b) **Tensión de trabajo**,  $f$ : En la determinación del ancho efectivo, el valor de la tensión de trabajo,  $f$ , será:

- 1) Para perfiles sometidos a flexión,  $f = M/W_{ef} \leq 0,6 F_f Q_s$
- 2) Para perfiles sometidos a flexión compuesta y para perfiles en compresión axial  $f = 0,6 F_f Q_s$

## 10.6 Atiesadores<sup>6)</sup>

### 10.6.1 Requerimientos mínimos

Los atiesadores de borde e intermedios deberán satisfacer los requisitos siguientes:

#### a) Atiesadores de borde

- 1) El momento de inercia de estos atiesadores, respecto a su eje centroidal paralelo al elemento atiesado no debe ser inferior a  $I_{\min}$  dado a continuación:

$$*) \quad I_{\min} = 1,83e^4 \sqrt{(b/e)^2 - 280\,000/F_f} \geq 9,2e^4 \quad (\text{Fórmula 2})$$

- 2) Para el caso de una atiesador formado por una pestaña simple (doblez de la plancha a 90° con respecto al elemento atiesado), el momento de inercia mínimo se cumple cuando la altura del atiesador es mayor o igual que:

$$*) \quad C_{\min} = 2,80e^3 \sqrt{(b/e)^2 - 280\,000/F_f} \geq 4,8e \quad (\text{Fórmula 3})$$

<sup>6)</sup> El centro de gravedad y el momento de inercia de una atiesador será el correspondiente al de un atiesador sin reducciones.

\*) Para valores de  $b/e$  y  $C_{\min}$  ver tabla 9

NCh427

b) **Atiesadores intermedios:** El momento de inercia mínimo será el doble del especificado para un atiesador de borde.

Tabla 9 - Requerimientos mínimos de una atiesador de borde

$b/e$	$I_{\min}/e^{\rightarrow}$		$C_{\min}/e$	
	$f_f = 2\ 400$	$F_f = 3\ 400$	$F_f = 2\ 400$	$F_f = 3\ 400$
10	9,2	9,2	4,8	4,8
12	9,6	14,4	4,9	5,6
14	16,3	19,5	5,8	6,2
16	21,6	24,1	6,4	6,6
18	26,4	28,4	6,8	7,0
20	30,8	32,6	7,2	7,3
25	41,3	42,6	7,9	8,0
30	51,2	52,3	8,5	8,6
35	60,9	61,9	9,0	9,1
40	70,5	71,3	9,5	9,5
45	79,9	80,7	9,9	9,9
50	89,3	90,0	10,2	10,3
55	98,7	99,3	10,6	10,6
60	108	109	10,9	10,9
70	127	127	--	--
80	145	145	--	--
90	164	164	--	--

### 10.6.2 Area efectiva, $(A_{at})_{ef}$

El área de los atiesadores a considerar en el cálculo de las propiedades de la sección, será función de la esbeltez de los elementos o subelementos a atiesar, según lo indicado en tabla 10.

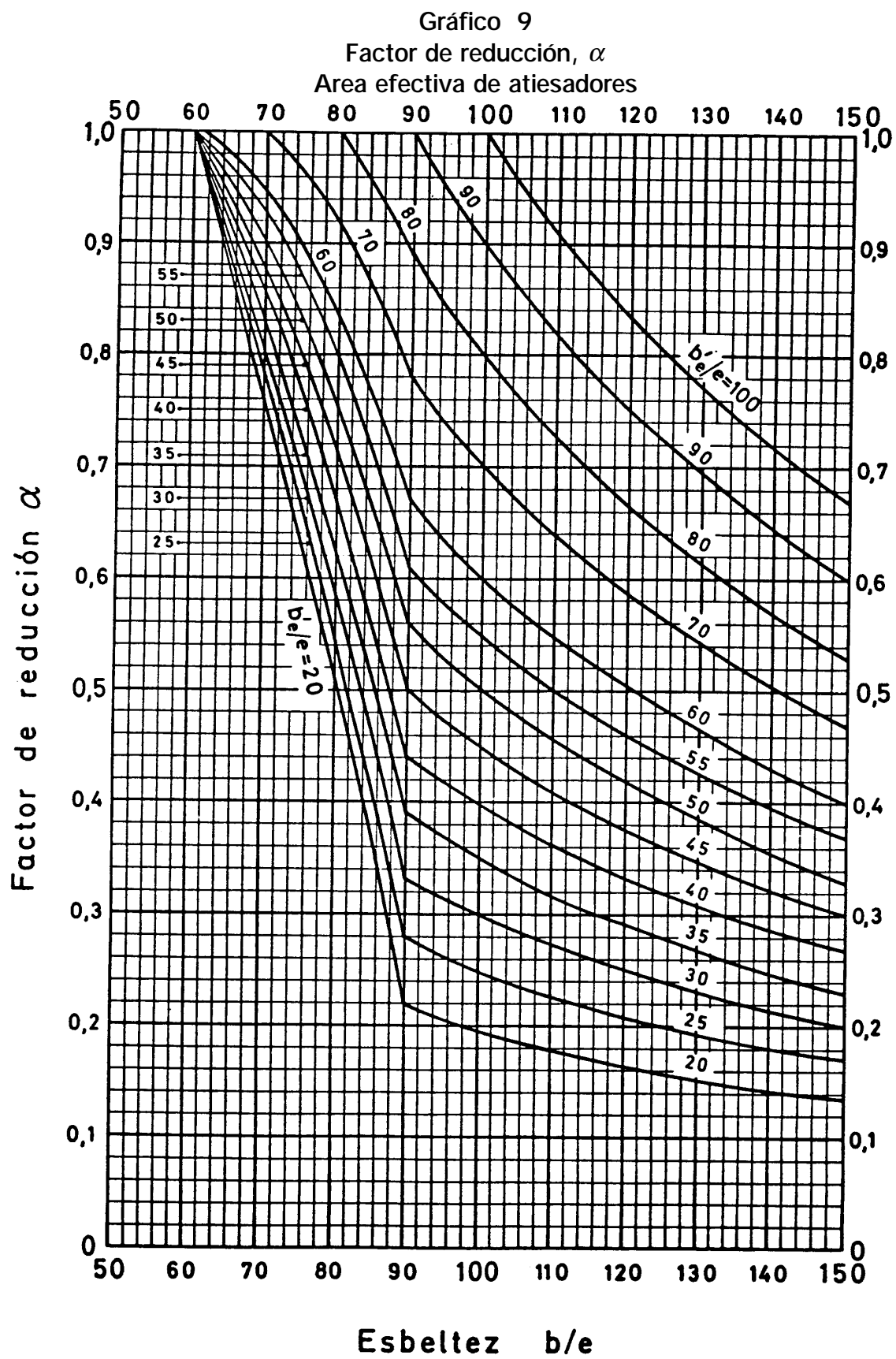
Tabla 10 - Area efectiva  $(A_{at})_{ef}$

Esbeltez	$(A_{at})_{ef}$
$b/e \leq 60$	$A_{at}$
$60 < b/e \leq 90$	$\alpha A_{at}^{*)}$
$b/e > 90$	$\alpha A_{at}^{**)}$

$$*) \quad \alpha = (3 - 2b'_e/b) - \frac{1}{30}(1 - b'_e/b)(b/e)$$

$$**) \quad \alpha = b'_e/b.$$

Para valores de  $\alpha$ , ver Gráfico 9.



### 10.6.3 Efectividad de los atiesadores en elementos multiatiesados

La efectividad de los atiesadores depende de la esbeltez de los subelementos según se indica a continuación:

a) **Esbeltez local menor o igual que  $(b/e)_c$**

Los atiesadores intermedios y de borde serán considerados efectivos si la esbeltez de los subelementos es  $b/e \leq (b/e)_c$ . En este caso, y sólo con el objeto de calcular la esbeltez total del elemento multiatiesado, se podrá emplear un espesor equivalente dado por:

$$e_{eq} = \sqrt[3]{12 I / b_{ma}} \quad (\text{Fórmula 4})$$

en que:

$I$  = momento de inercia del área total del elemento multiatiesado en torno a su eje centroidal,  $\text{cm}^4$ ;

$b_{ma}$  = proyección plana total del elemento multiatiesado descontando solamente las esquinas redondeadas de los bordes extremos.

b) **Esbeltez local mayor que  $(b/e)_c$**

Si la esbeltez de los subelementos es  $b/e > (b/e)_c$ , deberá considerarse efectivos solamente los atiesadores vecinos al alma.

### 10.7 Esbeltez máxima admisible en elementos atiesados y no atiesados en compresión uniforme, $(b/e)_{\text{máx}}$

De acuerdo al tipo de atiesador de borde, en tabla 11 se entregaran los límites de esbeltez admisible y recomendable.

Tabla 11 - Esbeltez máxima admisible,  $(b/e)_{\text{máx}}$ 

Casos	Esbeltez, $(b/e)_{\text{máx}}$ <sup>**) </sup>	
	Admisible	Recomendable
A. Elemento no atiesado	60	30
B. Elemento atiesado <sup>*)</sup> con un borde unido a un alma o ala y el otro a:		
1) Un atiesador simple.	60	60
2) Cualquier otro tipo de atiesador.	90	90
C. Elemento atiesado <sup>*)</sup> con ambos bordes unidos a otros elementos atiesados	500 <sup>***)</sup>	250

<sup>\*)</sup> En elementos multatiesados, el ancho plano b, a considerar, será el ancho plano entre atiesadores extremos.

<sup>\*\*)</sup>  Para esbelteces mayores a las recomendadas, es posible que se produzcan deformaciones apreciables a simple vista, sin que éstas afecten la capacidad resistente del perfil.

<sup>\*\*\*)</sup> Para esbelteces mayores de 500, las fórmulas indicadas en esta especificación podrían no ser aplicables debido a la deformación excesiva de éstos. Ello no significa que no puedan ser usados con seguridad para resistir cargas.

## 10.8 Control de la ondulación en vigas con alas excesivamente anchas

Si se desea limitar el valor máximo de la ondulación o deformación del ala hacia el eje neutro en alas atiesadas o no atiesadas, traccionadas y/o comprimidas, se determinará un ancho efectivo máximo  $(b_e)_{\text{máx}}$  dado por:

$$(b_e) = \sqrt{\frac{126\,000eH}{f_{pr}}} \sqrt[4]{\frac{100C_o}{H}} \quad (\text{Fórmula 5})$$

en que:

$C_o$  = monto de la ondulación ( $C_o = 0,05 H$  se considerará aceptable), cm;

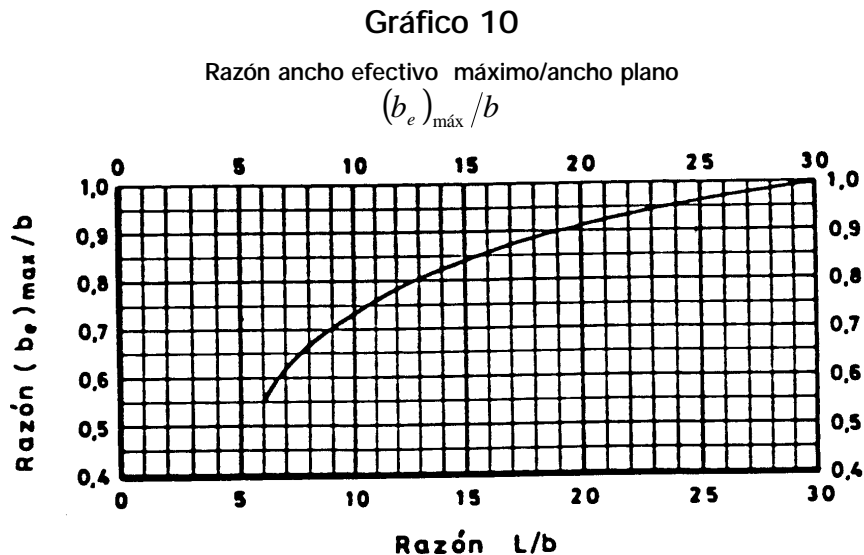
$e$  = espesor del ala, cm;

$f_{pr}$  = tensión promedio en el ancho total del ala igual a  $f(b_e/b)$ , kgf/cm<sup>2</sup>;

$(b_e)_{\text{máx}}$  = ancho proyectante desde el alma (para vigas U o □ equivale a la mitad de la distancia entre las almas), cm.

## 10.9 Vigas extremadamente cortas solicitadas por cargas concentradas

Cuando la luz de una viga sea inferior a  $30 b$  y ésta se encuentre solicitada por una o varias cargas concentradas separadas entre sí a una distancia superior a  $2 b$ , el ancho efectivo de cualquier ala atiesada, ya sea traccionada o comprimida, no deberá exceder los límites indicados en Gráfico 10.



- $L$  = distancia entre apoyos en vigas simplemente apoyadas; distancia entre puntos de inflexión, en vigas continuas y dos veces la luz, en el caso de vigas en voladizo;
- $b$  = ancho plano para elementos no atiesados:
- mitad del ancho plano, en elementos atiesados en sus extremos por almas; y
  - suma del ancho plano del ala más el alto del atiesador del borde, en el caso de un elemento atiesado en sus extremos por un alma y un atiesador de borde

## 11 Tensiones admisibles

### 11.1 Tensión base admisible, $F_b$

Se entiende por tensión base,  $F_b$ , a la tensión admisible del material para una sollicitación pura, sin interacción con otro tipo de tensiones y sin consideraciones de pandeo local o general.

De acuerdo al tipo de sollicitación, se tienen los siguientes valores para la tensión base,  $F_b$ .

Tabla 12A - Tensiones base de tracción, compresión, flexión y corte,  $F_b$ 

Tipo de solicitación		Tensión base	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
		$F_b$	2 400	3 400
A.	TRACCION			
	1) En el área neta (ver subpárrafo 15.2.4 b)	$F_t = 0,60 F_f$ <sup>1)</sup>	1 440	2 040
	2) En todo caso	$F_t \leq 0,50 F_u$ <sup>1)</sup>	1 850	2 600
	3) En bielas o planchas unidas con pasadores (en la sección neta en donde va el pasador)	$F_t = 0,45 F_f$	1 080	1 530
B.	COMPRESION			
	En el área total <sup>2)</sup>	$F_c = 0,60 F_f$	1 440	2 040
C.	FLEXION			
	En la fibra extrema en compresión o tracción <sup>3)</sup>	$F_m = 0,60 F_f$	1 440	2 040
D.	CORTE			
	En la sección total de corte $A_v$ <sup>4)</sup>	$F_v = 0,40 F_f$	960	1 360

<sup>1)</sup>  $F_f$ ,  $F_u$  = Tensión de fluencia, ruptura especificadas, kgf/cm<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup> La tensión base de compresión estará afecta a reducciones por pandeo local (10.3), y por pandeo general (11.7).

<sup>3)</sup> La tensión base de flexión podrá ser incrementada en secciones plásticas y semiplásticas, de acuerdo a lo indicado en subpárrafo 11.2.2.

La tensión de compresión por flexión,  $F_{mc}$ , estará afecta a las siguientes reducciones:

- Por pandeo local (ver párrafo 10.2).
- Por pandeo lateral torsional [ver párrafo 11.2.4 b)].
- Por pandeo del alma para secciones esbeltas (ver subpárrafo 11.2.4 c).

<sup>4)</sup>  $A_v$  = h, t, área de corte en que:

h, t = altura y espesor del alma respectivamente, cm.

Tabla 12B - Tensión base de aplastamiento,  $F_b$ 

Tipo de solicitación		Tensión base	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
E.	APLASTAMIENTO	$F_b$	2 400	3 400
	1) En el alma de perfiles laminados o armados(en la raíz de los filetes que unen el alma con el ala)	$F_{ap} = 0,75 F_f$	1 800	2 550
	2) En el área de contacto de superficies no cepilladas de atesadores de carga	$F_{ap} = 0,75 F_f^{*)}$	1 800	2 550
	3) En el área de contacto de superficies cepilladas de atesadores de carga	$F_{ap} = 0,90 F_f^{*)}$	2 160	3 060
	4) En agujeros de pasadores, escariados o taladrados	$F_{ap} = 0,90 F_f^{*)}$	2 160	3 060
	5) En las áreas proyectadas (d · e) de remaches y pernos corrientes, y de pernos de alta resistencia en uniones tipo aplastamiento <sup>**)</sup>	$F_{ap} = 1,35 F_f$	3 240	4 590
	6) En rodillos y rótulas, $F_{ap}$ , en kgf/cm (d = diámetro del rodillo o rótula de oscilación, cm)	$F_{ap} = \frac{(F_f - 910)}{1400} 46d$	490 d	82 d

\*)  $F_f$  = tensión de fluencia menor de los elementos en contacto.

\*\*)  $F_f$  = tensión de fluencia de la parte conectada, kgf/cm<sup>2</sup>.

$d$  = diámetro del conector, cm.

$e$  = espesor del material a unir, cm.

No hay restricción para el tipo de unión por fricción. (En este tipo de unión se usan pernos de alta resistencia A325 o A490).

NOTA - En perfiles plegados, la tensión de fluencia  $F_f$  puede ser incrementada al considerar el trabajo de formado en frío. Ver anexo A.



## 11.2 Flexión

### 11.2.1 Generalidades

La tensión admisible de flexión,  $F_m$ , de la sección de una viga, independientemente de su estabilidad general, está determinada por la esbeltez de los elementos componentes. Por esta razón, se ha hecho una clasificación de las secciones que permita un estudio más racional de los problemas de inestabilidad local a que dichos elementos están afectos. (Ver subpárrafos 11.2.2 y 11.2.3).

Por otra parte, atendiendo a los problemas de inestabilidad general de una viga, en subpárrafo 11.2.4 se entregan en un primer inciso [11.2.4 a)] las tensiones máximas admisibles  $(F_m)_{\text{máx}}$ , en base a la clasificación de las secciones ya aludidas, de vigas no afectas a pandeo lateral-torsional, y en un segundo inciso [11.2.4 b)] se entrega la tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}$ , de vigas afectas a pandeo lateral-torsional.

Por último, en inciso [11.2.4 c)], se analizan los problemas originados por el pandeo local (inestabilidad local) a que están afectas las secciones esbeltas, y en inciso [11.2.4 d)] la interacción con corte.

### 11.2.2 Clasificación de las secciones

Atendiendo al tipo de sollicitación flexión pura, las secciones de una viga se clasifican en: Plásticas (p), Semiplásticas (sp), Compactas (c) y Esbeltas (e). Los requisitos que estas secciones deben cumplir se dan a continuación:

Tabla 13 - Clasificación de las secciones

Sección	Elemento	Requerimientos	
		Esbeltez *)	Adicionales
A. Plástica (p)	Ala	1) $b/e \leq (b/e)_p$	a) Simetría respecto al plano de flexión
	Alma	2) $H/t \leq (H/t)_p$	b) Unión continua entre las alas y el alma c) No ser sección híbrida d) No ser sección plegada
B. Semiplástica **) (sp)	Ala	1) $(b/e)_p < b/e < (b/e)_c$	Idem A
	Alma	2) $h/t \leq (h/t)_c$	
C. Compacta (c)	Ala	1) $b/e \leq (b/e)_c$	
	Alma	2) $h/t \leq (h/t)_c$	
D. Esbelta (e)	Ala	1) $(b/e)_c < b/e \leq (b/e)_{\text{máx}}$	
	Alma	2) $(h/t)_c < h/t \leq (h/t)_{\text{máx}}$	

\*) Para la determinación de las esbelteces límites, ver tabla 14.

\*\*) Aplicable sólo a vigas I con alas no atiesadas.

Tabla 14 - Esbeltez límites

Esbeltez	Elemento	Condición	Esbeltez límite	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
				2 400	3 400
A. Plástica	Ala	No atiesada	1) $(b/e)_p = 430 \sqrt{F_f}$	8,8	7,4
		Atiesada	2) $(b/e)_p = 1560 \sqrt{F_f}$	31,8	26,8
	Alma		3) Si $f_c / F_f \leq 0,16$ $(H/t)_p (1 - 2,33 f_c / F_f) 3450 / \sqrt{F_f}^{*)}$ 4) Si $f_c / F_f > 0,16$ $(H/t)_p = 2160 / \sqrt{F_f}$	Gráf.	11
B.Com- pacta	Ala	No atiesada	1) $(b/e)_c =$ ver tabla 4		
		Atiesada	2) $(b/e)_c =$ ver tabla 7		
	Alma		3) $(h/t)_c = 8300 / \sqrt{F_f}$ (1)**) 4) $(h/t)_c = 7850 / \sqrt{F_f}$ (2)	169 160	142 135
C. Máxima	Ala	No atiesada	1) $(b/e)_{\text{máx}} =$ ver tabla 11		
		Atiesada	2) $(b/e)_{\text{máx}} =$ ver tabla 11		
	Alma	Si $a/h > 1,5$ Si $a/h \leq 1,5$	3) $(h/t)_{\text{máx}} = \frac{1000000}{\sqrt{F_f}(F_f + 1160)}$ (1)**) 4) $(h/t)_{\text{máx}} = 17000 / \sqrt{F_f}$ (1)**)	342 347	254 292
		Sin atiesadores	5) $(h/t)_{\text{máx}} = 150$ (2)	150	150
		Con atiesadores	6) $(h/t)_{\text{máx}} = 200$ (2)	200	200

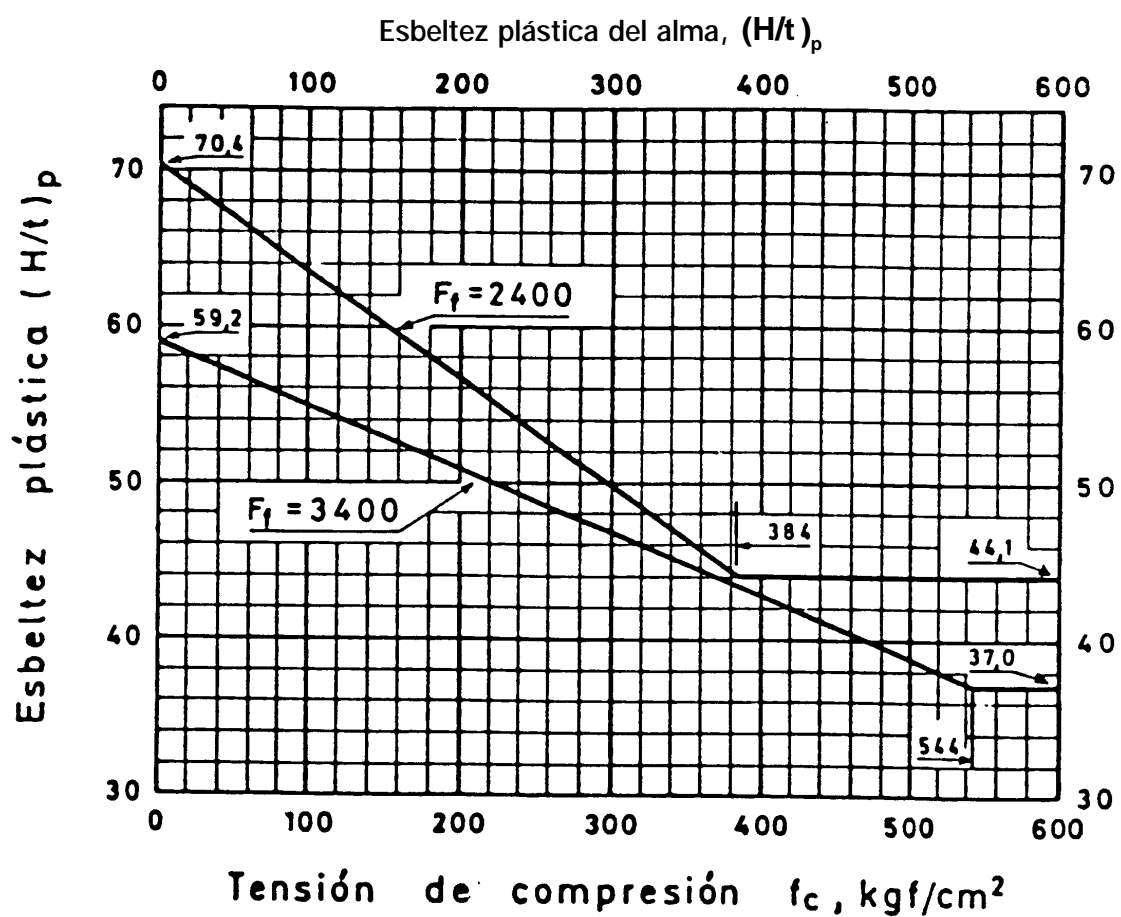
\*)  $F_c$  = tensión de trabajo por compresión axial.

\*\*)  $F_f$  = tensión de fluencia del ala comprimida.

(1) = perfil armado.

(2) = perfil plegado.

Gráfico 11



## 11.2.3 Características de las secciones

## a) Sección plástica

Se entiende por sección plástica aquella que puede alcanzar la tensión de fluencia,  $F_f$ , en todas sus fibras (plastificación de la sección) sin que exista pandeo local de sus elementos componentes. Esta característica permite aplicar los siguientes conceptos:

1) Coeficiente de forma,  $Z/W$ 

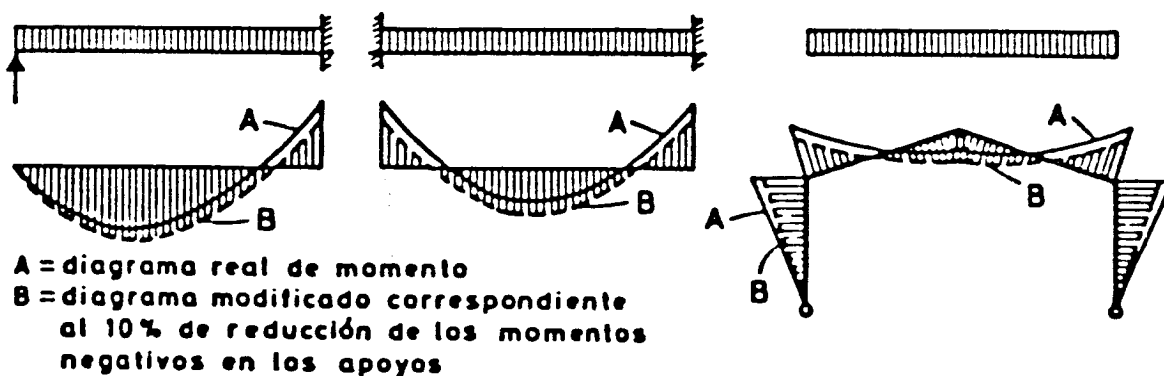
Este concepto permite aumentar la tensión básica de flexión  $F_m = 0,6F_f$ , en un 10% para perfiles I o similares y, en un 25% para perfiles de sección llena y perfiles I flectados con respecto al eje menor.

## 2) Redistribución de momentos

En vigas con este tipo de sección, continuas o empotradas o columnas<sup>7)</sup> y en las  $L_m \leq L_p$  (ver tabla 16), pueden ser dimensionadas considerando 9/10 de los momentos negativos en los apoyos, siempre que el momento positivo en el tramo sea incrementado en 1/10 del promedio de los momentos negativos en los apoyos correspondientes (ver figura 5)<sup>8)</sup>. Si el momento negativo es resistido por una columna rigidamente unida a la viga, la reducción de 1/10 puede emplearse en el dimensionamiento de la columna para la acción compuesta de flexión y compresión siempre que la tensión de trabajo  $f_c$  no exceda de  $0,15 F_c$ .

Figura 5

Concepto redistribución de momentos  
Secciones plásticas



<sup>7)</sup> En la unión se debe emplear remaches, pernos de alta resistencia o soldadura.

<sup>8)</sup> Esta reducción no se aplicará a los momentos producidos por cargas aplicadas en vigas en voladizo.

- b) **Sección semiplástica:** Es una sección de transición entre una sección plástica y una sección compacta por lo que su tensión admisible máxima por flexión se encuentra comprendida entre las correspondientes a estas dos secciones. En vigas con este tipo de sección no es aplicable el concepto de redistribución de momento.
- c) **Sección compacta:** Se entiende por sección compacta aquella cuyos elementos componentes (ala y/o alma) no se encuentran afectados a pandeo local para una tensión  $F_f$  en su fibra extrema, en consecuencia, su tensión admisible máxima será  $0,6 F_f$ .
- d) **Sección esbelta:** Se entiende por sección esbelta aquella cuyos elementos componentes, al estar solicitados por tensiones de compresión por flexión, pueden estar afectados a: pandeo local del ala comprimida y/o a pandeo del alma por flexión; en consecuencia, su tensión admisible será función de la esbeltez de sus elementos componentes.

#### 11.2.4 Tensión admisible de flexión, $F_m$

La tensión de trabajo por flexión,  $f_m = M/W$ , debe ser menor o igual a la tensión admisible indicada a continuación según corresponda:

##### a) En vigas no afectas a pandeo lateral-torsional, $(F_m)$ máx.

De acuerdo al tipo de sección (tabla 13, Clasificación de las secciones), la tensión máxima admisible de flexión,  $(F_m)$  máx., será la indicada en tabla 15, siempre que no exista inestabilidad general de la viga, para lo cual, la distancia entre arriostramientos laterales,  $L_m$ , deberá ser menor o igual a la indicada en tabla 16 ( $L_p$  o  $L_c$ ).

Tabla 15 - Tensión máxima admisible,  $(F_m)$  máx.  
Vigas no afectas a pandeo lateral-torsional

Sección	Eje de flexión	Tensión máxima admisible	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>
		$(F_m)$ máx.	2 400 3 400
A. Plástica (p)	x-x	1) $(F_m)$ máx. = $0,66 F_f$	1 580 2 240
	y-y	2) $(F_m)$ máx. = $0,75 F_f$ <sup>*)</sup>	1 800 2 550
B. Semi-plástica (sp)	x-x	1) $(F_m)$ máx. = $[0,728 - 0,000158\sqrt{F_f(b/e)}] F_f$	Gráf. 12
	y-y	2) $(F_m)$ máx. = $[0,928 - 0,000405\sqrt{F_f(b/e)}] F_f$	
C. Compacta (c)		$(F_m)$ máx. = $0,60 F_f$	1 440 2 040
D. Esbelta (e)		$(F_m)$ máx. = $0,60 F_f$ <sup>**) )</sup>	1 440 2 040

<sup>\*)</sup> Esta tensión es válida, además, para barras redondas o cuadradas, y para barras rectangulares flectadas con respecto al eje menor.

<sup>\*\*) )</sup> En alas no atiesadas, si  $(b/e) > (b/e)_c$ ,  $(F_m)$  máx. debe reducirse por el factor  $Q_s$  (Para  $Q_s$  ver tabla 5)

Gráfico 12

Tensión máxima de flexión,  $(F_m)_{\text{máx.}}$   
 Vigas no afectadas a pandeo lateral-torsional

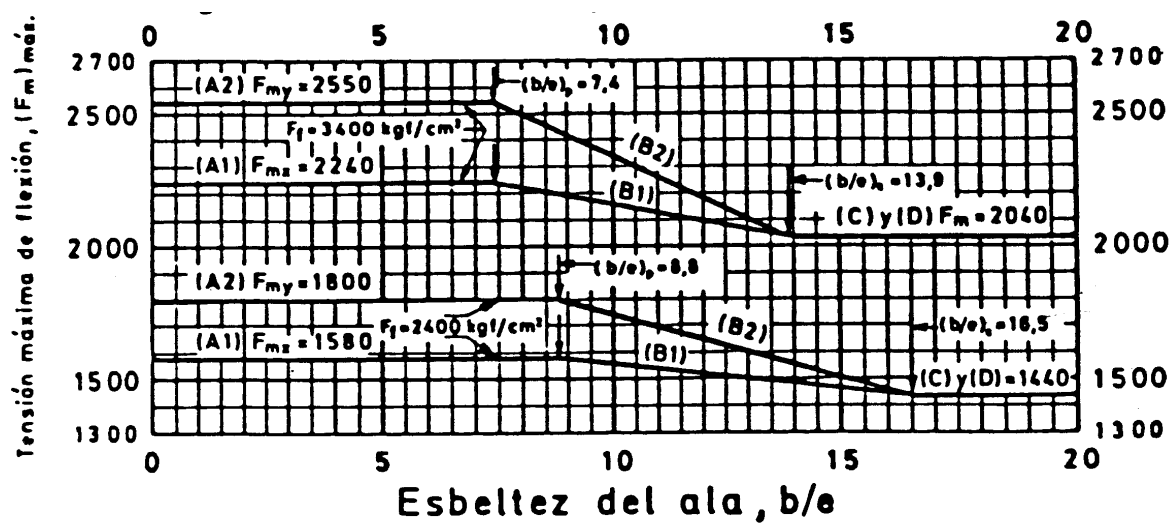


Tabla 16 - Distancia entre arriostramientos  $L_p$  y  $L_c$ 

Sección	Tipo de perfil	Distancia $L_p$ o $L_c$	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
			2 400	3 400
A. Plástica	I o similar	$L_p$ es el menor valor entre		
		1) $640B/\sqrt{F_f}$ y	13,1 B	11,0 B
		2) $1370000i_t/F_f$	$571 i_t$	$403 i_t$
B.Semi-plástica	I	Idem A	Idem A	Idem A
C.Compacta y D.Esbelta	1) I simétrica respecto al plano de flexión  Se incluye secciones C	$L_c$ es el mayor valor entre *)  a) $2730i_a/(K_a\sqrt{F_f})$  b) $1370000i_t/(K_t\sqrt{F_t})$	$55,7 i_a/K_a$   $571 i_t/K_t$	$46,8 i_a/K_a$   $403 i_t/K_t$
	2) <input type="checkbox"/> flectado según el eje mayor	$L_c = 175000B/F_f$	72,9 B	51,5 B
	3) Z con simetría puntual	$L_c = 1930i_a/(K_a\sqrt{F_f})$ *)	$39,4 i_a/K_a$	$33,1 i_a/K_a$
	4) S con $I_x > L_y$	$L_c = 4250i_a/(K_a\sqrt{F_f})$ **)	$86,7 i_a/K_a$	$72,9 i_a/K_a$
	5) Otros	$L_c = 640B/\sqrt{F_f}$	13,1B	11,0B

\*) Si el ala comprimida tiene una esbeltez mayor que  $(b/e)_c$  para elementos no atiesados,  $L_c$  se puede incrementar multiplicando por el factor  $\sqrt{10-9Q_s}$  la fórmula a y por el factor  $1/Q_s$  la fórmula b). Para fórmula D3 usar el factor  $\sqrt{10-9Q_s}$ .

\*\*) Si la tensión máxima de compresión queda controlada por la tensión del ala traccionada,  $L_c$  se puede incrementar de acuerdo con la tensión máxima admisible determinada por la tracción.

En tablas 13 a 18, se han empleado los siguientes términos:

$B$	=	ancho del ala comprimida, cm
$H$	=	altura de la viga, cm
$b$	=	ancho plano, cm
$e$	=	espesor del ala comprimida, cm
$t$	=	espesor del alma, cm
$F_f$	=	tensión de fluencia del ala comprimida, kgf/cm <sup>2</sup>

## NCh427

- $L_m$  = distancia entre arriostramientos laterales del ala comprimida, cm
- $i_t$  =  $Be/H$ , (0,833  $Be/H$  para vigas  $I$  con un eje de simetría), radio de giro ficticio que considera la resistencia a la torsión de una viga, cm
- $i_a$  =  $\sqrt{HI_{yc}/W_{xc}}$ ; radio de giro que considera la resistencia al alabeo de la zona comprimida de una viga, cm (Para perfiles  $S$ ,  $i_a = i_y$  de la zona comprimida)
- $I_{yc}$  = momento de inercia de la zona comprimida según el eje de gravedad paralelo al alma de la sección total del perfil,  $\text{cm}^4$
- $W_{xc}$  = módulo resistente de la sección total del perfil, referido a la fibra extrema en compresión,  $\text{cm}^3$
- $K_a$  =  $1/\sqrt{C_m}$
- $K_t$  =  $1/C_m$
- $C_m$  = coeficiente de momento (véase fórmula 6)

NOTA - Para valores de  $K_a$  y  $K_t$ , ver gráfico 13.

### b) En vigas afectas a pandeo lateral-torsional, $F_{mc}$

- 1) La tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}$ , será el mayor valor entregado por la resistencia al alabeo,  $F_{cm}^A$  (tabla 17) y la resistencia a la torsión  $F_{mc}^T$  (tabla 18).
- 2) La determinación de la tensión admisible,  $F_{mc}^A$ , puede ser afinada considerando la resistencia a la torsión de la viga. Para esto se empleará un radio de giro al alabeo equivalente ( $i_a$ ) equivalente (ver nota) en las fórmulas que entregan la resistencia al alabeo de la viga.



Tabla 17 - Tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}^A$   
 Vigas afectas a pandeo lateral-torsional.  
 (Resistencia al alabeo)

Perfil	Esbeltez	Tensión admisible	Factor de seguridad	Gráfico
	$K_a L_m / i_a$	$F_{mc}^A$	$FS$	
A. $I$ simétrica respecto al plano de flexión  Se incluye sección $C^{2)}$	$> 0,425 C_e^{1)}$ y $\leq 0,950 C_e$	1) $F_{mc}^A = \frac{I}{FS} \left[ 1 - \frac{(K_a L_m / i_a)^2}{1,8 C_e^2} \right] F_f$	1,50	14
	$> 0,950 C_e$ y $\leq 200$	2) $F_{mc}^A = \frac{I}{FS} \frac{\pi^2 E}{(K_a L_m / i_a)^2}$	1,67	
B. Z con simetría puntual	$> 0,300 C_e$ y $\leq 0,670 C_e$	1) $F_{mc}^A = \frac{I}{FS} \left[ 1 - \frac{(K_a L_m / i_a)^2}{0,9 C_e^2} \right] F_f$	1,50	
	$> 0,670 C_e$ y $\leq 200$	2) $F_{mc}^A = \frac{I}{FS} \frac{\pi^2 E}{(K_a L_m / i_a)^2}$	3,33	
C. S con $I_x > I_y$	$> 0,660 C_e^{3)}$ y $\leq 200$	$F_{mc}^A = \frac{I}{FS} \frac{\pi^2 E}{(K_a L_m / i_a)^2}$	1,92 (23/12)	<sup>4)</sup> 29

En esta tabla:

$$C_e = \sqrt{2\pi E / F_f}, \text{ esbeltez de Euler.}$$

- 1) Si la esbeltez del ala comprimida es superior a  $(b/e)_c$  para elementos no atiesados:

$$K_a L_m / i_a > 0,425 C_e \sqrt{10 - 9 Q_s}$$

- 2) En vigas C y Z de espesor menor que 5 mm se deberá disponer arriostramientos laterales a la torsión.

- 3) Ver punto D4 en tabla 16.

- 4)  $F_{mc}^A$ , se determina empleando la curva  $F_c^E$  (tensión admisible de Euler), ya que ambas expresiones son equivalentes.

NOTA - Para la determinación de  $(i_a)$  equivalente, en secciones  $I$  con dos ejes de simetría y en secciones  $C$  emplear la siguiente expresión.

$$(i_a)_{equiv} = \sqrt[4]{(i_a)^4 + \frac{0,078 I_{ye} J L_m^2}{W_{xc}^2}}$$

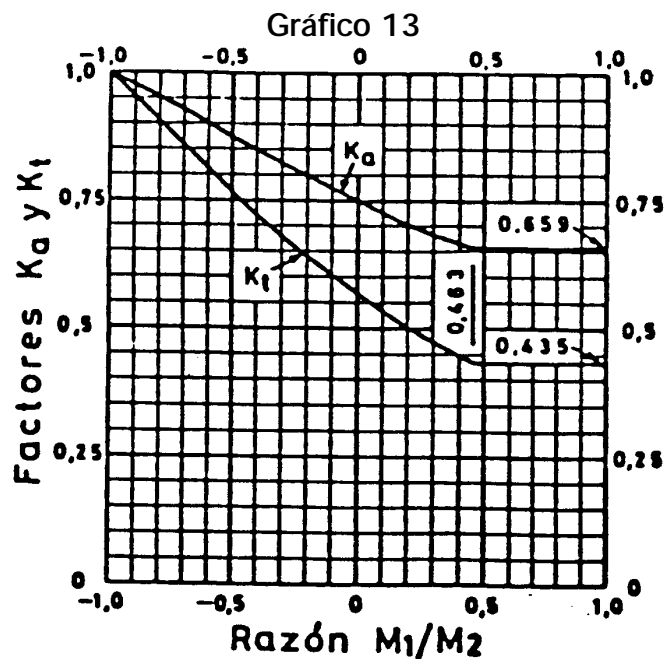
Tabla 18 - Tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}^T$   
 Vigas afectas a pandeo lateral-torsional  
 (Resistencia a la torsión)

Tipo de sección	Esbeltez	Tensión admisible	Factor de seguridad	Gráf.
	$K_t L_m / i_t^{**}$	$F_{mc}^T$	FS	
$I$ simetría respecto al plano de flexión*.  Se incluye sección C	$\geq \frac{0,65 E}{F_f}$	$F_{mc}^T = \frac{1}{FS} \frac{0,65 E}{K_t L_m / i_t}$	1,67	15

\*) El ala comprimida debe ser de sección rectangular y de área no inferior a la del ala traccionada.

\*\*) Si la esbeltez del ala comprimida en elementos no atiesados es mayor que  $(b/e)_c$ , considerar  $K_t L_m / i_t \geq 0,65 E / F_f Q_s$ .

NOTA - En perfiles plegados, la resistencia a la torsión no es de magnitud comparable con la resistencia al alabeo, por lo que se recomienda no considerar esta tensión en perfiles con espesor menor que 5 mm.



En gráfico 13:

$$K_a = 1/\sqrt{C_m}$$

$$K_t = I/C_m; \text{ en que el coeficiente de momento, } C_m, \text{ está dado por:}$$

$$C_m = 1,75 + 1,05 (M_1/M_2) + 0,3 (M_1/M_2)^2 \leq 2,3 \text{ (Fórmula 6)}$$

$$M_1 \text{ y } M_2 = \text{momentos de flexión en los extremos del tramo entre arriostramientos en que } |M_1| < |M_2|$$

El signo de la razón  $M_1/M_2$  depende de la curvatura que origina el diagrama de momento como sigue:

$$M_1/M_2 > 0 = \text{cuando la flexión produce curvatura doble en el tramo}$$

$$M_1/M_2 < 0 = \text{cuando la flexión produce curvatura simple en el tramo}$$

NOTA -  $K_a = K_t = 1$  si el momento en cualquier punto del tramo en estudio es mayor que  $M_2$ .

Además, en flexión compuesta considerar  $K_a = K_t = 1$  para la determinación de  $F_{mcx}$  y  $F_{mcy}$  en fórmula A.1 de tabla 36.

Gráfico 14

Tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}^A$   
Resistencia al alabeo

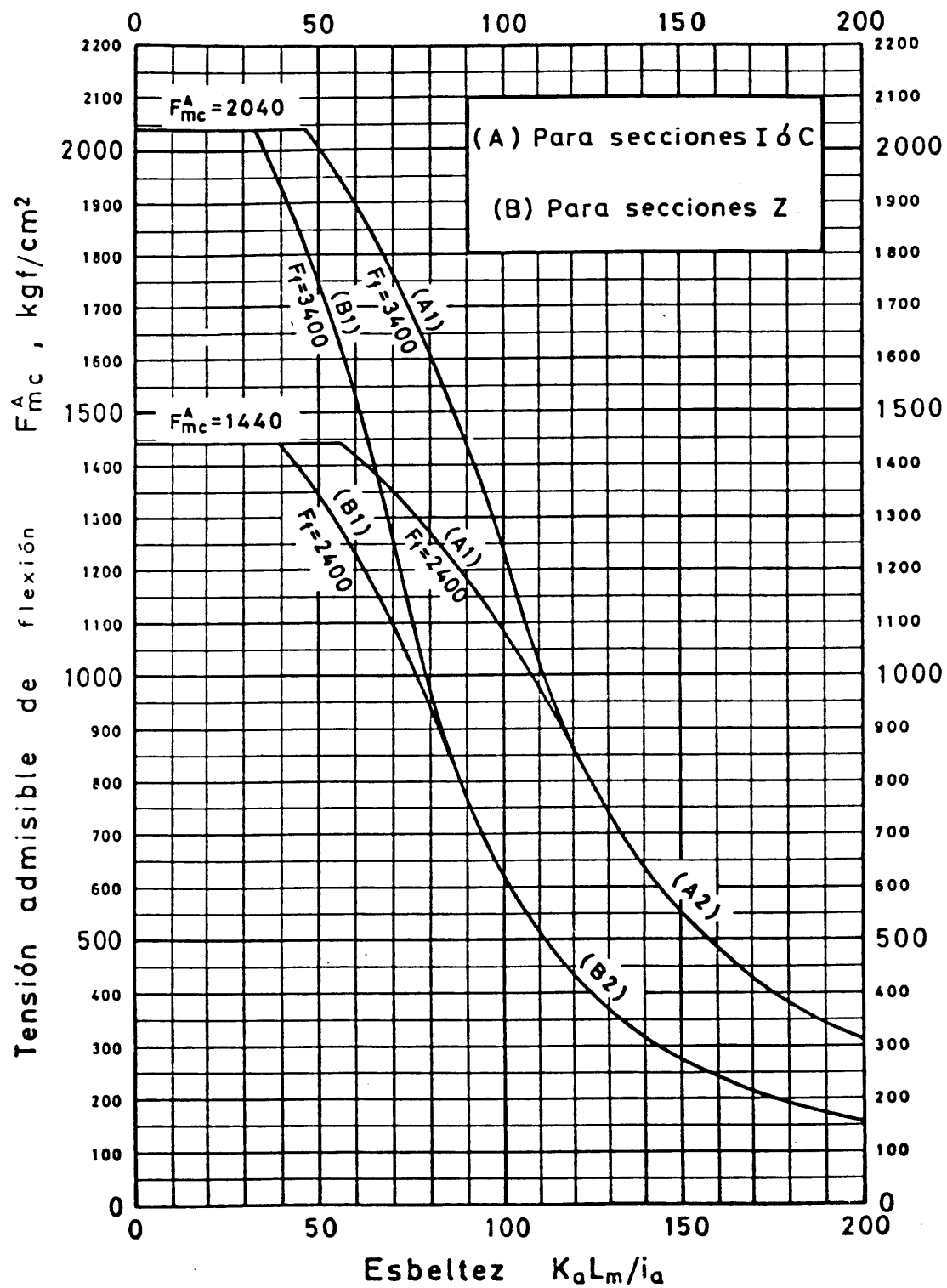
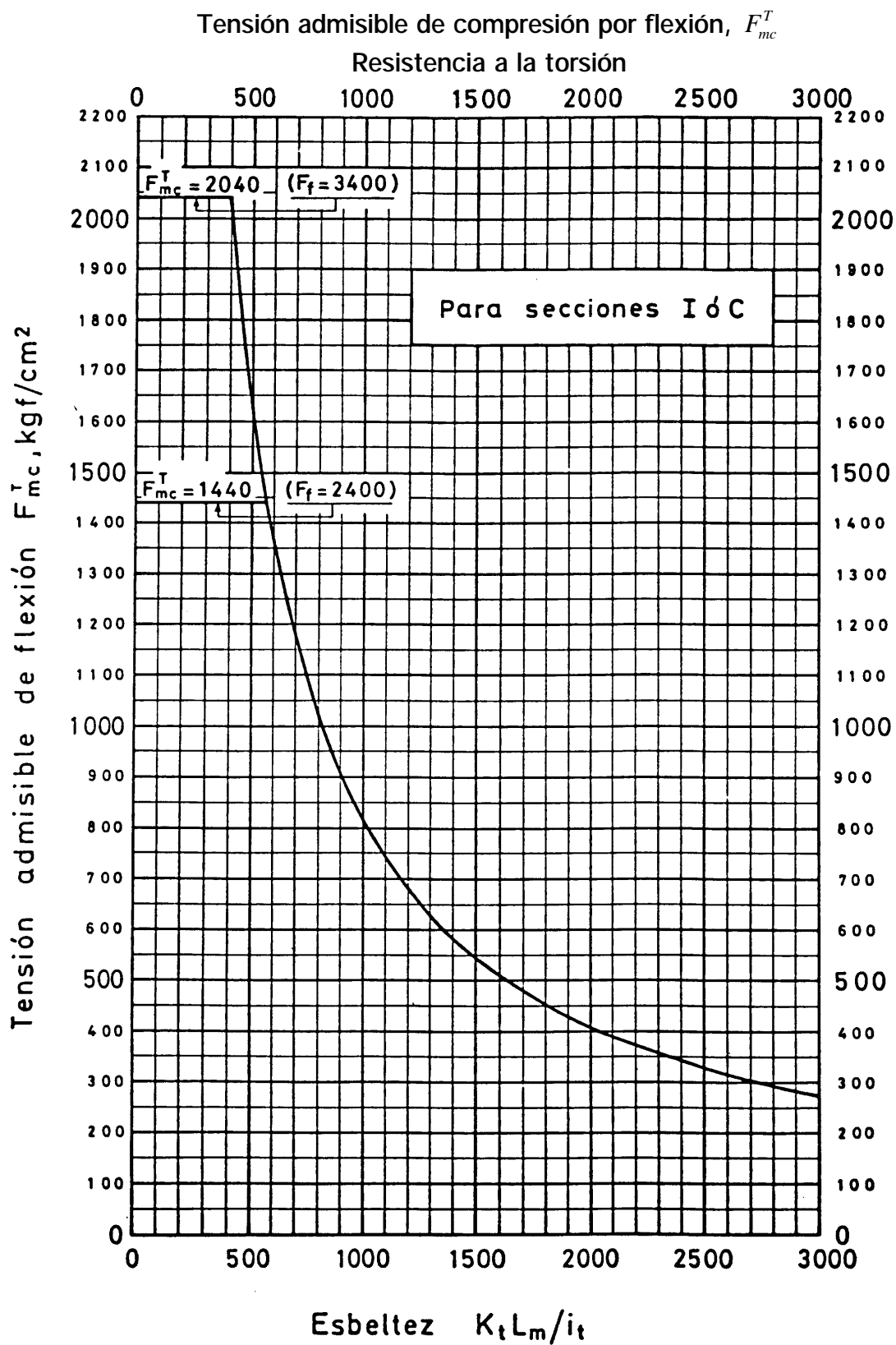


Gráfico 15



c) Reducción de la tensión admisible,  $F'_m$ 

Para las secciones esbeltas, en que  $h/t > (h/t)_c$ , la tensión admisible de compresión por flexión,  $F_{mc}$ , determinada en a) y b) deberá reducirse según lo indicado en tabla 19.

Tabla 19 - Tensión admisible,  $F'_{mc}$ 

Perfil	Tensión admisible, $F'_{mc}$	Gráfico
A. Plegado	$F'_{mc} = \frac{37\,000\,000}{(h/t)^2} \leq 0,6 F_f Q_s$	16
B. Armado	$F'_{mc} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{A_v}{A_a} \left( \frac{h}{t} - \frac{6400}{\sqrt{F_{mc}}} \right) \right] F_{mc} \leq F_{mc}^{*})$	17

\*) En vigas híbridas,  $f_m$  de tracción y compresión, no deberá exceder, además, el valor dado por:

$$F'_m \leq \left[ \frac{12 + \left( \frac{A_v}{A_a} \right) (3\alpha - \alpha^3)}{12 + 2 \left( \frac{A_v}{A_a} \right)} \right] \quad (\text{Fórmula 7})$$

en que:

$A_v$  y  $A_a$  = área del alma y del ala respectivamente;

$\alpha$  = razón entre las tensiones de fluencia del alma y del ala.

## d) Verificación adicional

En la determinación de la tensión admisible de flexión,  $F_m$ , deberá considerarse, además, la interacción con corte según se indica en párrafo 11.4.

Gráfico 16

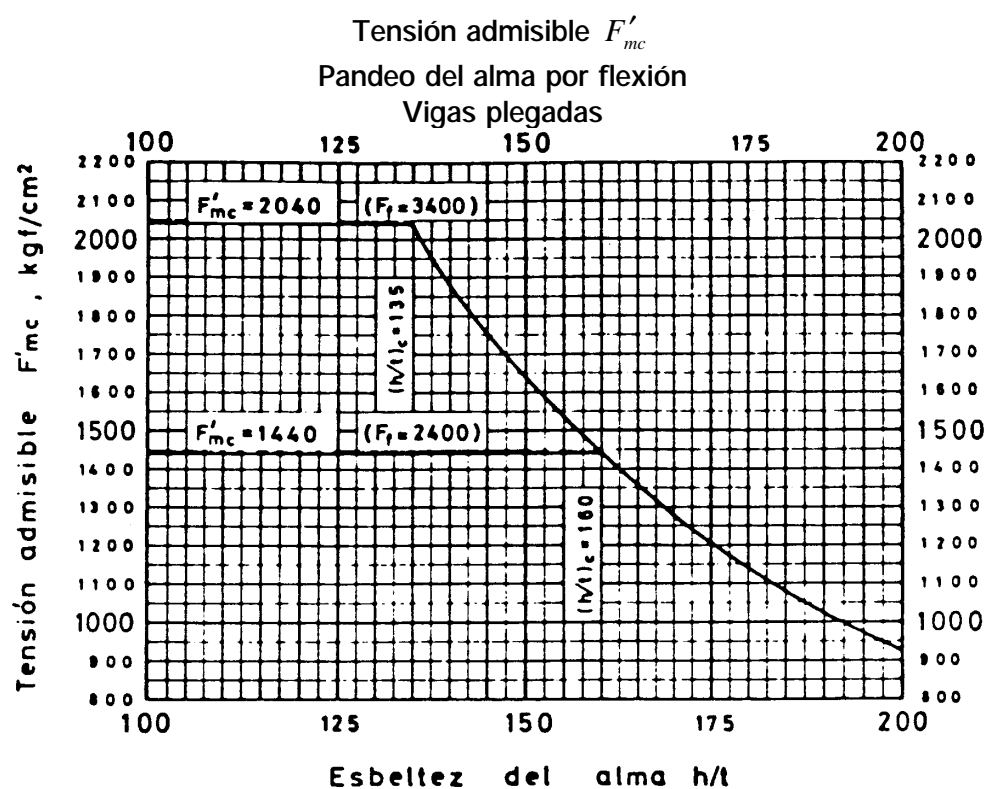
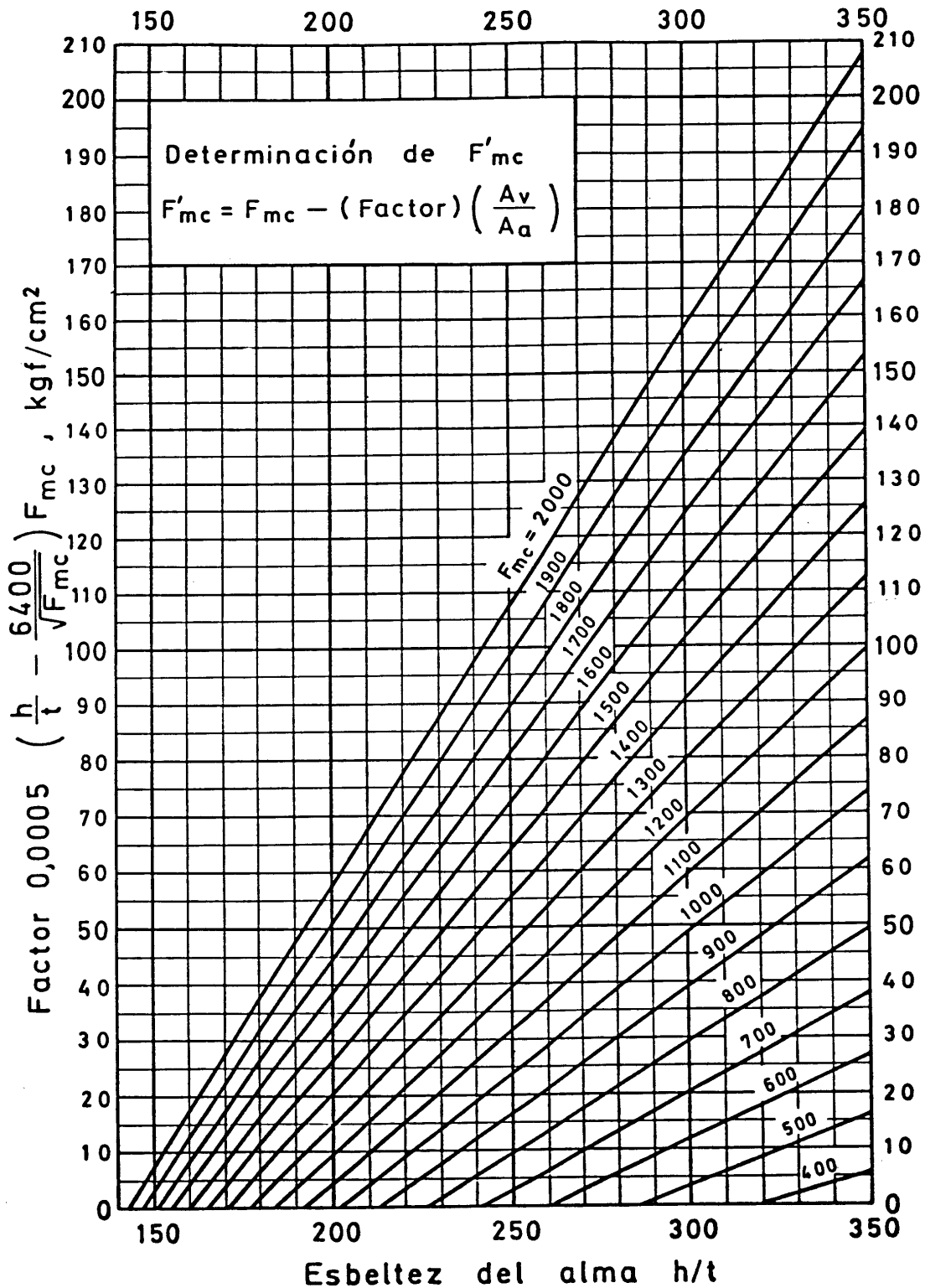


Gráfico 17

$$\text{Factor } 0,0005 \left( \frac{h}{t} - \frac{6400}{\sqrt{F_{mc}}} \right) F_{mc}$$

Pandeo del alma por flexión

Perfiles armados





### 11.2.5 Arriostramientos laterales

Los requerimientos de diseño que deben cumplir los arriostramientos laterales dependen del tipo de viga a arriostrar según lo indicado a continuación:

#### a) Vigas simétricas con respecto al plano de flexión

De acuerdo con el método de diseño empleado (plástico o elástico) se distinguen los siguientes casos:

- 1) En diseño plástico y, en diseño elástico de vigas cuyas secciones son plásticas o semiplásticas con  $L_m \leq L_p$ :

- i) El área mínima requerida,  $(A_a)_{req}$ , será:

$$(A_a)_{req} = \left( \frac{s-1}{h-\sqrt{h}} \right) \frac{2}{3} \left( \frac{A_c}{L_{pr}/B} \right) \quad (\text{Fórmula 8})$$

- ii) El arriostramiento elegido deberá ser verificado, en cuanto a su rigidez, como se indica:

$$L_a \leq 0,57 \left[ \frac{s-1}{h-\sqrt{h}} \right] \left[ \frac{(A_a)_{real}}{(A_a)_{req}} \right] \left[ \frac{L_m}{B} \right] L_{pr} \quad (\text{Fórmula 9})$$

- 2) En diseño elástico:

- i) El área mínima requerida,  $(A_a)_{req}$ , será:

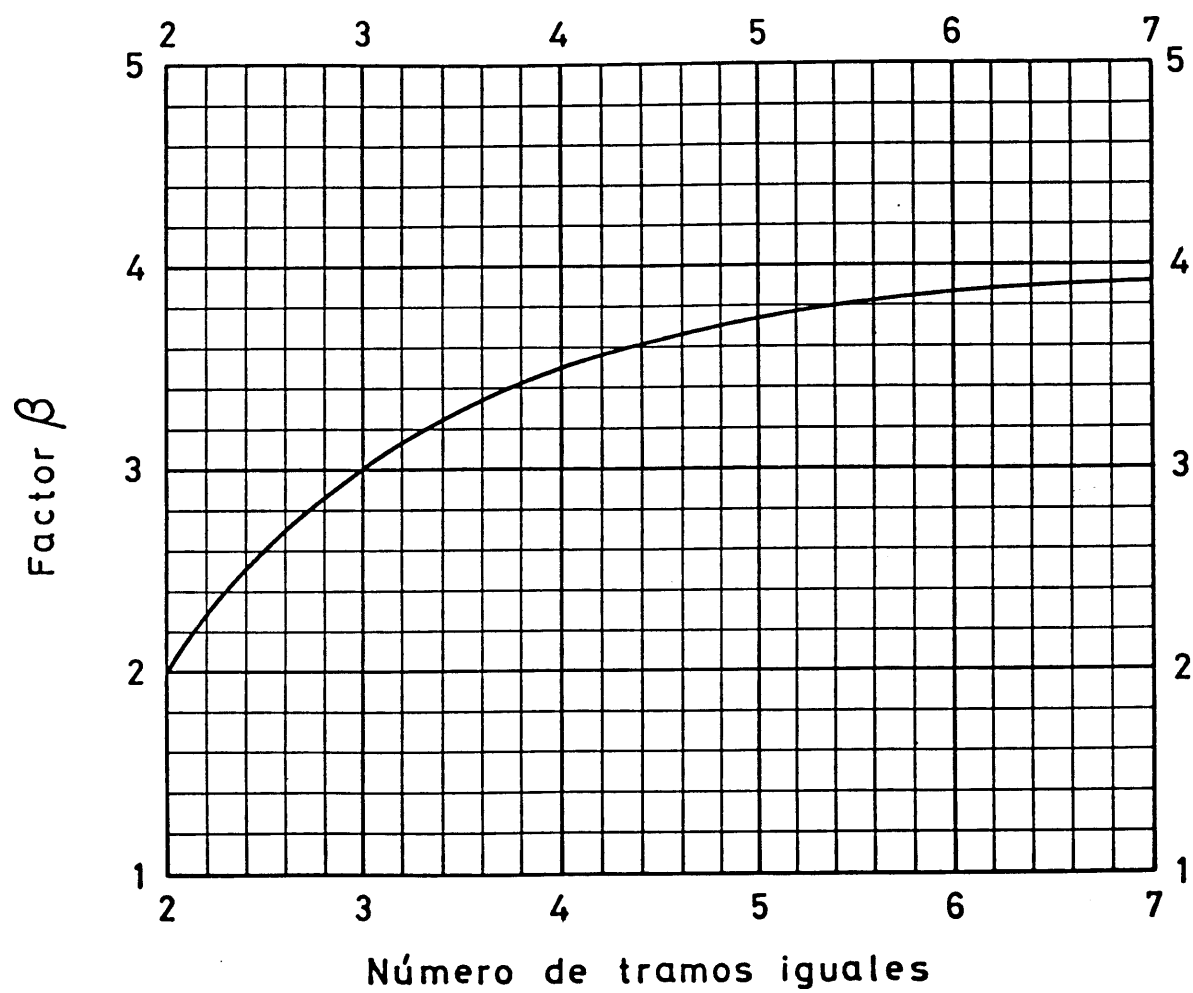
$$(A_a)_{req} = \frac{2\beta \pi^2 A_c}{(L_m/i_a)^2} \quad (\text{Fórmula 10})$$

- ii) La esbeltez máxima no deberá exceder de 200.
- iii) El arriostramiento elegido deberá ser verificado por rigidez y resistencia como se indica:

$$(AE/L)_a \geq 2\beta P_{cr}/L_m \quad \text{y} \quad (\text{Fórmula 11})$$

$$(\sigma_c^A A)_a \geq \frac{L_v}{500} \left[ \frac{2\beta P_{cr}/L_m}{1 - \frac{2\beta P_{cr}/L_m}{(AE/L)_a}} \right] \quad (\text{Fórmula 12})$$

Gráfico 18  
Factor  $\beta$   
Arriostramientos laterales



en que:

$A_a$  = área del arriostramiento,  $\text{cm}^2$ ;

$A_c$  = área de la zona comprimida de la viga,  $\text{cm}^2$ ;

$s$  =  $\varepsilon_{def-end}/\varepsilon_f$ ; deformación en el punto de inicio de la zona de endurecimiento/deformación en el punto de fluencia. (Considerar  $s = 12$ ).

$h$  =  $E/E_{def-end}$  (Considerar  $h = F_f/70$ );

$B$  = ancho del ala comprimida de la viga, cm;

$E$  = módulo de elasticidad del acero ( $E = 2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$ );

$L_v$  = longitud de la viga, cm;

$L_{pr}$  =  $2 L_m^D L_m^I / (L_m^D + L_m^I)$ , siendo  $L_m^D$  y  $L_m^I$  las distancias entre arriostramientos a la derecha y a la izquierda de sección respectivamente;

$L_m$  = mayor valor entre  $L_m^D$  y  $L_m^I$ , cm;

$P_{cr}$  = el menor valor dado por  $F_f A_c$ , (FS)  $F_m A_c$ , en que FS y  $F_m$  se dan en tabla 17. (Punto A), kgf;

$\sigma_c^E$  = tensión crítica de Euler. (Ver Gráfico 29);

$\beta$  = factor que depende del número de tramos a arriostrar. (Ver gráfico 18).

#### b) Vigas no simétricas con respecto al plano de flexión

Las vigas no simétricas de espesor menor o igual a 5 milímetros, que están cargadas en el plano del alma, deberán arriostrarse para evitar el giro, siempre que sus alas no se encuentren unidas a diafragmas rígidos que impidan la deformación lateral de éstas.

NOTA - Cuando solamente un ala está unida a un papel de cubierta o forro, el cual restringe efectivamente la deformación lateral de dicha ala, el arriostramiento puede no ser necesario para prevenir el giro de la sección. Esto depende de las dimensiones de la sección, de su longitud, y de si el ala unida está traccionada o comprimida.

A continuación se entregan los requisitos de ubicación y diseño que deben cumplir los arriostramientos.

### 1) Distancia entre arriostramientos

Se colocarán en los extremos y a los intervalos que indica la tabla 16. Si un tercio o más de la carga total se encuentra concentrada en una longitud no superior a un doceavo de la luz de la viga, se deberá colocar arriostramientos adicionales en el centro o vecindad de la zona cargada.

### 2) Dimensionamiento de los arriostramientos

Cada arriostramiento deberá diseñarse para que resista una fuerza lateral,  $P_{lat}$ , según se indica en tabla 20.

Tabla 20 - Carga lateral,  $P_{lat}$

Tipo de solicitación	Arriostramiento	
	1) Interior	2) Extremo
A. Carga uniformemente distribuida, $q$ (kgf/m)	$P_{lat} = 1,5 K' q L_m$	$P_{lat} = 0,75 K' q L_m$
B. Cargas concentradas, $P_1$ y $P_2$ (kgf)	$P_{lat} = 1,0 K' (P_1 + P_2)$	$P_{lat} = 0,50 K' (P_1 + P_2)$

en esta tabla:

$L_m$  = distancia entre arriostramientos, m;

$K'$  =  $m/H$ , para vigas C

=  $I_{xy}/I_x$ , para vigas Z

$m$  = distancia entre el centro de corte de la sección y plano medio del alma, cm;

$H$  = altura de la viga, cm;

$I_{xy}$  = producto de inercia de la sección total respecto a sus ejes centroidales paralelo y perpendicular al alma,  $\text{cm}^4$ ;

$I_x$  = momento de inercia de la sección total respecto al eje perpendicular al alma,  $\text{cm}^4$ ;

$P_1$  = suma de las cargas concentradas que se encuentran ubicadas a una distancia menor o igual a  $0,3 L_m$  a cada lado del arriostramiento, kgf;

$P_2$  =  $\sum 1,43 (1-x/L_m)P_i$ , en que  $P_i$  es la carga concentrada ubicada más allá de  $0,3 L_m$  pero no más allá del arriostramiento vecino y,  $x$ , la distancia entre la carga concentrada y el arriostramiento considerado, kgf.

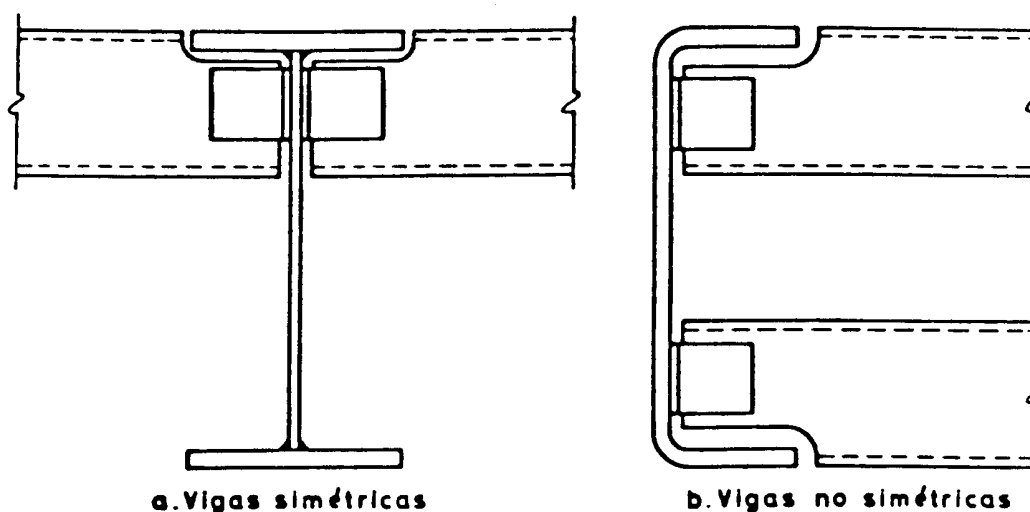


Figura 6

### 11.2.6 Vigas armadas I

#### a) Unión del ala al alma o de la platabanda al ala.

- 1) Los remaches, pernos de alta resistencia o soldaduras que unan el ala al alma o las platabandas al ala serán dimensionados para resistir el total del corte horizontal resultante de las fuerzas de flexión en la viga.
- 2) La distribución longitudinal de estos conectores se hará en proporción a la intensidad del corte. En todo caso, la separación máxima no deberá exceder lo indicado para perfiles compuestos en tracción o compresión. (Ver capítulo 16).
- 3) Además, las uniones remachadas o soldadas, que unan el ala al alma, se dimensionarán para transmitir al alma cualquier carga aplicada directamente al ala, a menos que ésta se transmita por apoyo directo.

#### b) Vigas soldadas con ala variable

En general, el área de las alas de las vigas I soldadas puede variar en espesor o ancho mediante el empleo de planchas de empalme o platabandas.

c) **Area de platabandas**

En vigas remachadas, el área de las platabandas no deberá exceder el 70% del área total de las alas.

d) **Longitud de anclaje de platabandas**

- 1) Se define como longitud de anclaje de una platabanda a la distancia entre el extremo de ésta y el punto en que ella ya no es necesaria. A este punto se le denomina extremo teórico de corte.
- 2) La platabanda se anclará al ala de la viga por medio de remaches, pernos de alta resistencia en unión tipo fricción, o adecuadas soldaduras de filete. La unión se calculará para resistir la proporción de la tensión de flexión que corresponda al área de la platabanda en el extremo teórico de corte.
- 3) En el caso de emplear soldadura, se deberá cumplir, además, lo indicado en figura 7, según corresponda.

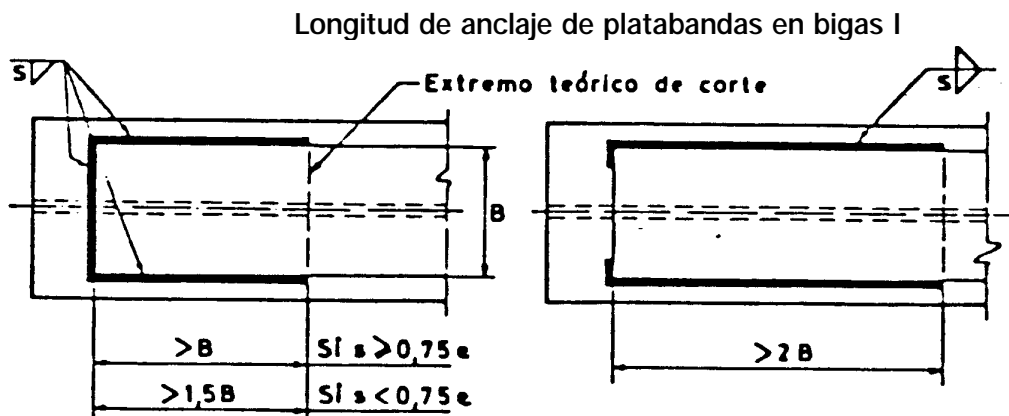


Figura 7

en que:

- s = dimensión nominal de la soldadura de filete en el extremo de la plataforma;
- e = espesor de la platabanda;
- B = ancho de la platabanda.

### 11.2.7 Dimensionamiento de vigas I

- a) Las vigas laminadas, armadas, plegadas y las vigas con platabandas se dimensionarán, en general con el momento de inercia de su sección total. No se hará reducción por concepto de remaches de taller o terreno, o por agujeros para pernos en cualquiera de las dos alas salvo en los casos en que la reducción de área, determinada de acuerdo a lo indicado en inciso 15.2.4 b) (área neta), exceda el 15% del área del ala, en cuyo caso se deberá restar el exceso.
- b) Las vigas híbridas se pueden dimensionar con el momento de inercia de su sección, siempre que éstas no requieran resistir una carga axial de compresión superior a  $0,15 F_f A$ , siendo A el área de la sección y  $F_f$  la tensión de fluencia del ala.

NOTA - Se entiende por viga híbrida aquella en la cual las áreas de las alas son iguales en cualquier sección y tienen la misma calidad de acero.

### 11.2.8 Empalmes

En vigas laminadas y armadas, los empalmes soldados en uniones de tope desarrollarán la resistencia total de la menor sección empalmada.

Otros tipos de empalmes, en secciones de vigas armadas y laminadas, desarrollarán la resistencia requerida por las tensiones en el punto de empalme.

### 11.2.9 Fuerzas horizontales

Las alas de vigas armadas, que soportan grúas u otras cargas móviles, serán dimensionadas para resistir las fuerzas horizontales producidas por estas cargas. (Ver subpárrafo 9.1.1).

## 11.3 Corte

### 11.3.1 Generalidades

La capacidad resistente del alma de una sección solicitada por corte, puede ser determinada considerando su resistencia al pandeo o al concepto del campo de tracción según se indica a continuación:

#### a) Resistencia al pandeo del alma

En este caso, la capacidad resistente del alma depende de su esbeltez,  $h/t$ , y de sus condiciones de borde (con o sin atiesadores de rigidez).

b) **Campo de tracción**

Este criterio es aplicable a almas atiesadas de vigas armadas, en las cuales se establece una analogía con una viga enrejada (enrejado de Pratt) constituida de montantes comprimidos y de diagonales traccionadas. En este caso, la capacidad resistente del alma dependerá de la magnitud del campo de tracción que se forme en ella.

Con el objeto de que los atiesadores de rigidez cumpla con una función análoga a la de los montantes de la viga enrejada de Pratt, éstos deberán tener un área mínima según lo indicado en tabla 27.

11.3.2 Tensión admisible de corte,  $F_v$ 

La tensión de trabajo por corte,  $f_v = V/A_v$ , debe ser menor o igual a la tensión admisible señalada a continuación, según corresponda:

a) **Alma no atiesada**

La tensión admisible de corte será la indicada en tabla 21.

b) **Alma atiesada**

La tensión admisible de corte será la indicada en tabla 22.

Tabla 21 - Tensión admisible de corte,  $F_v$   
(Alma no atiesada)

Esbeltez	Tensión admisible	Factor de seguridad	$F_f$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
h/t	$F_v$	FS	2 400	3 400
A. $h/t \leq 3230/\sqrt{F_f}$	$F_v = \frac{I}{FS} \frac{F_f}{\sqrt{3}} = 0,4 F_f$	FS = 1,44	Gráfico 19 (Curva a/h = $\infty$ )	Gráfico 20 (Curva a/h = $\infty$ )
B. $h/t > 3230/\sqrt{F_f}$	$F_v = \frac{I}{FS} \frac{2\,160}{h/t} \sqrt{F_f}$	FS = 1,67		
$h/t \leq 4630/\sqrt{F_f}$				
C. $h/t > 4630/\sqrt{F_f}$ $h/t \geq 260^*)$	$F_v = \frac{I}{FS} \frac{1\,000\,000}{(h/t)^2}$			

\*) En vigas plegadas este límite es 200 ó 150, dependiendo si el alma está o no atiesada.



Tabla 22 - Tensión admisible de corte,  $F_v$ 

Criterio	Tensión admisible	$F_r$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
	$F_f$	2 400	3 400
A..Pandeo del alma	$F_v = \frac{I}{FS} \frac{F_f}{\sqrt{3}} C_v \leq 0,4 F_f$	Gráfico 19 (Curvas $a/h \geq 3$ )	Gráfico 20 (Curvas $a/h \geq 3$ )
B..Campo de tracción*)	$F_v = \frac{1}{FS} \left[ C_v + \frac{1 - C_v}{1,15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \frac{F_f}{\sqrt{3}} \leq 0,35 F_f^{**})$	Tabla 24	Tabla 26

\*) Este criterio no es aplicable a vigas híbridas, vigas plegadas, almas con perforaciones, paneles extremos contiguos a los apoyos y a los paneles con perforaciones.

\*\*) Fórmula aplicable si  $C_v \geq 1$ .

NOTA - Si se requiere atiesadores intermedios, la separación entre ellos debe ser tal que  $f_v \geq F_v$  según tabla 22 (Criterios A o B), y la razón  $a/h$  no debe exceder de:

$$\left( \frac{260}{h/t} \right)^2, \text{ ni } 3,0 \quad (\text{Fórmula 13})$$

Tabla 23 - Coeficiente de corte,  $C_v$ 

Caso	$C_v$
A. Si $C_v > 0,8$	$C_v = \frac{1620}{h/t} \sqrt{k/F_f}$
B. Si $C_v < 0,8$	$C_v = \frac{3\,300\,000}{(h/t)^2} \frac{k}{F_f}$

En esta tabla:

$k$  = coeficiente de placa que depende de la razón  $a/h$  según se indica a continuación:

$$1) \text{ Si } a/h < 1 \quad k = 4,0 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad (\text{Fórmula 14})$$

$$2) \text{ Si } a/h > 1 \quad k = 5,34 + \frac{4,0}{(a/h)^2} \quad (\text{Fórmula 15})$$

NCh427

En las tablas anteriores:

$FS = 1,67 =$  factor de seguridad;

$F_f =$  tensión de fluencia del alma,  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$a =$  distancia entre atiesadores, cm;

$h =$  altura libre entre las alas, cm;

$C_v =$  coeficiente de corte.

Gráfico 19  
Tensión admisible de corte  $F_v$

Criterio: Pandeo del alma

$$F_r = 2400 \text{ kgf/cm}^2$$

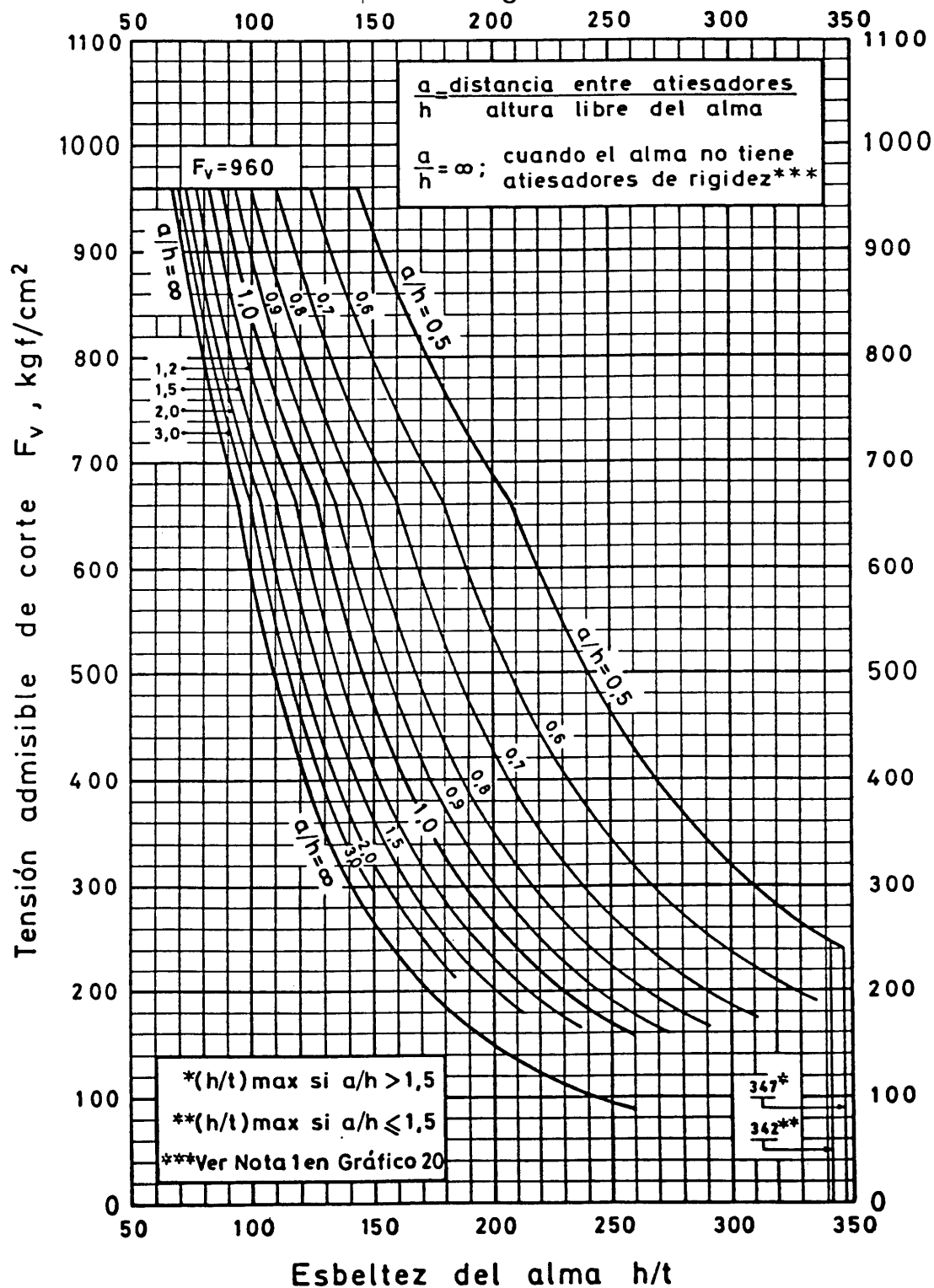




Tabla 24 - Tensión admisible de corte,  $F_v$ , en vigas I armadas

$$F_f = 2\,400 \text{ kgf/cm}^2$$

**Criterio: campo de tracción.** (Los valores bajo la tensión indican el área en % del área del alma, requerida para pares de atiesadores intermedios\*) de  $F_f = 2\,400 \text{ kgf/cm}^2$ ).

Razón a/h; Distancia entre atiesadores/Altura del alma														
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	> 3,0	
F <sub>f</sub> = 2 400 Kg/cm <sup>2</sup>	Esbeltez del alma, h/t	60										960	960	
		70										944	910	
		80									960	864	827	796
		90						960	933	869	822	792	760	708
											0,2	0,8	0,9	
		100				960	894	839	809	780	746	707	600	
									0,8	1,5	1,8	1,6		
		110			960	877	824	804	778	745	689	624	496	
							0,3	1,2	2,0	2,5	3,0	2,6		
		120		960	883	822	800	780	748	693	630	561	417	
						0,5	1,5	2,3	3,1	4,0	4,2	3,4		
		130		917	826	802	760	754	705	650	585	512	355	
					0,3	1,6	2,6	3,5	4,7	5,3	5,1	4,1		
		140	960	851	809	765	755	720	672	615	549	473	306	
					1,3	2,6	3,8	5,0	6,0	6,3	5,9	4,6		
		150	922	821	795	765	727	693	645	588	520	441	267	
				0,6	2,2	3,7	5,3	6,3	7,0	7,1	6,5	5,0		
		160	864	809	782	741	704	671	623	565	495		234	
				1,5	3,0	5,1	6,4	7,3	7,8	7,8	7,0			
		170	827	798	761	720	685	653	604	546	476		208	
	0,3	2,3	4,3	6,2	7,4	8,1	8,5	8,3	7,4					
180	817	788	743	704	669	637	589	530	459		185			
	1,0	2,9	5,5	7,1	8,2	8,8	9,1	8,8	7,7					
200	800	756	714	677	644	513	565	506			150			
	2,3	5,1	7,3	8,6	9,5	9,9	10,0	9,5						
220	779	732	693	657	625	595	547				124			
	3,9	6,8	8,6	9,7	10,4	10,8	10,7							
240	758	714	677	642	611	582					104			
	5,5	8,8	9,6	10,6	11,1	11,4								
260	741	700	664	631	600	571					88,8			
	6,7	9,0	10,4	11,2	11,7	11,9								
280	728	689	654	622										
	7,7	9,8	11,0	11,8										
300	717	660	646											
	8,5	10,4	11,5											
320	709	673												
	9,1	10,9												

Las vigas cuya tensión de corte es inferior a la indicada en la columna de la derecha (> 3,0) no requieren de atiesadores intermedios.

\*) Para las áreas de otros atiesadores intermedios, multiplicar los valores bajo la tensión por el factor apropiado dado a continuación:

Tensión de fluencia del atiesador	Par	Tipo de atiesador	
		Angulo simple	Plancha simple
$F_f = 2\,400$	1	1,8	2,4

Tabla 25 - Tensión admisible de corte,  $F_v$ , en vigas I armadas

$$F_f = 3\,400 \text{ kgf/cm}^2$$

**Criterio: campo de tracción.** (Los valores bajo la tensión indican el área en % del área del alma, requerido para pares de atiesadores intermedios\*)  $F_f = 3\,400 \text{ kgf/cm}^2$ .

Razón a/h; Distancia entre atiesadores/Altura del alma													
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	> 3,0
F <sub>f</sub> = 3 400 Kg/cm <sup>2</sup>	Esbeltez del alma h/t	50										1360	1360
		60										1360	1260
		70					1360	1360	1330	1250	1180	1140	1080
											0,0	0,3	
		80				1360	1330	1250	1170	1130	1090	1040	938
									0,1	0,9	1,3	1,3	
		90			1360	1280	1180	1150	1110	1070	1000	915	741
								0,8	1,7	2,2	2,5	2,4	
		100		1360	1260	1170	1140	1110	1070	988	900	802	600
					0,4	1,4	2,2	2,9	3,9	4,1	4,1	3,4	
		110		1290	1170	1130	1100	1080	995	915	823	719	496
					0,4	1,7	2,7	3,7	4,9	5,4	5,2	4,1	
		120	1360	1180	1140	1110	1060	1010	940	860	765	656	417
					1,6	2,8	4,3	5,4	6,3	6,6	6,0	4,7	
		130	1270	1150	1120	1070	1010	966	898	816	719	607	355
				1,1	2,6	4,4	5,8	6,8	7,4	7,4	6,7	5,1	
140	1180	1130	1090	1030	979	933	865	782	683	568	306		
		2,0	3,9	5,8	7,1	7,9	8,3	8,2	7,2	5,5			
150	1160	1120	1060	1000	951	906	838	754	654	536	267		
	0,9	2,9	5,3	7,0	8,1	8,7	9,0	8,7	7,7	5,8			
160	1140	1090	1030	976	927	884	815	732	630		234		
	1,7	4,2	6,5	8,0	8,9	9,5	9,6	9,2	8,0				
170	1130	1070	1010	955	908	866	797	713	611		208		
	2,4	5,4	7,5	8,8	9,6	10,1	10,1	9,6	8,3				
180	1110	1050	989	938	892	850	782	697	594		185		
	3,3	6,3	8,3	9,5	10,2	10,5	10,5	9,9	8,6				
200	1080	1010	960	912	867	826	758	673			150		
	5,3	7,9	9,5	10,5	11,1	11,3	11,2	10,4					
220	1050	990	939	892	849	808	740				124		
	6,8	9,1	10,5	11,3	11,7	11,9	11,6						
240	1030	972	923	877	835	795					104		
	7,9	9,0	11,2	11,9	12,2	12,3							
260	1010	958	910	866	824	784					88,8		
	8,8	10,6	11,7	12,4	12,6	12,7							
280	997	947	900	857									
	9,5	11,2	12,2	12,7									

Las vigas cuya tensión de corte es inferior a la indicada en la columna de la derecha (> 3,0) no requieren de atiesadores intermedios.

\*) Para áreas de otros atiesadores intermedios, multiplicar los valores bajo la tensión por el factor apropiado dado a continuación:

Tensión de fluencia del atiesador	Par	Tipo de atiesador	
		Angulo simple	Plancha simple
$F_f = 3\,400$	1,0	1,8	2,4
$F_f = 2\,400$	1,4	2,6	3,4

## 11.4 Interacción, flexión y corte

### 11.4.1 Almas no atiesadas

En vigas armadas o plegadas con almas no atiesadas, si las solicitaciones de flexión y corte actúan simultáneamente, las tensiones admisibles calculadas por separado para cada una de estas solicitaciones, deberán verificarse según lo indicado en tabla 26, letra A.

### 11.4.2 Almas atiesadas

En vigas armadas con almas atiesadas, dimensionadas considerando el concepto del campo de tracción [ver inciso 11.3.1 b)], la interacción flexión-corte se verificará conforme a lo indicado en tabla 26, letra B. En vigas diseñadas con el concepto del pandeo del alma se debe aplicar lo indicado en subpárrafo 11.4.1.

Tabla 26 - Interacción de flexión y corte

Perfil	Fórmula de interacción	Observaciones
A. Armado o Plegado	$\left(\frac{f_m}{f_{mv}}\right)^2 + \left(\frac{f_v}{F_v}\right) \leq 1$	1) $F_{mv} = \frac{1}{FS} \frac{45\,400\,000}{(h/t)^2}$ ; FS = 1,23 2) $F_v =$ Tabla 21 sin considerar límite 0,4 $F_f$
B. Armado	$\frac{f_{mt}}{F_f} + 0,375 \frac{f_v}{F_v} \leq 0,825$ en todo caso $f_{mt} \leq 0,6 F_f$	Aplicable a almas dimensionadas con el concepto del campo de tracción. No aplicable a vigas híbridas Ver gráfico 21

Gráfico 21  
Tensión máxima de tracción  $(f_{mt})_{max}$   
Interacción flexión-corte  
Perfiles armados

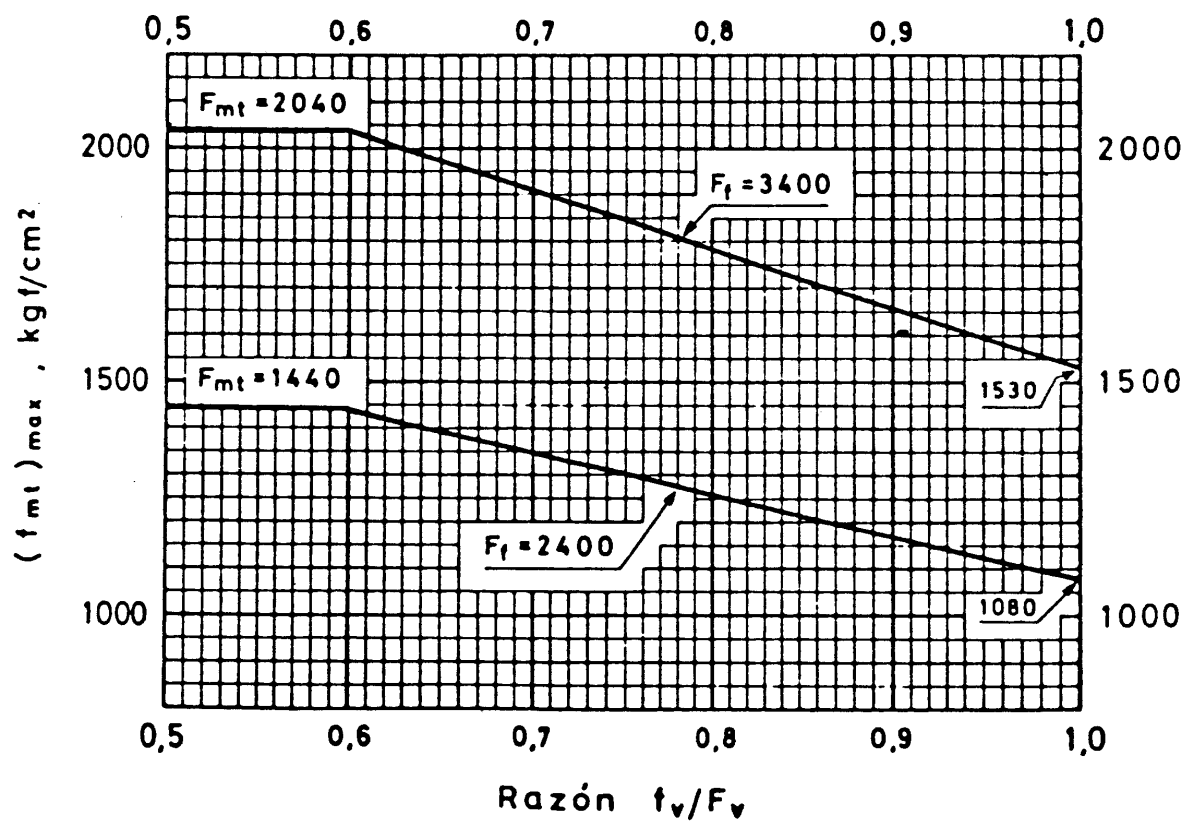
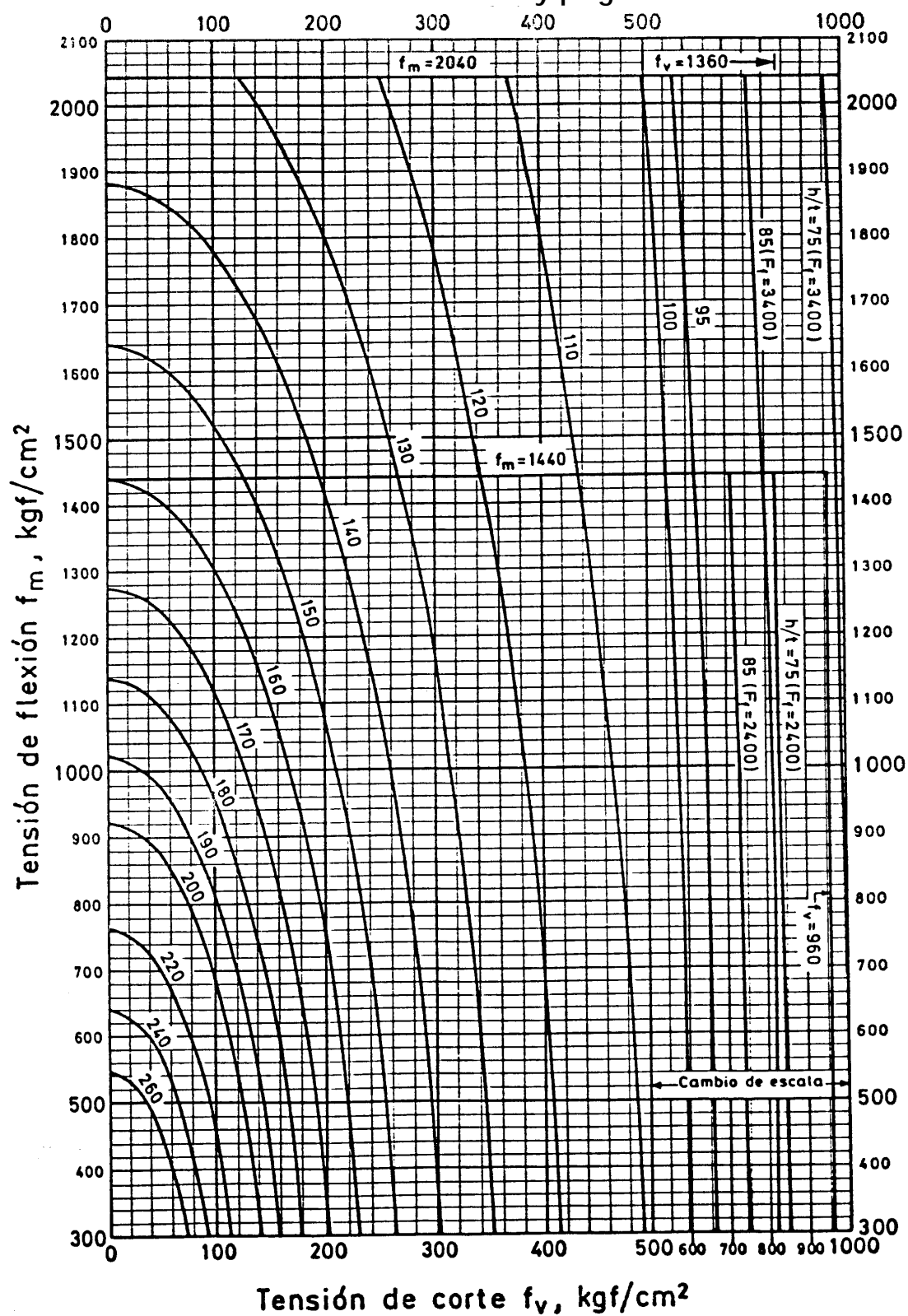




Gráfico 22  
Interacción flexión-corte  
Perfiles armados y plegados



## 11.5 Atiesadores de alma

### 11.5.1 Clasificación

De acuerdo a la función que deben cumplir, los atiesadores de alma se clasificarán en:

#### a) Atiesadores de rigidez

Son aquellos que se emplean para evitar el pandeo del alma de una viga solicitada por tensiones de flexión y/o corte;

#### b) Atiesadores de carga

Son aquellos que se emplean para transmitir cargas concentradas y/o reacciones de apoyo al alma de una viga.

### 11.5.2 Requisitos

Los atiesadores que se emplean se diseñarán de acuerdo con las exigencias indicadas en tabla 27.

Tabla 27 - Requisitos de los atiesadores de alma

Tipo de atiesador	Requisitos	
	Del atiesador	De la unión
A. De rigidez (Se emplearán si $h/t > 260$ ó $150$ dependiendo si el perfil es armado o plegado y/o si $f_v > F_v$ según tabla 21)	1) $I \geq (h/50)^4$ 2) $b/e \geq (b/e)_c^{**}$ 3) $A_{at} \geq \frac{I - C_v}{2} \frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \propto Dht^{**}$	Al alma 4) Unión soldada $a)(f_v)_{at} = h \sqrt{(F_f / 1400)^3}$ b) $s \geq 16$ $t \geq 25$ cm 5) Unión remachada o apornada $g \geq 30$ cm
B. De carga (Se emplearán de acuerdo a lo indicado en párrafo 11.6)	1) $I \leq (h/50)^4$ 2) $b/e \geq (b/e)_c^{**}$ 3) Se diseñarán considerando como columnas con: a) Un área de colaboración del alma igual a $25t^2$ ó $12t^2$ dependiendo si son atiesadores intermedios o de borde (extremos) b) $i = \sqrt{I [A_{at} + (25t^2 \text{ ó } 12t^2)]}$ c) $KL/i \leq 0,75 h/i$ d) $A_{at} \leq (P \text{ o } R) / F_c^F$ ***	Al ala Verificación al aplastamiento de la zona de contacto $A_{at} \leq (P \text{ o } R) / F_{ap}$ en que $F_{ap}$ se determina según subpárrafo 11.6.1 considerando $F_f$ igual al menor entre el ala y el atiesador

\*) Ver tabla 4.

\*\*) Requisitos aplicables a vigas diseñadas con el concepto del campo de tracción.

\*\*\*) Para  $F_c^F$  ver tabla 31.

En esta tabla:

$h, t$	=	altura libre, espesor del alma, cm;
$b, e$	=	ancho proyectante, espesor del atiesador, cm;
$I$	=	momento de inercia de un atiesador simple o un par de atiesadores, según su eje en el plano del alma, $\text{cm}^4$ ;
$i$	=	radio de giro de una columna constituida por los atiesadores de carga y el área colaborante del alma, cm;
$A_{\text{at}}$	=	área del atiesador, $\text{cm}^2$ ;
$\alpha$	=	$F_f(\text{alma})/F_f(\text{atiesador})$ ;
$D$	=	1,0 para un par de atiesadores;
	=	1,8 para un atiesador constituido por un perfil L (ángulo);
	=	2,4 para un atiesador constituido por una plancha;
$(f_v)_{\text{at}}$	=	resistencia al corte en la unión alma-atiesador, de atiesador simple o doble, $\text{kgf/cm}$ ;
$s$	=	distancia libre entre soldaduras de filete intermitente, cm;
$g$	=	distancia entre centros de remaches o pernos, cm;
$P, R$	=	carga concentrada, reacción, $\text{kgf}$ .

### 11.5.3 Requerimientos adicionales

Si un atiesador de carga coincide con un atiesador de rigidez, requerido por la acción del campo de tracción, la transmisión de corte entre el alma y el atiesador no es aditiva. El atiesador sólo necesita ser nido considerando el mayor de los cortes.

Los requisitos adicionales que deben cumplir los atiesadores de alma son los siguientes:

#### a) Para atiesadores de rigidez

- 1) Si se emplea un solo atiesador constituido por una plancha rectangular (atiesador simple), éste se unirá al ala comprimida de la viga con el objeto de evitar la posibilidad de pandeo torsional de esta ala.
- 2) Cuando uno o un par de atiesadores de rigidez reciban arriostramientos laterales, éstos se unirán al ala comprimida de la viga de modo que se transmita el 1% de la tensión total del ala, salvo que ésta esté compuesta solamente por ángulos.
- 3) Los atiesadores de rigidez se pueden dejar separados del ala traccionada en una distancia no superior a 4 veces el espesor del alma ( $4t$ ).
- 4) Si la tensión de trabajo por corte,  $f_v$ , en los paneles vecinos, es menor que la tensión admisible,  $F_v$ , debida a la acción del campo de tracción, la transmisión de corte puede reducirse en la proporción  $f_v/F_v$ ; sin embargo, en el caso de atiesadores requeridos para transmitir al alma una carga concentrada o reacción de apoyo, los remaches y soldaduras serán dimensionados considerando estas cargas o reacciones.

#### b) Para atiesadores de carga

- 1) Se colocarán en pares en los extremos de vigas no enmarcadas y en los puntos de cargas concentradas en que éstos sean requeridos (ver párrafo 11.6).
- 2) Se dimensionarán como columnas, se ajustarán cuidadosamente contra el ala o alas a través de las cuales éstos reciben las cargas o reacciones, y se extenderán aproximadamente hasta el borde de ésta.

## 11.6 Pandeo y aplastamiento del alma

Si se precisa transmitir directamente al alma cargas concentradas o distribuidas a través de las alas, deberá verificarse la capacidad resistente del alma al pandeo vertical y/o aplastamiento (fluencia localizada) en la forma indicada en subpárrafo 11.6.1 y 11.6.2 según corresponda.

### 11.6.1 En vigas laminadas y armadas.

#### a) Aplastamiento

- 1) Cuando la tensión de trabajo por aplastamiento,  $f_{ap}$ , sea mayor que la tensión admisible,  $F_{ap}$ , (ver párrafo 11.1), se deberá colocar atiesadores de carga a cada lado del alma.
- 2) La tensión de trabajo,  $f_{ap}$ , se determinará como sigue:

$$f_{ap} = P/(N + 2k)t, \text{ para cargas concentradas en puntos o apoyos intermedios de vigas} \quad (\text{Fórmula 16})$$

$$= P/(N + k)t, \text{ para cargas concentradas en extremos de voladizo o en apoyos extremos de vigas} \quad (\text{Fórmula 17})$$

En las fórmulas anteriores:

$P$  = carga concentrada o reacción, kgf;

$N$  = longitud de la placa de apoyo ( $k < N < H$ ), cm;

$k$  = distancia entre la cara exterior del ala y la raíz del filete de laminación o de soldadura, cm;

$t$  = espesor del alma, cm.

#### b) Pandeo vertical

- 1) Si la tensión de trabajo por compresión,  $f_{cv}$ , es mayor que la tensión admisible por pandeo vertical del alma,  $F_{cv}$ , se deberá colocar atiesadores de carga, o bien, disminuir la distancia entre los atiesadores de rigidez, según corresponda.
- 2) Las tensiones admisibles y de trabajo,  $F_{cv}$  y  $f_{cv}$ , se determinarán conforme a lo indicado en tablas 28 y 29 respectivamente.

**Tabla 28 - Tensión admisible de compresión,  $F_{cv}$**   
(Pandeo vertical del alma)

Caso	Tensión admisible	Gráficos
	$F_{cv}$	
A. Ala comprimida impedida de girar	$F_{cv} = \frac{I}{FS} \left[ 5,5 + \frac{4}{(a/h)^2} \right] \frac{1900\,000}{(h/t)^2} \leq 0,6 F_f$	23
B. Ala comprimida libre de girar	$F_{cv} = \frac{I}{FS} \left[ 2,0 + \frac{4}{(a/h)^2} \right] \frac{1900\,000}{(h/t)^2} \leq 0,6 F_f$	24

en esta tabla:

FS = 2,6 = factor de seguridad;

a = separación entre atiesadores, cm;

h = altura del alma, cm;

t = espesor del alma, cm.

**Tabla 29 - Tensión de trabajo,  $f_{cv}$**   
(Pandeo vertical del alma)

Alma	Tensión de trabajo, $f_{cv}$	Observaciones
A. No atiesada	1) En el tramo $f_{cv} = \frac{P}{(N + H/2)t}$	N + H/2 ≤ H Ver figura 8 a)
	2) En el extremo $f_{cv} = \frac{P}{(N + H/4)t}$	N + H/4 ≤ H/2 Ver figura 8 b)
B. Atiesada	$f_{cv} = \frac{\Sigma(P + ql)}{at} \text{ o } \frac{\Sigma(P + ql)}{ht}$	Considerar el menor valor entre a y h. Ver figura 8 c)
C. Atiesada y No atiesada	$f_{cv} = \frac{q}{t}$	Para carga uniformemente distribuida q. Ver figura 8 d)

## c) Arriostramiento lateral

En general las vigas de alma llena y enrejadas deberán arriostrarse en los puntos de apoyo para evitar la rotación con respecto a su eje longitudinal.

## Pandeo vertical del alma

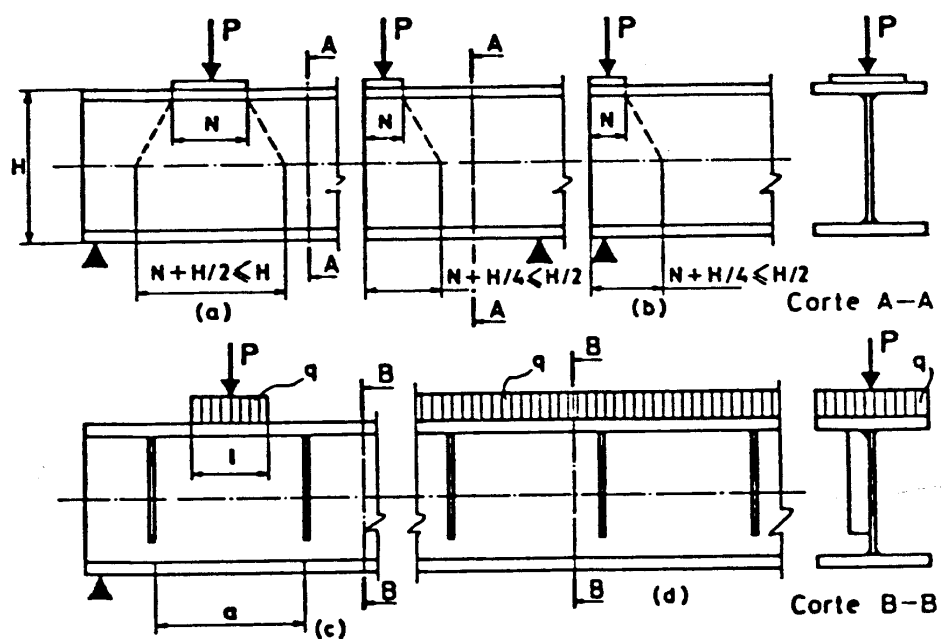


Figura 8

Gráfico 23  
Tensión admisible de compresión,  $F_{cv}$   
Pandeo vertical del alma  
(vigas laminadas y armadas)

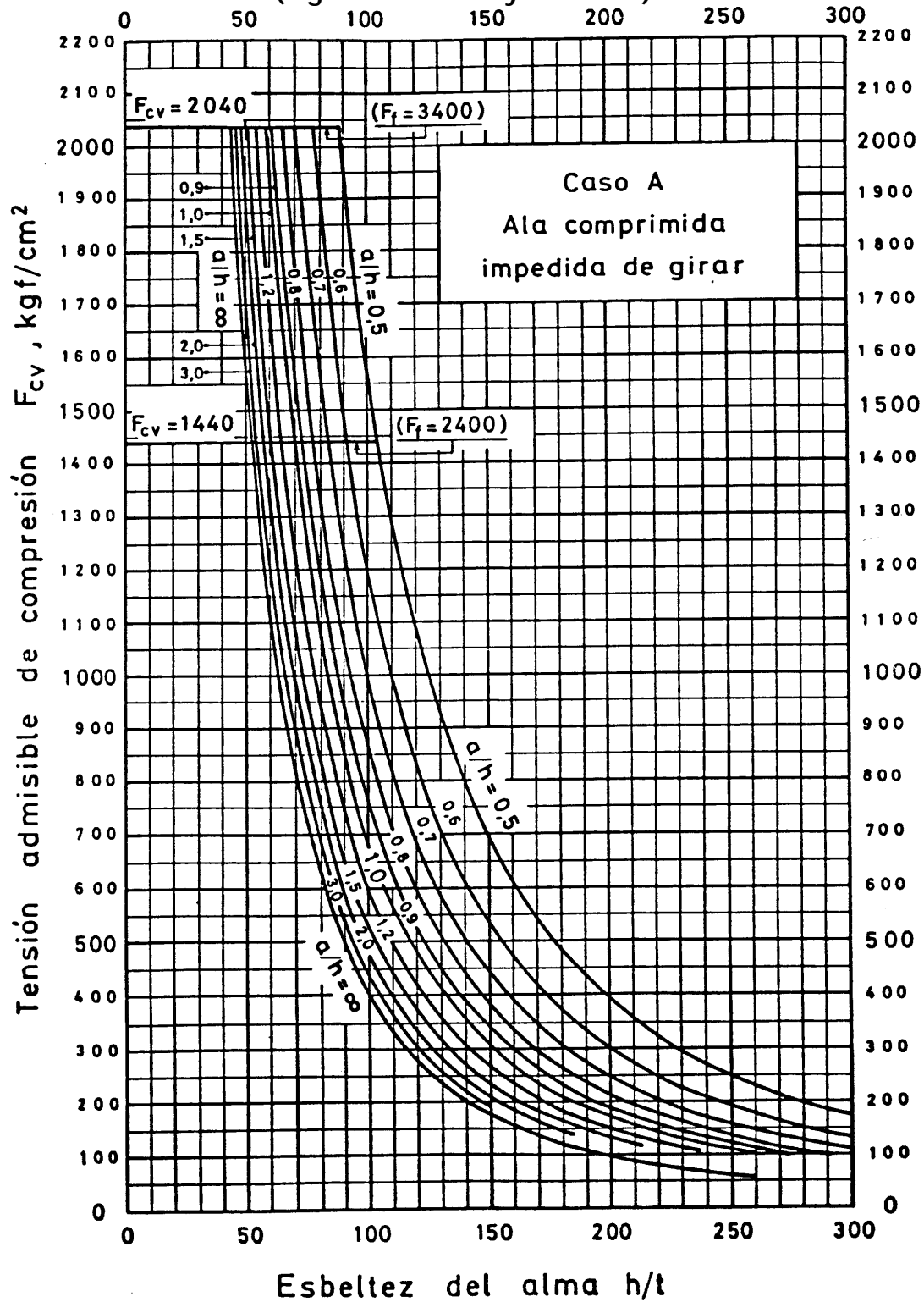
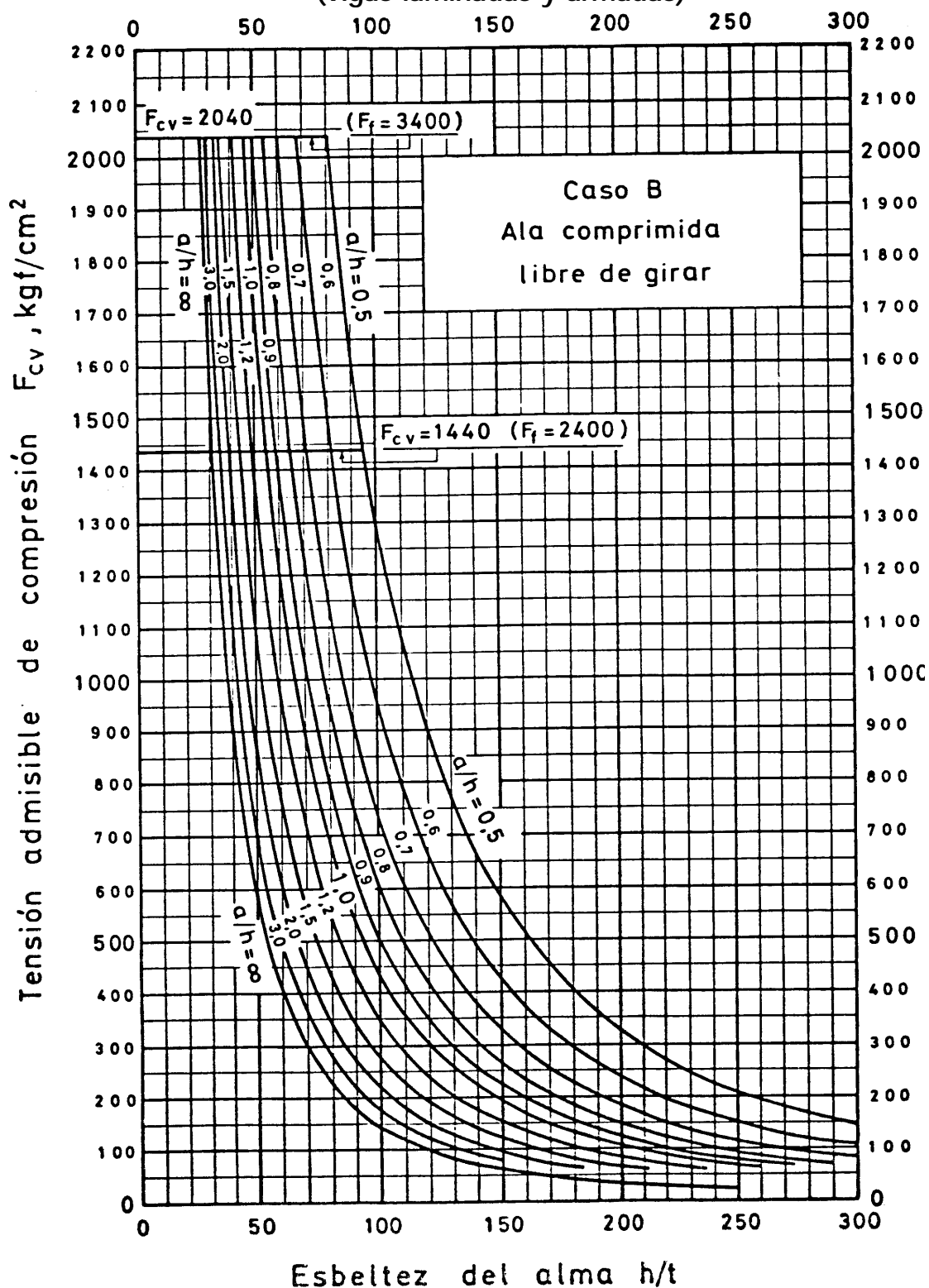




Gráfico 24  
Tensión admisible de compresión,  $F_{cv}$   
Pandeo vertical del alma  
(vigas laminadas y armadas)



### 11.6.2 En vigas plegadas

Para evitar el pandeo en almas no atiesadas de esbeltez,  $h/t$ , menor o igual que 150, las cargas concentradas y las reacciones no deberán exceder los valores de  $P_{\text{máx}}$ . dados en tabla 30. Las almas con  $h/t$  mayor que 150 deberán contar con medios adecuados para transmitir las cargas concentradas y/o reacciones directamente al alma.

Tabla 30 - Carga máxima admisible,  $P_{\text{máx}}$  <sup>1)</sup>

Ubicación de la carga o reacción	Tipo de viga	Carga máxima admisible, $P_{\text{máx}}$ .	Gráfico
A. En apoyos extremos o en extremos de voladizo <sup>2)</sup>	1) C, Z o similar	a) Si $R \leq e$ $P_{\text{máx}} = 7,03e^2 [980 + 42(N/e) - 0,22 (N/e) (h/e) - 0,11 (h/e)] \alpha +$ b) Si $e < R \leq 4e$ $P'_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} [1,15 - 0,11 (R/e)]$	25
	2) I formada por dos C o similar	$P_{\text{máx}} = e^2 (4,44 + 0,558 \sqrt{N/e}) F_f$	26
B. En apoyos interiores o en puntos interiores	1) C, Z o similar	a) Si $R \leq e$ $P_{\text{máx}} = 7,03e^2 [3\,050 + 23(N/e) - 0,09 (N/e) (h/e) - 5(h/e)] \beta +$ b) Si $e < R \leq 4e$ $P'_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} [1,06 - 0,06 (R/e)]$	25
	2) I formada por dos C o similar	$P_{\text{máx}} = e^2 (6,66 + 1,446 \sqrt{N/e}) F_f$	26

1) En vigas con dos o mas almas,  $P_{\text{máx}}$  será la suma de los  $P_{\text{máx}}$  correspondientes a cada una de las secciones que conforman el alma.

2) Las fórmulas de  $P_{\text{máx}}$  para este caso, A, son aplicables aún si las cargas se ubican en una vecindad mayor o igual a  $1,5 h$  en torno a los puntos señalados. Para distancias mayores, las cargas se considerarán como ubicadas en puntos intermedios.

\*)  $\alpha = [1,33 - 0,33 (F_f/2\,320)] F_f/2\,320$

$\beta = [1,22 - 0,22 (F_f/2\,320)] F_f/2\,320$

En esta tabla:

$P_{\text{máx}}$  = carga o reacción máxima admisible que puede resistir el alma de una viga, kgf;

$N$  = longitud de apoyo ( $N_{\text{máx.}} = h$ ), cm;

$R$  = radio interior de plegado, cm;

$h$  = altura libre entre alas, cm;

$e$  = espesor del alma en estudio, cm.

Gráfico 25  
Razón  $P_{\max}/e^2(\alpha \text{ ó } \beta)$

Pandeo del alma por carga concentrada  
vigas plegadas

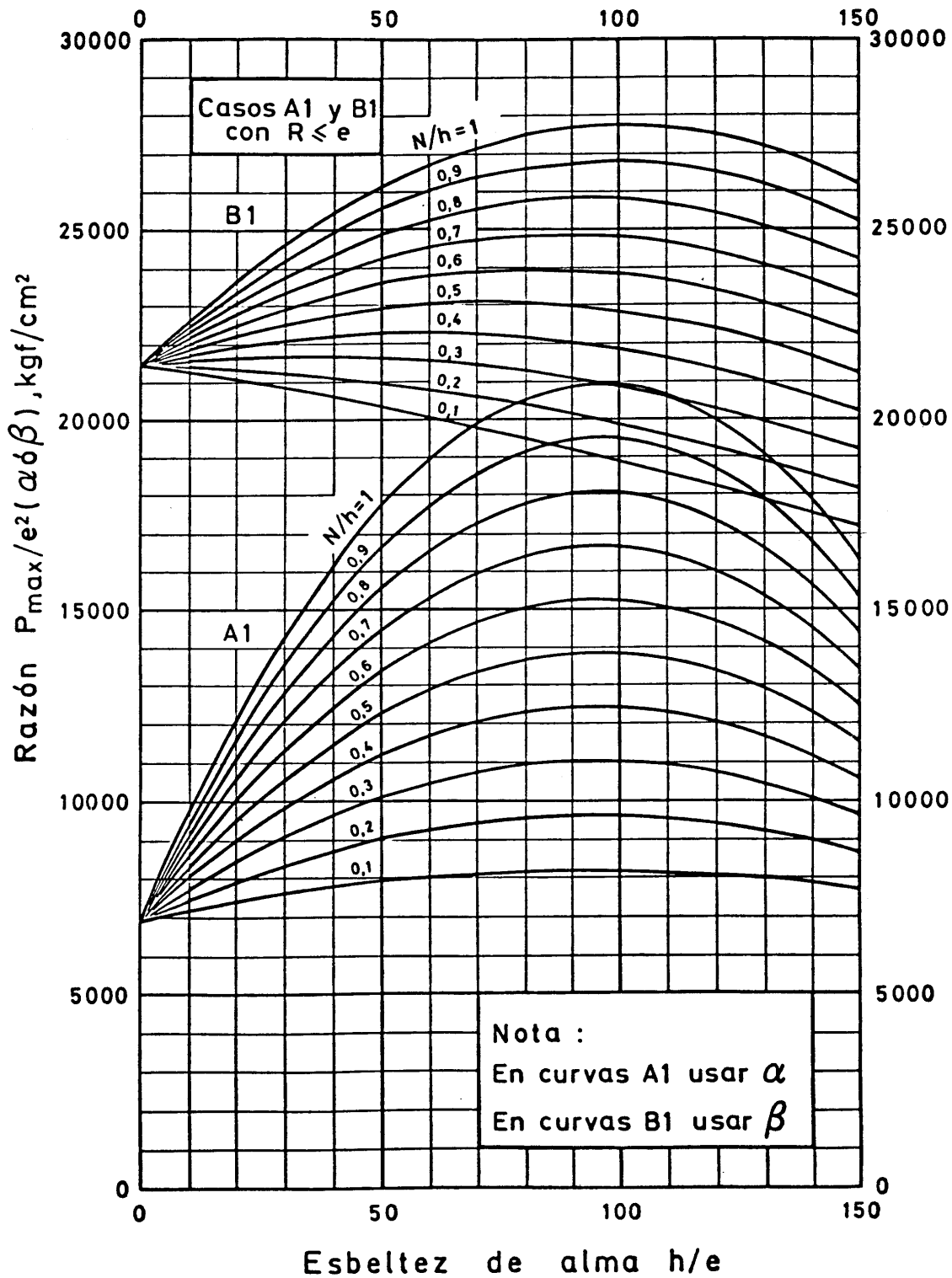
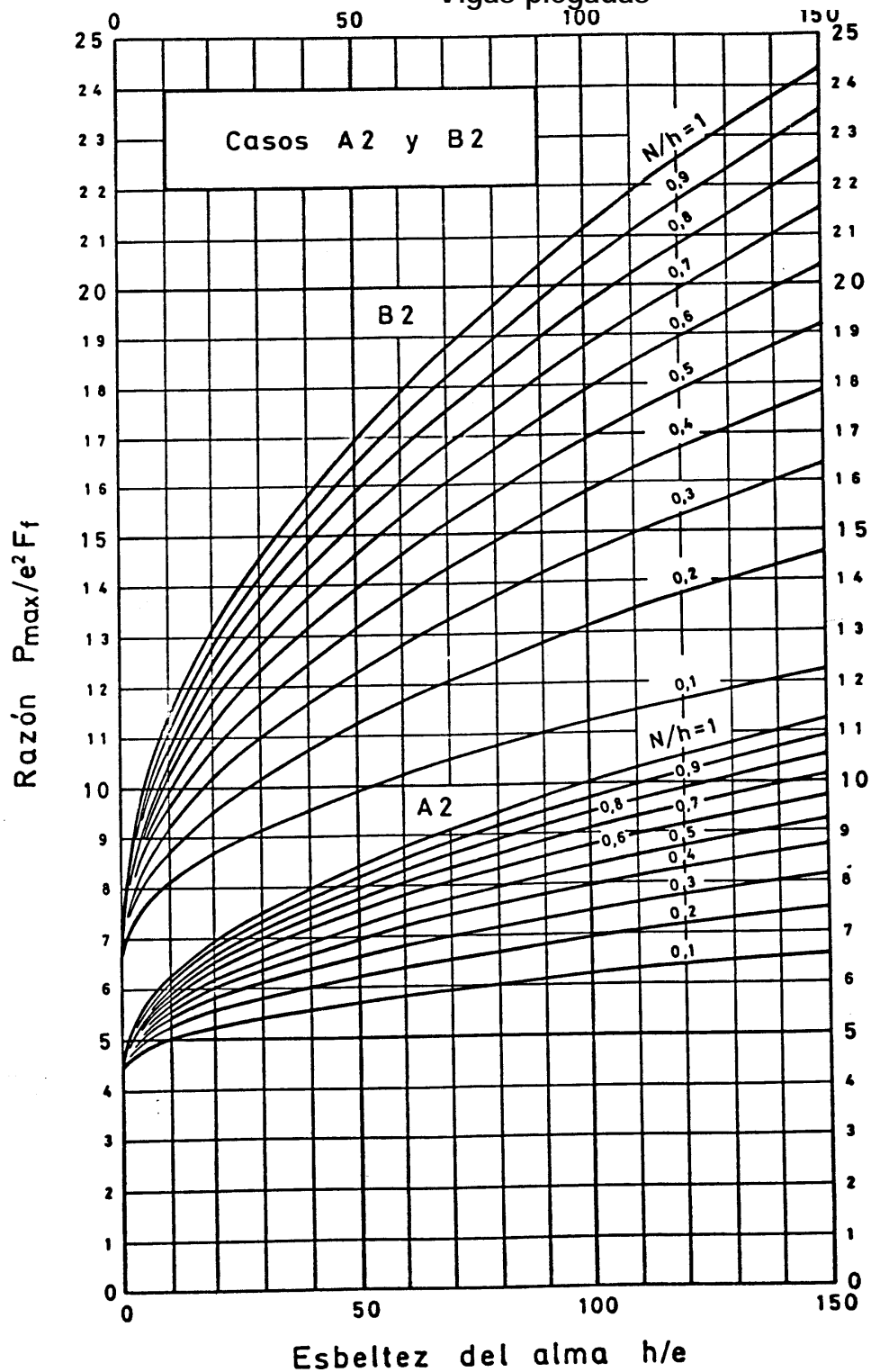


Gráfico 26  
Carga máxima admisible,  $P_{\max}/e^2 F_f$   
Pandeo del alma por carga concentrada  
Vigas plegadas



## 11.7 Compresión

### 11.7.1 Generalidades

La resistencia a la compresión axial de un perfil depende de la estabilidad general de éste (resistencia al pandeo).

Se denomina carga de pandeo a aquella solicitación axial bajo la cual el perfil pierde su posición recta inicial, deformándose a causa de la carga de compresión y la acción de solicitaciones secundarias de flexión o de torsión o la acción simultánea de ambas (flexo-torsión).

De acuerdo a las solicitaciones secundarias que origina la carga de pandeo, se distinguen los siguientes tipos de pandeo:

#### a) **Pandeo por torsión<sup>9)</sup>**

Este tipo de pandeo se presenta en perfiles comprimidos axialmente, de secciones abiertas con simetría puntual, en las que se produce un giro en torno al eje longitudinal del perfil.

Como ejemplo de secciones que pueden estar afectas a este tipo de pandeo se tiene a las secciones Z e I de alas iguales y otras secciones poco corrientes como las secciones cruciformes, swásticas o semejantes.

#### b) **Pandeo por flexión**

Se presenta en perfiles de secciones simétricas respecto a uno o ambos ejes, en los cuales, al estar sometidos a compresión axial, se pandean deformándose según el o uno de los planos de simetría. La flexión que se produce no induce solicitaciones de torsión y el perfil, en consecuencia, fallará solamente por flexión.

#### c) **Pandeo por flexo-torsión (Pandeo flexo-torsional)**

Este tipo de pandeo se presenta en perfiles cuyas secciones tienen un eje de simetría<sup>10)</sup>. El perfil en compresión axial se pandea deformándose según el plano que no es el de simetría por lo que, la flexión producida según dicho plano induce tensiones de corte no equilibradas, las que a su vez originan solicitaciones de torsión en la sección. En suma, el perfil fallará a causa de la acción combinada de flexión y torsión.

---

<sup>9)</sup> El pandeo torsional es de rara ocurrencia ya que, en la práctica, las esbelteces reales (general o local) reducen la resistencia del perfil por problemas de pandeo por flexión o local. En todo caso, en el anexo B se entregan las exigencias de diseño que derivan del análisis teórico de esta inestabilidad

<sup>10)</sup> El pandeo flexo-torsional puede ocurrir, además en perfiles cuyas secciones no son simétricas. El tratamiento de ese tipo de pandeo, en perfiles de estas características, se entrega en el anexo C de esta norma.

### 11.7.2 Tensión admisible de compresión, $F_c$

La tensión de trabajo por compresión,  $f_c = P/A$ , debe ser menor o igual que la tensión admisible,  $F_c$ , indicada en a) o b) según el caso.

#### a) En perfiles con dos ejes de simetría

La tensión admisible de compresión  $F_c^F$ , según cualquiera de los dos ejes, será la indicada en tabla 31.

#### b) En perfiles con un eje de simetría (Eje x-x)

La tensión admisible de compresión con respecto al eje y-y,  $F_{cy}^F$ , será la indicada en tabla 31 y, la tensión admisible según el eje x-x,  $F_{cx}$ , será el menor valor dado por tablas 31 y 32.

NOTA - En perfiles secundarios o de arriostramientos, salvo los diseñados por solicitaciones sísmicas, si la esbeltez  $L/i$  es mayor que 120, las tensiones admisibles de compresión, determinadas según a) y b) se amplificarán por el factor  $1/(1,6-L/200i)$  dado en gráfico 33.

**Tabla 31 - Tensión admisible de compresión,  $F_c^F$**   
Pandeo por flexión

Esbeltez	Tensión admisible	F <sub>f</sub> , kgf/cm <sup>2</sup>	
KL/i	F <sub>c</sub> <sup>F</sup>	2 400	3 400
A. KL/i < C <sub>e</sub>	$F_c^F = \frac{I}{FS} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{KL/i}{C_e} \right)^2 \right] Q_f^F \quad (1)$	Gráfico 27	Gráfico 28
B. C <sub>e</sub> ≤ KL/i ≤ 200	$F_{c_F} = \frac{I}{FS} \frac{\pi^2 E}{(KL/i)^2} \quad (2)$		
<p>(1) <math>FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left( \frac{KL/i}{C_e} \right) - \left( \frac{1}{8} \frac{KL/i}{C_e} \right)^3</math> par perfiles laminados armados y en particular, para perfiles plegados con <math>Q = 1</math> y <math>e \geq 3\text{ mm}</math>, y</p> <p>FS = 23/12 para perfiles plegados en general</p> <p>(2) FS = 23/12 para cualquier perfil</p>			

En esta tabla:

$$C_e = \sqrt{2\pi^2 E / QF_f}; \text{ esbeltez de Euler;}$$

$K$  = Coeficiente de longitud efectiva. (Ver subpárrafo 11.7.3);

$L$  = Longitud real entre arriostramientos, cm;

## NCh427

$i$  = radio de giro, cm;

$Q$  =  $Q_a \cdot Q_s$ ; Coeficiente de reducción de tensiones por concepto de pandeo local de los elementos componentes;

$Q_s$  = Coeficiente de reducción de tensiones en elementos no atiesados. (Ver párrafo 10.3);

$Q_a$  =  $A_{ef}/A$ ; Coeficiente de reducción de área (factor de columna) en elementos atiesados;

$A_{ef}$  =  $\sum b_e + \sum b_e$ , siendo  $b$  el ancho total de un elemento no atiesado y  $b_e$  el ancho efectivo de un elemento atiesado determinado según párrafos 10.4 y 10.5;

$A$  = área total de la sección del perfil.



Tabla 32 - Tensión admisible de compresión,  $F_{cx}^{FT}$   
Pandeo flexo-torsional

Tensión crítica	Tensión admisible	Observaciones
$\sigma_{cx}^{FT}$	$F_{cx}^{FT}$	
A. $\sigma_{cx}^{FT} > 0,5 QF_f$	$F_{cx}^{FT} = \frac{I}{FS} \left[ I - \frac{QF_f}{4\sigma_{cx}^{FT}} \right]$ $QF_f$	Se recomienda no usar perfiles con $Q < 0,8$
B. $\sigma_{cx}^{FT} \leq 0,5 QF_f$	$F_{cx}^{FT} = \frac{I}{FS} \sigma_{cx}^{FT}$	

En esta tabla

$$\sigma_{cx}^{FT} = \frac{I}{2\beta} \left[ \sigma_{cx}^E + \sigma_c^T - \sqrt{(\sigma_{cx}^E + \sigma_c^T)^2 - 4\beta \sigma_{cx}^E \sigma_c^T} \right] \quad (\text{Formula 18})$$

$$\sigma_{cx}^{FT} = \pi^2 E / (KL_x / i_x)^2 \quad (\text{Ver gráfico 29}) \quad (\text{Fórmula 19})$$

$$\sigma_c^T = \frac{I}{Ai_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 EC_a}{(KL)^2} \right] \quad \left( \begin{array}{l} \text{Los términos contenidos en esta fórmula se} \\ \text{definen en capítulo 4} \end{array} \right) \quad (\text{Fórmula 20})$$

$$\beta = 1 - (x_o/i_o)^2 \quad (\text{Fórmula 21})$$

FS = 23/12 = Factor de seguridad

NOTA - Determinación gráfica de  $F_{cx}^{FT}$

- 1) Con el valor de  $\sigma_c^T$  calculado numéricamente y el valor  $\sigma_{cx}^E$  determinado en gráfico 25, se forma la razón  $\sigma_c^T / \sigma_{cx}^E$ .
- 2) Si la razón  $\sigma_c^T / \sigma_{cx}^E$  es menor o mayor que 1 se va a los gráficos 30 ó 31, en los cuales, interceptando el valor de entrada con el parámetro  $\beta$ , se obtiene la razón  $\sigma_{cx}^{FT} / \sigma_{cx}^E$  y por tanto,  $\sigma_{cx}^{FT}$ .
- 3) En gráfico 32, con  $\sigma_{cx}^{FT}$  y el factor de reducción de tensiones Q, correspondiente a las secciones del perfil en estudio, se determina la tensión admisible de pandeo flexo-torsional  $F_{cx}^{FT}$ .

Gráfico 27  
Tensión admisible de compresión  $F_c^F$   
Pandeo por flexión  
 $F_f = 2400 \text{ kgf/cm}^2$

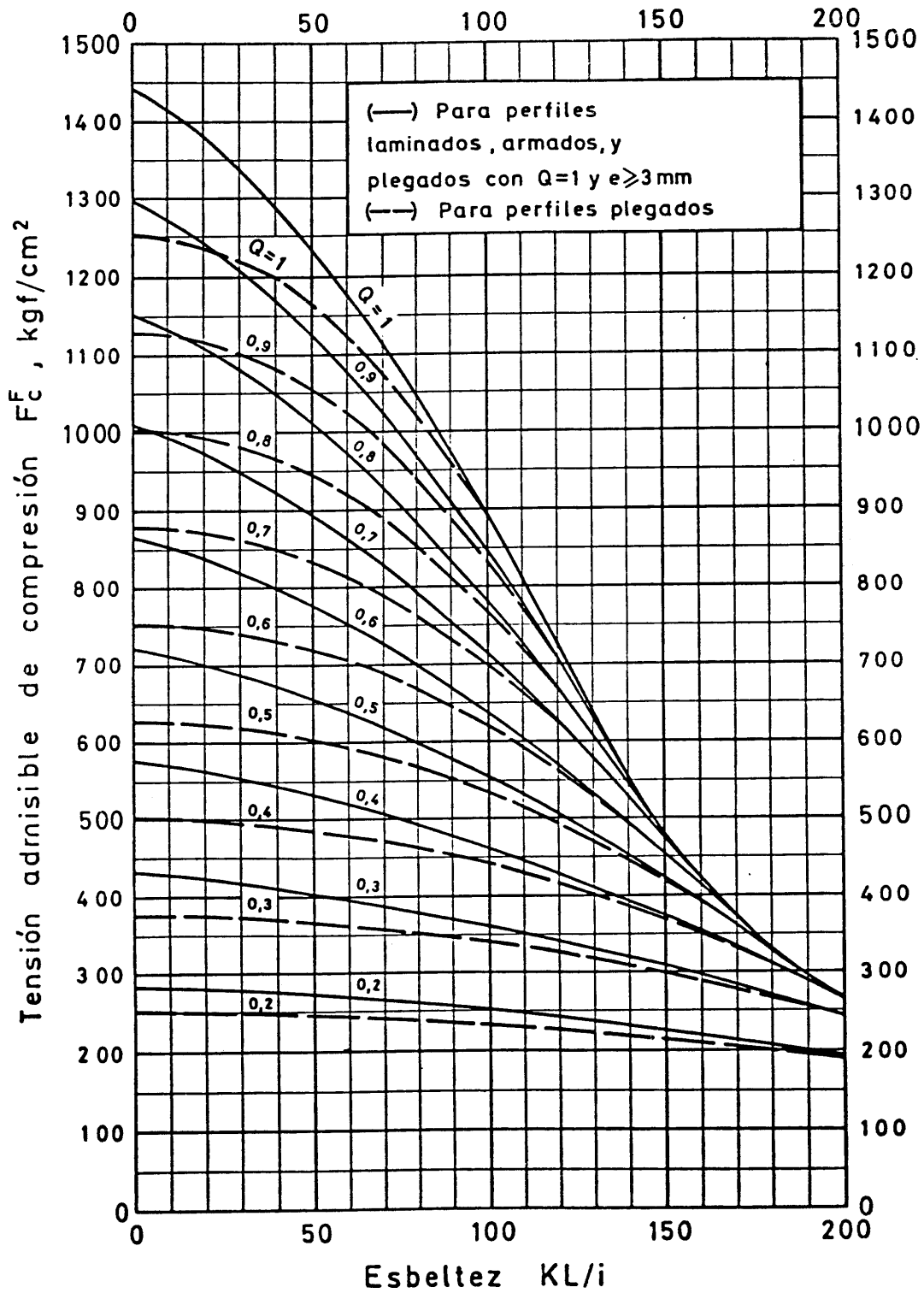


Gráfico 28  
Tensión admisible de compresión  $F_c^F$   
Pandeo por flexión  
 $F_f = 2400 \text{ kgf/cm}^2$

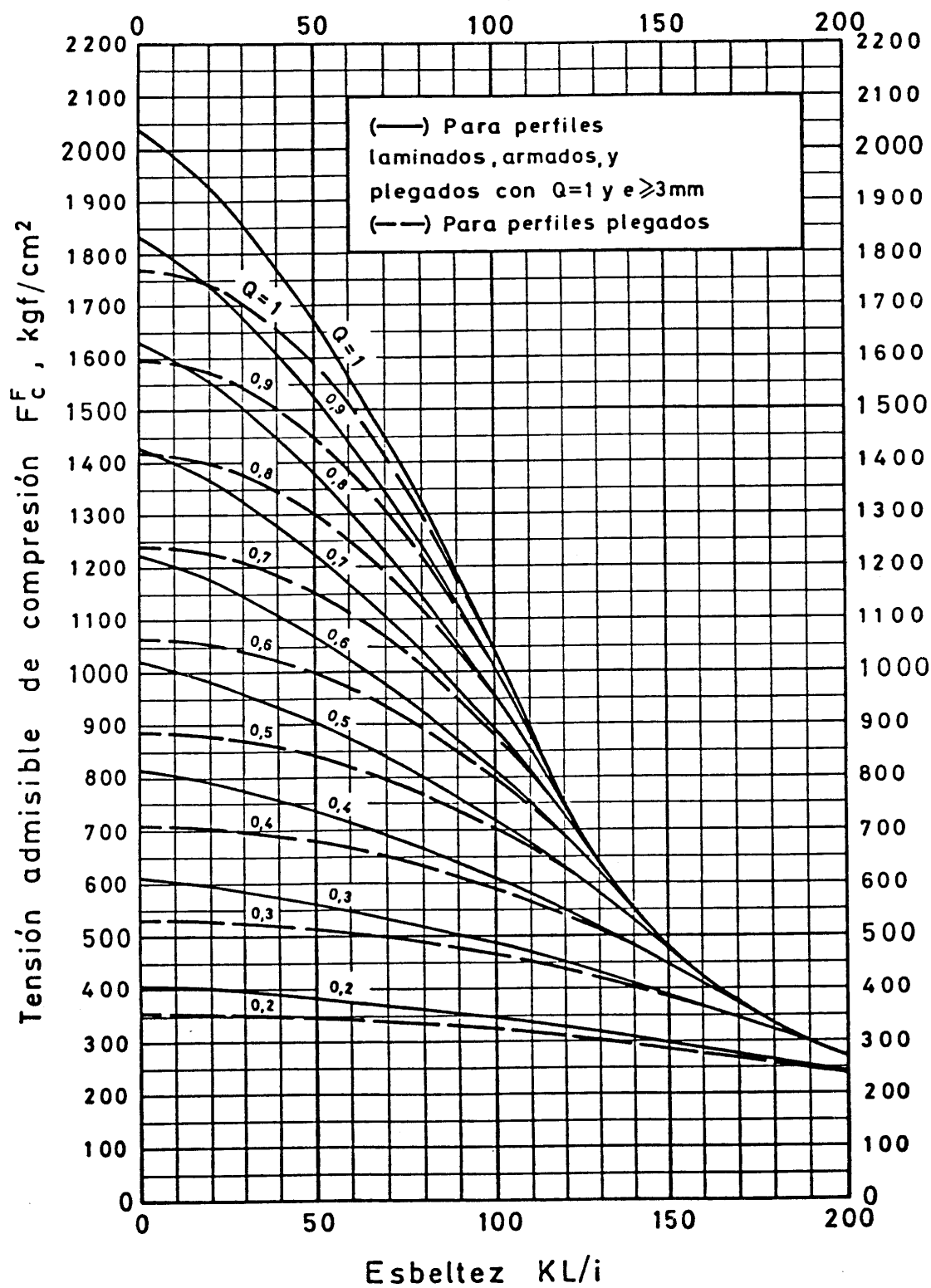


Gráfico 29  
Tensiones de compresión  
 $\sigma_c^F$  y  $F_c^E$

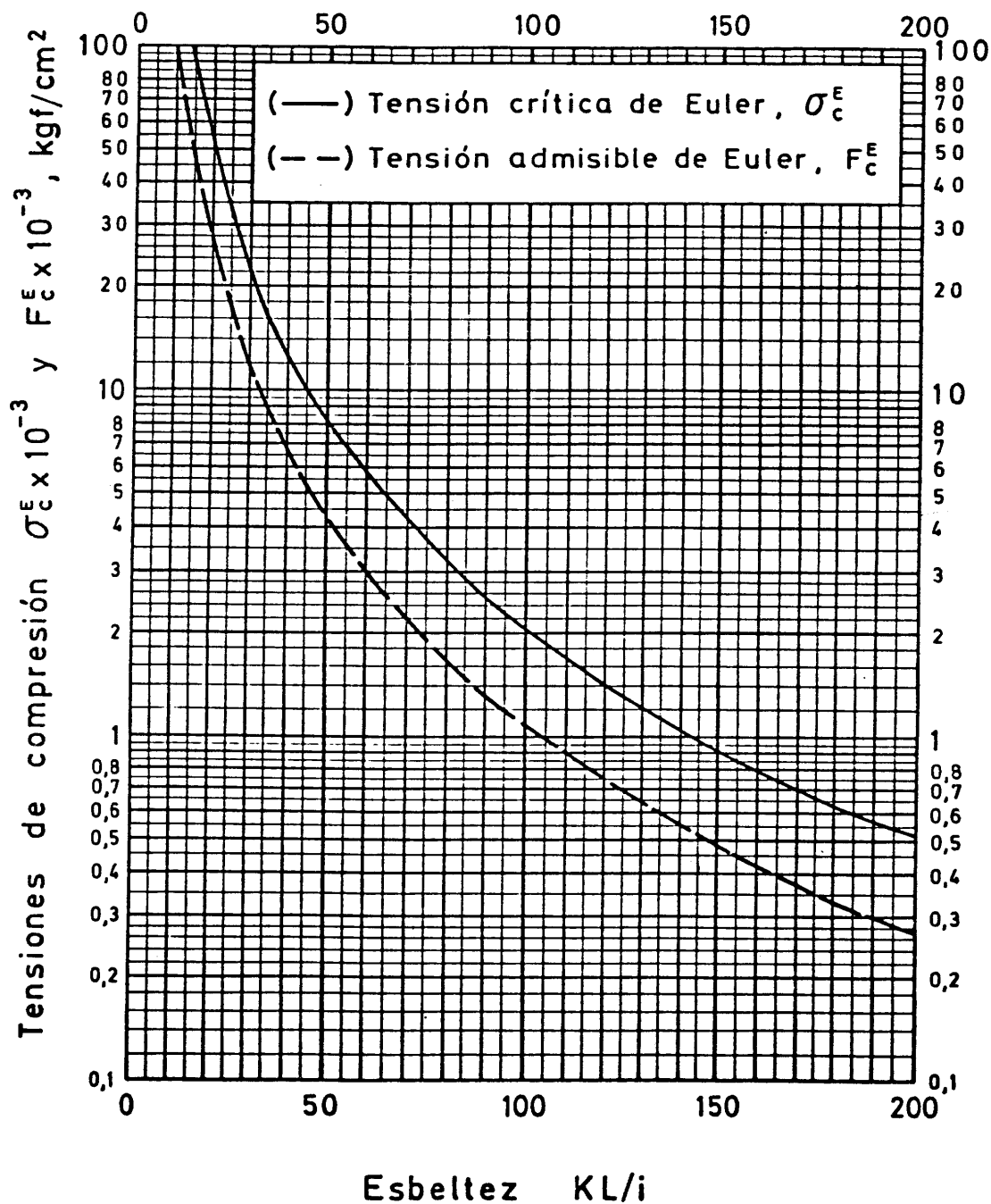


Gráfico 30  
Razón  $\sigma_{cx}^{FT} / \sigma_{cx}^E$

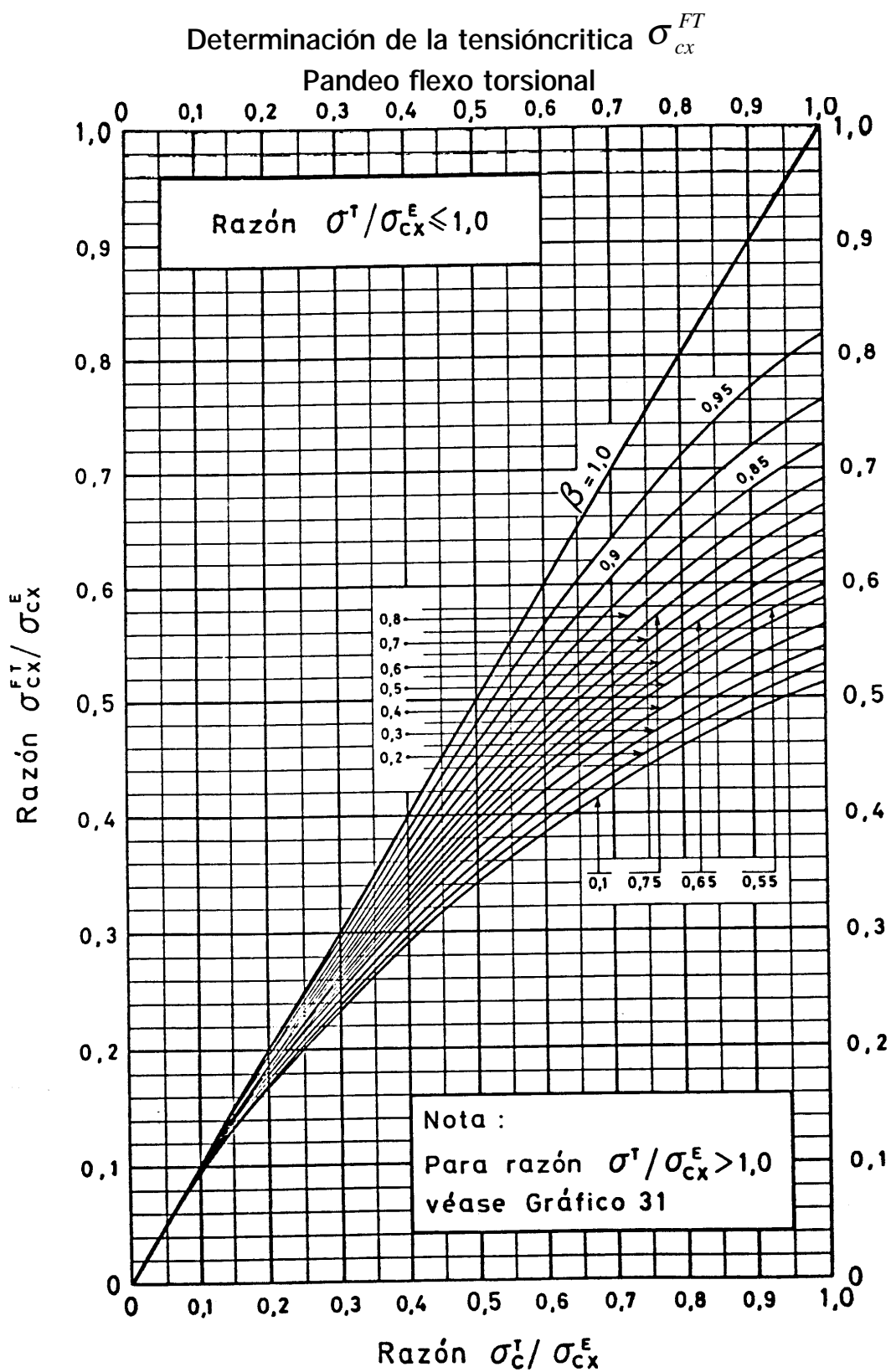


Gráfico 31

Razón  $\sigma_{cx}^{FT} / \sigma_{cx}^E$ Determinación de la tensión crítica  $\sigma_{cx}^{FT}$ 

Pandeo flexo-torsional

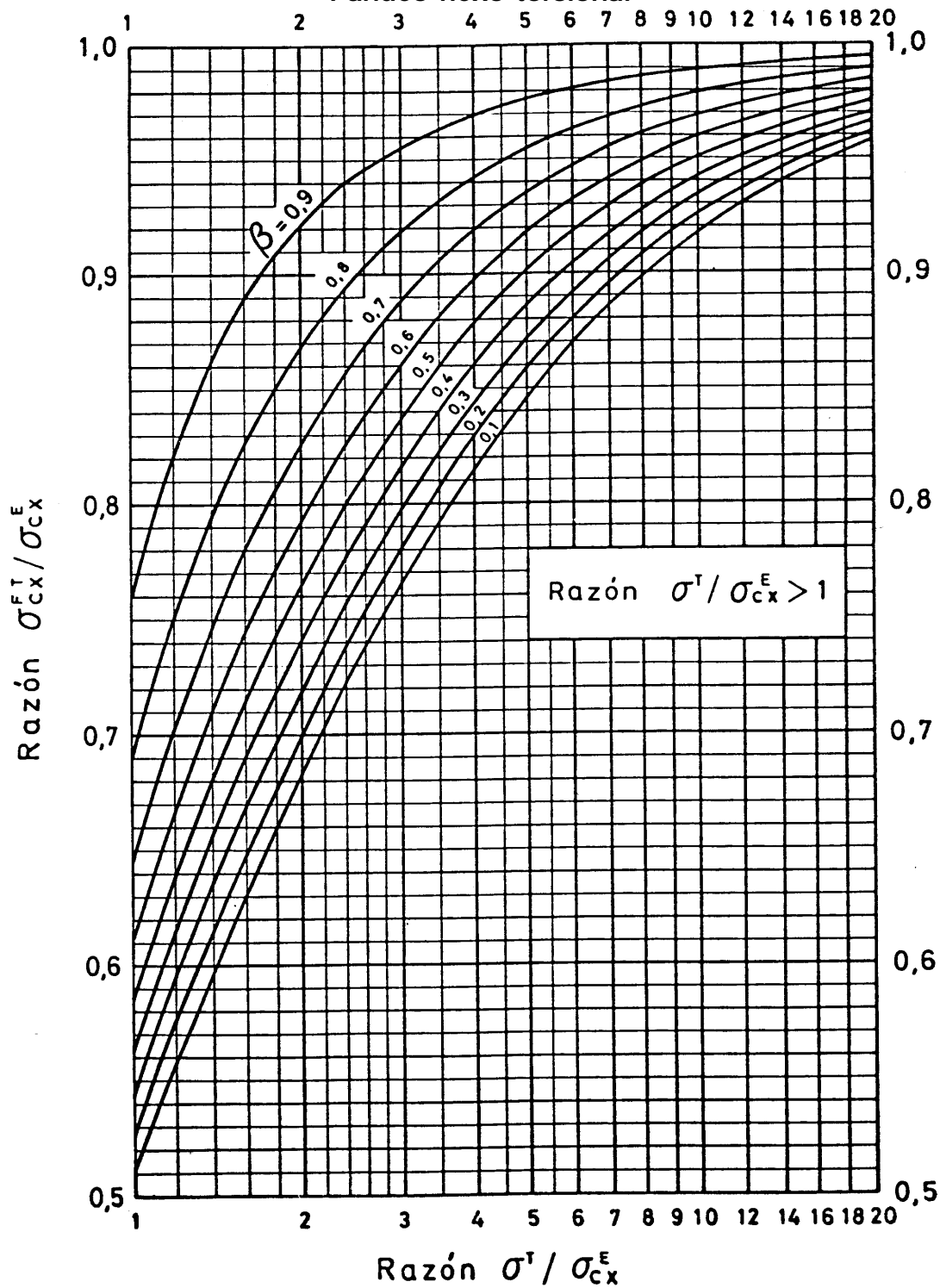


Gráfico 32  
Tensión admisible de compresión  $F_{cx}^{FT}$

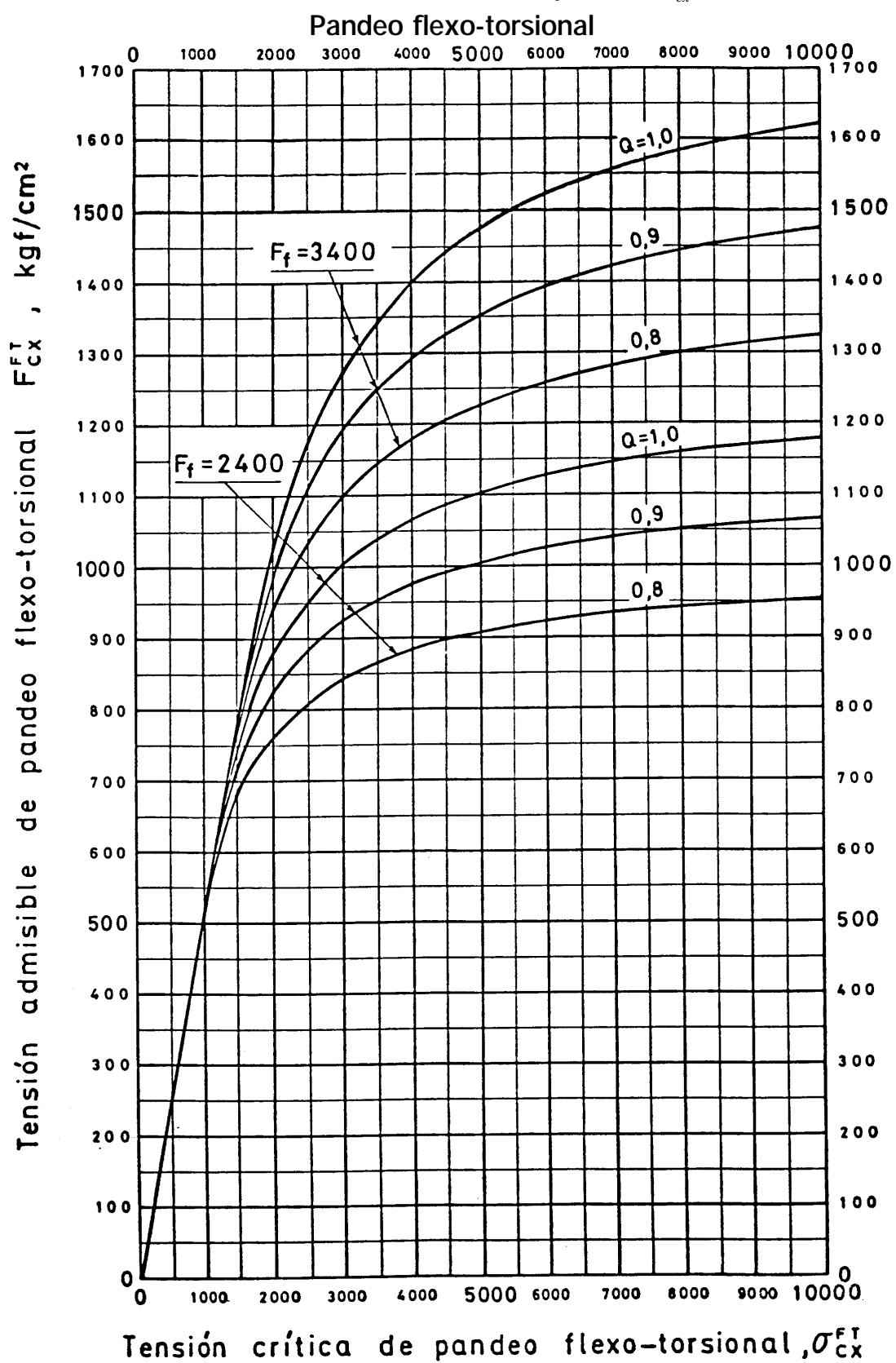
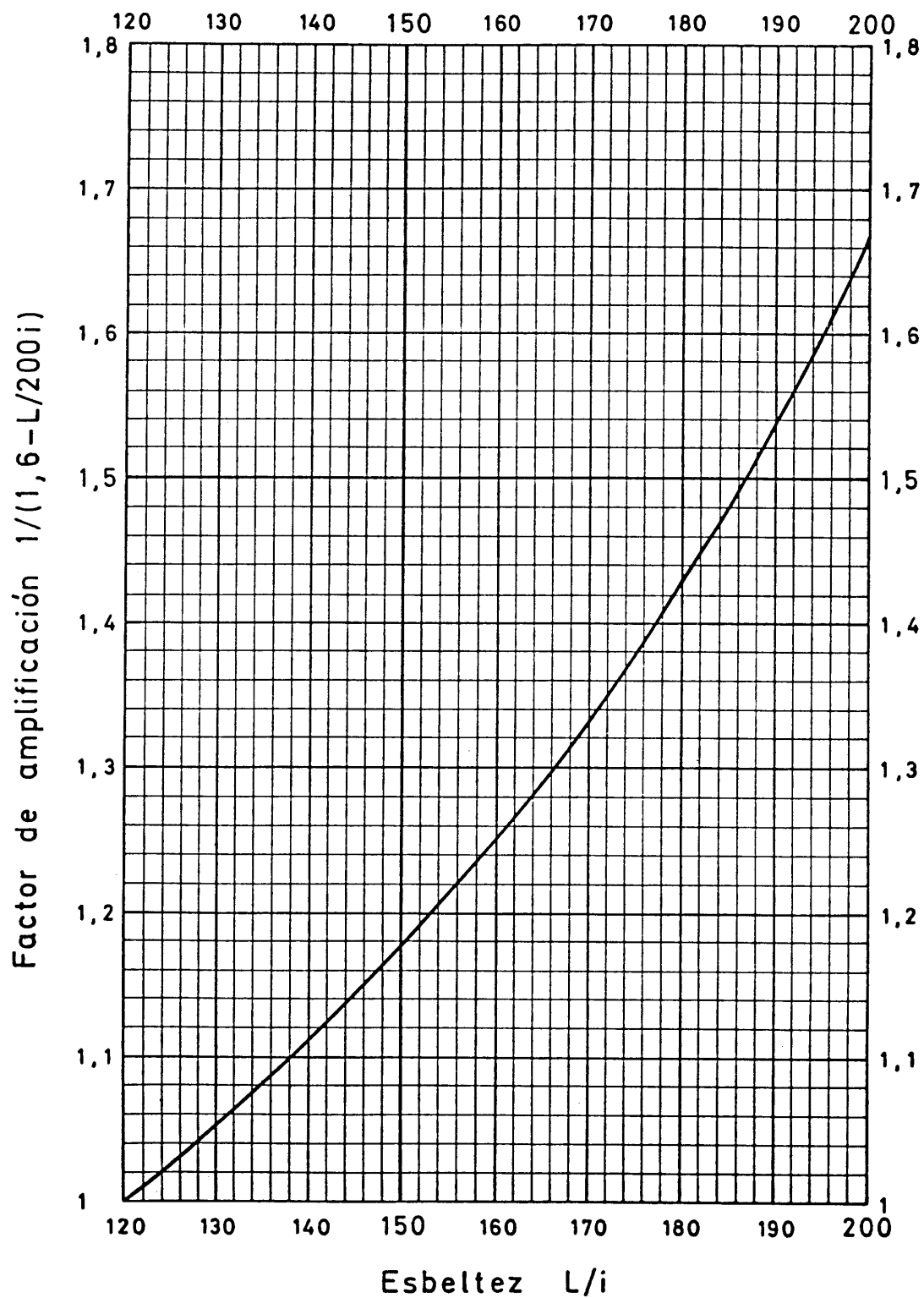


Gráfico 33  
Factor de amplificación  $1/(1,6-L/200i)$   
Perfiles secundarios y de arriostramiento





### 11.7.3 Coeficiente de longitud efectiva, K

#### 11.7.3.1 Generalidades

Este coeficiente considera el grado de empotramiento de los extremos de una columna al giro y/o desplazamiento lateral en el plano de pandeo en estudio.

Para la determinación de este coeficiente, es necesario definir los siguientes tipos de marcos:

- a) **marcos con desplazamiento lateral.** Son aquellos cuyo desplazamiento lateral depende de la rigidez de sus elementos componentes;
- b) **marcos sin desplazamiento lateral.** En éstos, el desplazamiento lateral no depende de la rigidez de sus elementos componentes, sino que éste se encuentra impedido por otros elementos tales como elementos verticales de arriostramiento en el plano del marco (contraventaciones, muros resistentes, etc.), o elementos con rigidez horizontal (losas de hormigón armado, arriostramientos, etc.), que unen el marco a estructuras resistentes a desplazamientos laterales paralelos al plano del marco.

#### 11.7.3.2 Determinación de K<sup>11)</sup>

De acuerdo al tipo de marco en estudio, se emplearán las tablas 34 y 35, en las que, el grado de empotramiento,  $G_A$  y  $G_B$ , de cada uno de los extremos de la columna, se encuentra definido por:

$$G = \frac{\sum I_c / L_c}{\sum I_v / L_v} \quad (\text{Fórmula 22})$$

en que:

- $\Sigma$  = suma de todos los miembros, contenidos en el plano de pandeo de la columna en estudio, que están unidos rígidamente al extremo<sup>12)</sup>;
- $I_c$  = momento de inercia de una columna con respecto al eje perpendicular al plano de pandeo considerado;
- $L_c$  = longitud entre apoyos de una columna;
- $I_v$  = momento de inercia de una viga que incide en el extremo de la columna en estudio respecto al eje perpendicular al plano de pandeo de dicha columna;
- $L_v$  = longitud entre apoyos de una viga.

<sup>11)</sup> ) Para sistemas de enrejados considerar  $K = 1$ , y en columnas con dos cargas distintas en su longitud usar  $K = 0,25 + 0,75 P_{\min.} / P_{\max.}$

<sup>12)</sup> ) Se incluye la columna.

## NCh427

En el empleo de las tablas 34 y 35, para condiciones de apoyo de una columna sobre una fundación, se considerarán los siguientes valores de  $G$ :

- a)  $G = 10$ , cuando las condiciones de rótula de un extremo son aproximadas;
- b)  $G = 1$ , para extremos empotrados (ej. una fundación diseñada para resistir momentos de empotramiento).

NOTA - Si los extremos más alejados de las vigas que llegan al extremo de la columna en estudio, tienen distinto tipo de fijación que ésta, se deberá modificar el valor de  $G$  calculado, en la forma que a continuación se señala:

- 1) En marcos sin desplazamiento lateral:

$$G' = G/2,0 \text{ para extremos empotrados;}$$

$$G' = G/1,5 \text{ para extremos rotulados.}$$

- 2) En marcos con desplazamiento lateral:

$$G' = 2,0 G \text{ para extremos rotulados;}$$

$$G' = 1,5 G \text{ para extremos empotrados.}$$

### 11.7.3.3 Predimensionamiento

Para un predimensionamiento, las condiciones de empotramiento pueden asimilarse a alguno de los casos ideales indicados en tabla 33 y de allí obtener un valor aproximado de  $K$ . Una vez efectuado el predimensionamiento, se calculará el grado de empotramiento,  $G$ , de ambos extremos de la columna en estudio y se determinará  $K$  empleando las tablas 34 y 35, según corresponda.

### 11.7.4 Longitud de pandeo en cruce de diagonales

En los casos en que dos diagonales se cruzan una de las cuales trabaja en tracción y la otra en compresión, el punto de cruce se podrá considerar fijo en el plano normal al enrejado, siempre que la unión esté constituida por un mínimo de dos soldaduras o conectores mecánicos.

NOTA - No se permitirá el uso de diagonales esbeltas calculadas para la tracción y que puedan quedar sometidas a esfuerzos sísmicos de compresión, salvo si tienen tensión previa controlada o dispositivos permanentes para regular la tensión.

Tabla 33  
Coeficientes de longitud efectiva K  
Valores teóricos y recomendados

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
La columna pandeada se indica con línea de segmentos						
Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de diseño recomendado cuando las condiciones ideales son aproximadas	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código de las condiciones de los extremos		Rotación fija y traslación fija Rotación libre y traslación fija Rotación fija y traslación libre Rotación libre y traslación libre				

TABLA 34  
Coeficientes K  
Marco arriostrado

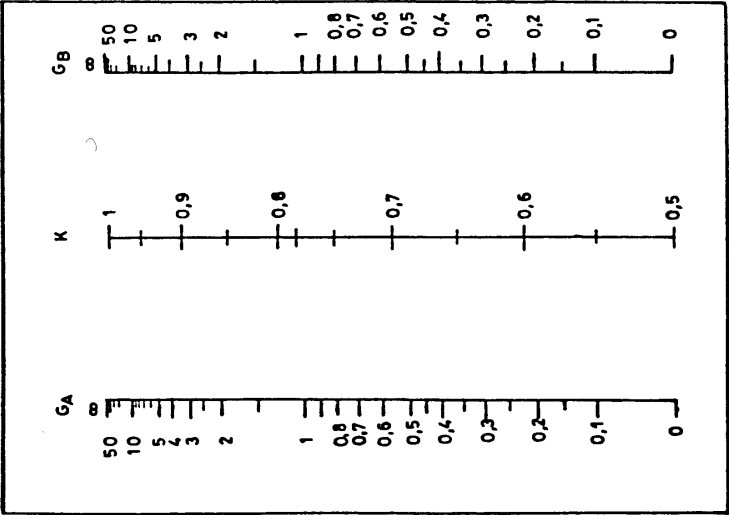
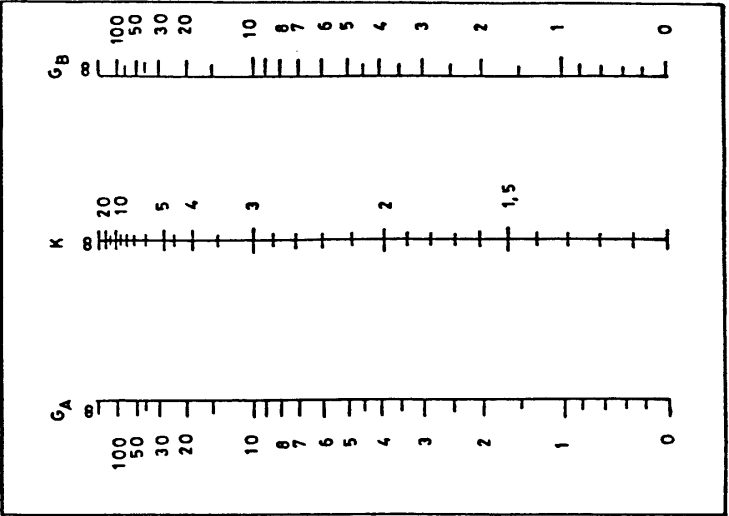


TABLA 35  
Coeficientes K  
Marco no arriostrado



## 11.8 Interacción de compresión y flexión (Flexión compuesta)

### 11.8.1 Generalidades

En esta sección se analiza la interacción entre las tensiones producidas por fuerzas axiales de compresión y momentos flectores.

En perfiles con dos ejes de simetría se consideran solicitaciones de flexión aplicadas en torno de uno o ambos ejes de simetría.

En perfiles con un eje de simetría se considera, por ahora, momentos flectores aplicados solamente en el plano de simetría.

### 11.8.2 Interacción en perfiles con dos ejes de simetría

Las tensiones de trabajo,  $f_c = P/A$  y  $f_m$  (determinada según lo indicado en tabla 38), deberán cumplir con las fórmulas de interacción que se señalan a continuación:

Tabla 36 - Flexión compuesta en perfiles con dos ejes de simetría

Condición	Fórmulas de interacción
A. $f_c / F_c^F > 0,15$	1) $\frac{f_c}{F_c^F} + \frac{C_{fx}}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cx}^E}\right]} \frac{f_{mcx}}{F_{mcx}} + \frac{C_{fy}}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cy}^E}\right]} \frac{f_{mcy}}{F_{mcy}} \leq I^*)$ 2) $\frac{f_c}{F_{co}^F} + \frac{f_{mcx}}{F_{mcx}} + \frac{f_{mcy}}{F_{mcy}} \leq I$ en que: $F_{co}^F = F_c^F$ para $KL = 0$
B. $f_c / F_c^F \leq 0,15$	$\frac{f_c}{F_c^F} + \frac{f_{mcx}}{F_{mcx}} + \frac{f_{mcy}}{F_{mcy}} \leq I$

\*) Para valores de  $C_f$  ver subpárrafo 11.8.4.

\*\*) Fórmula aplicable en el caso de interacción tracción-flexión en la que  $f_m = f_{mt}$ . Además, para esta interacción se debe verificar  $f_{mc} \leq F_m$

### 11.8.3 Interacción en perfiles con un eje de simetría (Eje x-x)

Los perfiles con un eje de simetría, afectados a compresión axial y a flexión aplicada en el plano de simetría, se dimensionarán de modo que cumplan con los siguientes requerimientos.

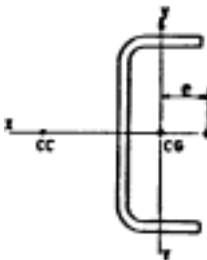
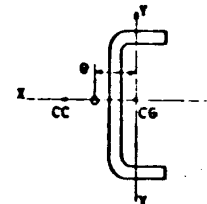
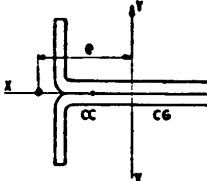
#### a) Pandeo por flexión (Eje y-y)

Las tensiones de trabajo,  $f_c = P/A$  y  $f_m$  (calculada conforme a lo indicado en tabla 38, deberán cumplir con las fórmulas de interacción dadas en tabla 36 en las que  $F_c^F = F_{cy}^F$  y  $f_{mcx} = 0$ ;

#### b) Pandeo flexo-torsional (Eje x-x)

La tensión de compresión axial,  $f_c$ , debe ser menor o igual que la tensión admisible  $F_{cx}^{FT}$ , calculada conforme a lo indicado en tabla 37.

Tabla 37

Excentricidad	Tensión Admisible	Observaciones
$e$	$e_{F_{cx}}^{FT}$	
A. Si $e > 0$ 	1. $+F_{cx}^{FT} = \frac{1}{FS} \left[ 1 - \frac{QF_f}{4 + \sigma_{cx}^{FT}} \right] QF_f; \text{ si } +\sigma_{cx}^{FT} > 0,5 QF_f$ 2. $+F_{cx}^{FT} = \frac{1}{FS} + \sigma_{cx}^{FT}; \text{ si } +\sigma_{cx}^{FT} \leq 0,5 QF_f$ $FS = 23/12$	$+\sigma_{cx}^{FT} = \frac{1}{2} \left[ \phi_2 - \sqrt{\phi_2^2 - 4\phi_1} \right]$ $\phi_1 = \sigma_{cx}^{FT} \sigma_{cy}^E$ $\phi_2 = \sigma_{cx}^{FT} + \sigma_{cy}^E + \frac{C_{ft} A_e}{M_t} \phi_1$ $M_t = -A \sigma_{cx}^E \left[ j - \sqrt{j^2 + i_0^2 (\sigma_c^T / \sigma_{cx}^E)} \right]$ Para $C_{ft}$ ver Tabla 38 Para perfiles I de las alas desiguales, $M_t = AH \sigma_{cx}^E / 2$
B. $e < 0$ $e < 0$  <p>La carga actúa entre CC y CG.</p>	1. Para cualquier perfil salvo perfil T o I de alas desiguales $(-)F_{cx}^{FT} = F_{cx}^{FT} + \frac{e}{xo} \left[ xo_{F_{cy}^i} - F_{cx}^{FT} \right]; \text{ si } F_{cy}^F > F_{cx}^{FT}$ 2. Para perfiles T o I de alas desiguales $(-)F_{cx}^{FT} = F_{cx}^{FT} + \frac{e}{xo} \left[ xo_{F_c^i} - F_{cx}^{FT} \right]; \text{ si } F_{cy}^F > F_{cx}^{FT}$	$xo_{F_{cy}^i} = xo_{F_{cy}^F} \text{ (según Tabla 36 con } F_{mcy} = P \cdot e \text{)}$ $xo_{F_c^i} = xo_{F_{cy}^F} \text{ (según Tabla 36 con } F_{mcy} = P \cdot e \text{)}$ $= xo_{F_{cx}^{FT}} \text{ (según punto C con } e = xo \text{)}$ (se considera el meno valor)
C. $e < 0$ 	En general no es necesario verificar un perfil según este eje, salvo en perfil T o I de alas desiguales, en cuyo caso se tiene 1. $-F_{cx}^{FT} = \frac{1}{FS} \left[ 1 - \frac{QF_f}{4 - \sigma_{cx}^{FT}} \right] QF_f; \text{ si } -\sigma_{cx}^{FT} > 0,5 QF_f$ 2. $-F_{cx}^{FT} = \frac{1}{FS} - \sigma_{cx}^{FT}; \text{ si } -\sigma_{cx}^{FT} \leq 0,5 QF_f$ $FS = 23/12$	$-\sigma_{cx}^{FT} = \frac{1}{2} \left[ \phi_4 - \sqrt{\phi_4^2 + 4\phi_3} \right]$ $\phi_3 = \frac{\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E M_c}{C_{ft} A x o \sigma_{cx}^E - M_c}$ $\phi_4 = \frac{M_c (\sigma_{cx}^E - \sigma_{cy}^E) + C_{ft} A \sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E (e - xo)}{M_c - C_{ft} A x o \phi_{cx}^E}$ $M_c = -A \sigma_{cy}^E - \left[ j + \sqrt{j^2 + i_0^2 (\sigma_c^T / \sigma_{cx}^E)} \right]$ Para $C_{ft}$ ver Tabla 38 Para perfiles I de alas desiguales, $M_c = M_t$ (Ver punto A).

\*) Si  $F_{cy}^F < F_{cx}^{FT}$  no se considera calcular  $(-)F_{cx}^{FT}$  y la tensión admisible será la indicada en 11.8.3a

En esta tabla:

$$j = \frac{1}{21y} \left[ \int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - xo; \text{ siendo } x \text{ el eje de simetría e el eje ortogonal a } x, \text{ cm.}$$

$xo$  = distancia entre los centros de gravedad y de corte, cm.

$A$  = área de la sección,  $\text{cm}^2$

$H$  = altura de la sección, cm

$e$  = excentricidad de aplicación de la carga con respecto al centroide de la sección

$e > 0$  = si la carga se encuentra más alla del centroide y en el lado opuesto al centro de corte

$e < 0$  = si la carga se encuentra más alla del centroide y en el lado correspondiente al del centro del corte

#### 11.8.4 Determinación de las constantes $C_f$ y $C_{ft}$

Las constantes  $C_f$  y  $C_{ft}$  dependen del tipo de marco y sollicitación según se indica a continuación:

- a) Para elementos comprimidos en marcos con desplazamiento lateral

$$C_f = C_{ft} = 0,85$$

- b) Para elementos en compresión en marcos sin desplazamiento lateral y no afectos a sollicitación transversal entre sus apoyos en el plano de flexión.

$$C_f = C_{ft} = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (\text{Fórmula 23})$$

en todo caso  $C_f \geq 0,4$

en que:

$M_1$  y  $M_2$  = momentos en los extremos del tramo entre arriostramientos según el plano de flexión considerado en que

$$|M_1| < |M_2|$$

El signo de la razón  $M_1/M_2$  depende de la curvatura que origina el diagrama de momento como sigue:

$M_1/M_2 > 0$  cuando la flexión produce curvatura doble en el tramo;

$M_1/M_2 < 0$  cuando la flexión produce curvatura simple en el tramo.

- c) Para elementos comprimidos en marcos sin desplazamiento lateral en el plano de carga y afectos a carga transversal entre sus apoyos, el valor de  $C_f$  puede ser determinado por análisis refinado (ver subpárrafo 11.8.5). Sin embargo, en lugar de tal análisis se puede emplear los siguientes valores:

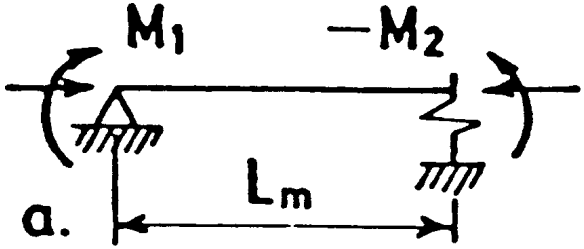
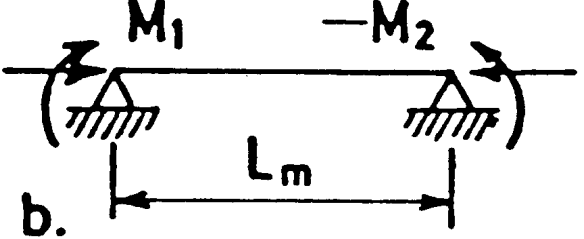
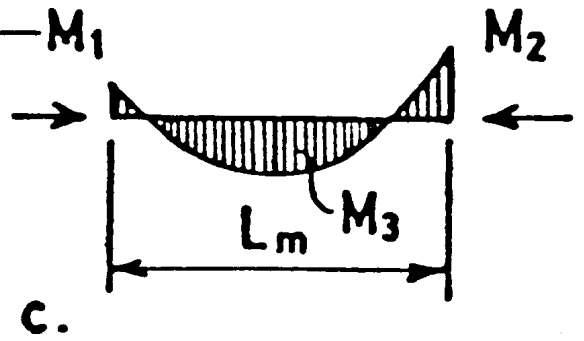
1) Para elementos con sus extremos empotrados  $C_f = 0,85$

2) Para elementos con sus extremos no empotrados  $C_f = 1,00$

A continuación se entregan algunos ejemplos que ilustran los diferentes casos indicados anteriormente junto con la determinación de la tensión de flexión,  $f_m$ .



Tabla 38 – Determinación de  $f_m$  para perfiles en flexión compuesta

Caso	$f_m$
	$f_m = M_2/W$
	$f_m = M_2/W$
	<p>En fórmula A2, tabla 36</p> $f_m = M_2/W$ <p>En fórmula A1, tabla 36</p> $f_m = M_3/W$

11.8.5 Análisis refinado de  $C_f$  [Caso 11.8.4 c)]

Los elementos comprimidos del caso 11.8.4 c) se pueden representar por los cordones comprimidos de un enrejado, afectos a solicitaciones de flexión en el tramo. Para este caso el valor de  $C_f$  puede ser calculado empleando la expresión

$$C_f = 1 + \psi \frac{f_c}{F_c^E} \quad (\text{Fórmula 24})$$

en que:







$$\psi = (\pi^2 \sigma_0 EI / M_0 L_m^2) - 1 \quad (\text{Fórmula 25})$$

$\phi_0$  = deformación máxima debida a la carga transversal, cm;

$M_0$  = momento máximo entre los apoyos debido a la carga en el tramo, kgf · cm.

Para valores de  $\psi$  y  $C_f$  de casos particulares ver tabla 39.

Tabla 39 - Determinación de  $\psi$  y  $C_f$ . Casos particulares

	0	1,0
	-0,3	$1 - 0,3 \frac{f_c}{F_c^E}$
	-0,4	$1 - 0,4 \frac{f_c}{F_c^E}$
	-0,2	$1 - 0,2 \frac{f_c}{F_c^E}$
	-0,4	$1 - 0,4 \frac{f_c}{F_c^E}$
	-0,6	$1 - 0,6 \frac{f_c}{F_c^E}$

### 11.9 Tensión admisible de compresión y flexión en tubos, $F_c$ y $F_m$

La tensión admisible de compresión,  $F_c$ , y flexión,  $F_m$ , en este tipo de perfiles depende de la razón  $D/e$ , ( $D$  es el diámetro medio del tubo y  $e$  es el espesor) en la forma indicada a continuación:

Tabla 40 - Tensión admisible de compresión y flexión,  $F_c$  y  $F_m$   
Perfiles O

Razón	Tensión admisible	$F_r$ , kgf/cm <sup>2</sup>			
		2 400		3 400	
		D/e	F	D/e	F
A. $D/e \leq 230000/F_f$	$F_c = F_m = 0,6 F_f$	98	1 440	69	2 040
B. $230000/F_f < D/e \leq 950000/F_f$	$F_c = F_m = \frac{46500}{D/e} + 0,399 F_f$ *)	98/396	$\frac{46 500}{D/e} + 960$	69/279	$\frac{46 500}{D/e} + 1360$

\*) Para compresión axial se debe cumplir, además:  $f_c \leq F_c^F$  según se indica en tabla 31 para perfiles plegados.

### 11.10 Esbeltez máxima, $(KL/i)_{\max}$

La esbeltez máxima de un perfil,  $(KL/i)_{\max}$ , depende del tipo de solicitaciones a que éste esté sometido según se indica en subpárrafo 11.10.1 y 11.10.2.

#### 11.10.1 Perfiles en compresión

$$(KL/i)_{\max} = 200$$

Durante el montaje solamente, la esbeltez máxima no excederá de 300.

#### 11.10.2 Perfiles en tracción<sup>13)</sup>

Dependiendo del perfil se tiene:

a) Para perfiles principales  $(L/i)_{\max} = 240$

b) Para perfiles secundarios o de arriostramiento (salvo sísmicos)  $(L/i)_{\max} = 300$

NOTA - En elementos solicitados por cargas axiales con una pendiente mayor que 45°, la altura no debe ser menor que 1/90 de la proyección horizontal de su longitud.

La disposición anterior no regirá para elementos en tracción con dispositivos permanentes para ajustar la tensión o colocados con tensión previa controlada.

<sup>13)</sup> Exigencia no aplicable a barras.

## 12 Vigas con losa colaborante

### 12.1 Generalidades

Se entiende por vigas con losa colaborante, aquellas vigas de acero que trabajan en conjunto con losas de hormigón para resistir solicitaciones de flexión. La colaboración de la losa se obtiene uniéndola a la viga de acero de modo que se transmita el esfuerzo de corte que se produce entre ambos elementos.

La forma de transmitir el esfuerzo de corte puede ser por adherencia natural entre ambos elementos (viga y losa) o, por medio de conectores de corte soldados al ala superior de la viga.

### 12.2 Adherencia natural

Para asegurar la adherencia natural acero-hormigón, es necesario que la viga se encuentre totalmente embebida en el hormigón, condición que se estima satisfecha si se cumple con los siguientes requerimientos:

- a) un recubrimiento mínimo de 5 cm en sus contornos;
- b) el plano superior del ala comprimida debe estar a una distancia mínima de 4 cm bajo la superficie superior de la losa, y de 5 cm sobre la superficie inferior de ella;
- c) para evitar desprendimientos o grietas, el hormigón de la viga debe armarse con fierro longitudinal y estribos que rodeen totalmente la viga de acero;
- d) el hormigón de la viga y de la losa debe vaciarse simultáneamente.

### 12.3 Conectores

Las vigas con conectores se clasifican en vigas con colaboración total o parcial<sup>14)</sup>. La colaboración total se obtiene cuando el número de conectores es mayor o igual al requerido para resistir el esfuerzo de corte horizontal  $V_h$ . Cuando el número de conectores es inferior, pero en todo caso no menor que los requeridos para un corte horizontal igual a  $0,5 V_h$ , se entenderá que existe colaboración parcial.

### 12.4 Propiedades de la sección

Las propiedades de la sección de una viga con losa colaborante se determinarán considerando los siguientes puntos:

- a) para calcular el módulo resistente  $W_t$  de la sección compuesta es necesario transformar la sección de hormigón ubicada en la zona comprimida de la viga a una de acero cuyo espesor es el de la losa y cuyo ancho es un ancho reducido,  $B$ , calculado a partir del ancho colaborante  $B_h$  (para la determinación de  $B_h$  ver tabla 41) de la losa, dividido por la razón de los módulos de elasticidad del acero y del hormigón,  $n$ <sup>15)</sup>.

<sup>14)</sup> Se emplea este tipo de vigas cuando no es factible o necesario usar colaboración total.

<sup>15)</sup> Valores de  $n$ : 11, 10 y 9 para hormigones C-180, D-225 y E-300 respectivamente.

- b) en las zonas de momento negativo no debe considerarse el hormigón que se encuentra traccionado;
- c) el área de las armaduras longitudinales,  $A_r$ , ubicadas en el ancho colaborante  $B_h$ , puede considerarse en el cálculo del módulo resistente, en las secciones afectas a momentos negativos, siempre que las armaduras se encuentren debidamente ancladas y se coloquen conectores para resistir el corte horizontal indicado en tabla 43.

Tabla 41 - Determinación del ancho colaborante,  $B_h$  <sup>1)</sup>

Ancho colaborante	Si la losa se extiende a	
$B_h$	A. Ambos lados de la viga	B. Un lado de la viga
El menor valor dado por	1) $L/4$	1) $L/12 + B_s$
	2) $S$	2) $(S + B)/2$
	3) $16 e_h + B_s$	3) $6 e_h + B_s$

en que:

$L$  = distancia entre secciones de momento nulo, cm;

$S$  = separación entre vigas, cm;

$B_s$  = ancho del ala superior de la viga, cm;

$e_h$  = espesor de la losa, cm.

1) Ver figura 9.

## 12.5 Tensiones admisibles y de trabajo

### 12.5.1 En el hormigón

La determinación de las tensiones en el hormigón depende del tipo de colaboración que existe entre la viga y la losa según se indica a continuación:

- a) Para vigas embebidas en hormigón, que cumplen con los requisitos indicados en párrafo 12.2, no se considerarán las tensiones de tracción. Además, no se requerirá verificar la tensión de compresión existente en la zona comprimida de la viga.

- b) para vigas con alzaprima, la tensión de compresión por flexión se calculará considerando el momento total solicitante y el módulo resistente transformado referido a la fibra superior de la viga;
- c) en vigas sin alzaprima, la tensión de compresión se calculará considerando el momento originado por las cargas aplicadas después que el hormigón haya alcanzado el 75% de su resistencia a los 28 días,  $R_{28}$ ; y
- d) las tensiones de trabajo calculadas en a), b) y c) no deberán exceder las tensiones admisibles indicadas por las normas NCh429 y NCh430 para Hormigón armado.

### 12.5.2 En el acero

Las tensiones,  $f_m$  y  $F_m$  para vigas embebidas en hormigón y vigas con conectores de corte se entregan en tabla 42.

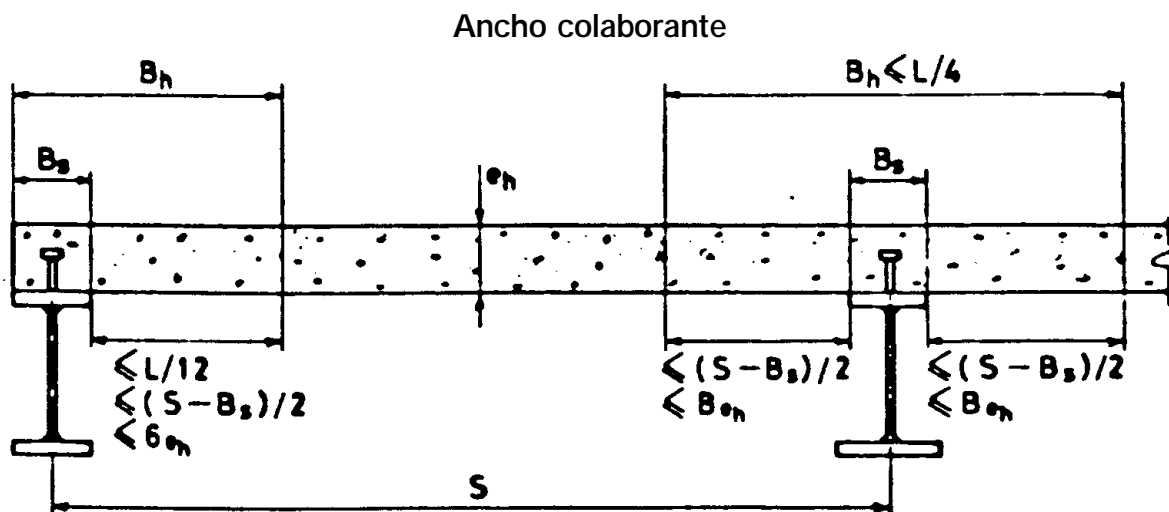


Figura 9

Tabla 42 - Tensión de trabajo,  $f_m$  y tensión admisible,  $F_m$ 

Tipo de viga	Tensión de trabajo	Tensión admisible	Observaciones
	$f_m$	$F_m$	
A. Vigas embebidas en hormigón	1) $f_m = (M_1 + M_2)W_t$ o bien <sup>*)</sup>	$0,66 F_r$	Si no se emplea alzaprima, se debe verificar, además  3) $f_m = M_1/W \leq F_m$
	2) $f_m = (M_1 + M_2)/W$	$0,76 F_r$	
B. Vigas con conectores de corte	$f_m = (M_1 + M_2)/W_{ti}^{**})$	$F_m$	

<sup>\*)</sup> Esta fórmula representa un criterio alternativo de diseño, el cual, además, no requiere alzaprima.

<sup>\*\*)</sup> Para colaboración parcial la tensión  $f_m$  está dada por

$$f_m = (M_1 + M_2)W_{ti}^P \text{ en que} \quad (\text{Fórmula 26})$$

$$W_{ti}^P = W_i + \frac{V_{h'}}{V_h} (W_{ti} - W_i) \quad (\text{Fórmula 27})$$

NOTA - Se deberá emplear alzaprima si  $W_{ti}$  o  $W_{ti}^P$  es mayor que  $(1,35 + 0,35 M_2/M_1) W_i$  en tabla 42:

$F_m$  = tensión admisible de flexión (ver párrafo 11.2);

$W_{ti}^P$  = módulo resistente de la sección transformada respecto a la fibra extrema traccionada, para una viga con colaboración parcial,  $\text{cm}^3$ ;

$W_{ti}$  = módulo resistente de la sección transformada respecto a la fibra extrema traccionada,  $\text{cm}^3$ ;

$W_i$  = módulo resistente de la viga de acero respecto a la fibra extrema traccionada,  $\text{cm}^3$ ;

$V_h$  = esfuerzo de corte horizontal para colaboración total, kgf, según lo indicado en tabla 43;

$V_h'$  =  $N_1 R$  = corte horizontal en vigas con colaboración parcial, kgf;

$R$  = resistencia de un conector, kgf, (ver tabla 44).

$N$  = número de conectores entre la sección de momento máximo positivo y la sección de momento nulo;

$M_1$  y  $M_2$  = momentos producidos por cargas aplicadas antes y después que el hormigón haya alcanzado el 75% de su resistencia  $R_{28}$  respectivamente.

## 12.6 Resistencia al corte

### 12.6.1 Del alma

El dimensionamiento del alma de la viga de acero se hará en conformidad a lo indicado en párrafo 11.3 considerando el total de las solicitaciones<sup>16)</sup>.

### 12.6.2 De los conectores

La resistencia al corte de los conectores depende del tipo de colaboración según se indica a continuación:

- en vigas con colaboración total (salvo el caso de vigas embebidas en hormigón), los conectores de corte que transmiten el corte horizontal total en la unión de la viga de acero con la losa de hormigón se dimensionarán para resistir un esfuerzo de corte,  $V_h$ , según lo indicado en tabla 43;
- en el caso de vigas con colaboración parcial, los conectores requeridos deberán ser capaces de resistir un corte horizontal  $V_{h'}$  el cual, en todo caso, no será inferior al 50% de  $V_h$

### 12.6.3 Determinación del corte horizontal, $V_h$

El corte horizontal  $V_h$  será el indicado en tabla 43 para las zonas de flexión positiva y negativa de la viga.

Tabla 43 - Determinación de  $V_h$ , kgf

Zona de momento	$V_h$	Observaciones
A. Positivo	El menor dado por: 1) $0,36 B_h e_h R_{28}$ 2) $0,50 A F_f$	*) En el caso de considerar la colaboración de las armaduras longitudinales de la losa ubicadas en el ancho colaborante.
B. Negativo *)	$0,50 A_r F_{fr}$	

En esta tabla:

$A$  = área de la viga de acero;

$A_r$  = área de las armaduras longitudinales de la losa ubicadas en el ancho colaborante;

$F_{fr}$  = tensión de fluencia de las armaduras de la losa.

<sup>16)</sup> ) Aplicar también estas solicitaciones al dimensionamiento de las uniones extremas de la viga.



### 12.6.4 Determinación del número de conectores, $N$

El número de conectores de corte se determinará como sigue:

- el número de conectores,  $N$ , entre las secciones de momento máximo (positivo o negativo) y la sección de momento nulo será el que se obtiene por la relación  $V_h/R$  o  $V'_h/R$ , en que  $R$  es la resistencia de cada conector dada en tabla 44;
- los conectores se pueden distribuir en forma uniforme, salvo el caso en que existan cargas concentradas en la zona de flexión positiva, para lo cual, se debe verificar que el número de conectores,  $N_1$ , que se debe colocar entre la sección de la carga concentrada y la sección de momento nulo más cercano sea superior a:

$$N_1 \geq \frac{N}{(\beta - 1)} \left[ \frac{M\beta}{M_{\text{máx}}} - 1 \right] \quad (\text{Fórmula 29})$$

en que:

$N$  =  $V_h/R$  o  $V'_h/R$  = número de conectores de corte requerido entre el punto de momento máximo y el punto de inflexión para una colaboración total o parcial;

$M$  = momento en la sección correspondiente a la carga concentrada ( $M < M_{\text{máx}}$ );

$M_{\text{máx}}$  = momento máximo positivo; y

$\beta$  =  $W_{ii}/W_i$  o  $W_{ii}^P/W_i$ , según corresponda.

Tabla 44 - Resistencia de un conector, R, kgf

Tipo de conector <sup>1)</sup>	R, kgf			
	Tipo de hormigón (según NCh429 y NCh430)			
	C 180	D 225	E 300	F 400 <sup>*)</sup>
1. Pernos con gancho o con cabeza <sup>2)</sup>				
d 12 x 50 mm	1 760	1 960	2 270	2 620
d 16 x 65 mm	3 120	3 490	4 030	4 650
d 20 x 75 mm	4 880	5 450	6 300	7 270
d 22 x 90 mm	5 900	6 600	7 620	8 800
2. Perfil canal C <sup>3)</sup>	4)			
C 3" x 4,1 lb	656 w	734 w	847 w	978 w
C 4" x 5,4	711 w	795 w	918 w	1 060 w
C 5" x 6,7	761 w	851 w	983 w	1 130 w
3) Espiral				
d 12 mm	4 700	4 970	5 340	5 740
d 16 mm	6 270	6 630	7 120	7 660
d 20 mm	7 830	8 290	8 910	9 570

1) Deberán tener un recubrimiento mínimo de 2,5 cm en todas las direcciones. Además, salvo los conectores tipo pernos ubicados sobre el alma, el diámetro será menor o igual que 2,5e, siendo e el espesor del ala superior de la viga de acero.

2) La longitud mínima será 4 d y el diámetro  $d \leq 22$  mm.

3) Ver Manual AISC Parte I Dimensiones y Propiedades de secciones.

4) w = longitud del perfil canal, cm.

\*) El hormigón F 400 se entrega sólo en carácter informativo.

## 13 Flechas y contraflechas

### 13.1 Flechas

La deformación  $\Delta$  de una viga o columna no deberá exceder los límites dados por tablas 45 y 46 según corresponda. En la determinación de la deformación se considerará la sección total del perfil (sin reducción por concepto de agujeros). Para el caso de vigas simplemente apoyadas, simétricas respecto al plano de flexión, de momento de inercia constante, y solicitadas por cargas uniformemente repartidas, la flecha puede ser expresada en función de la altura H. (Ver tabla 45). Para vigas con cargas puntuales (vigas porta grúas), los valores indicados en tabla 45 son aproximados.

Tabla 45 - Flechas y alturas de vigas recomendadas<sup>1)</sup>

Tipo de viga	Flecha	Altura, H <sup>4)</sup>	
	$\Delta$	$F_f = 2\ 400$	$F_f = 3\ 400$
A. Planchas onduladas de techo	L/120	L/58	L/41
B. Costaneras de techo Vigas embebidas en hormigón (para las cuales no se haya considerado colaboración de este)	L/200	L/35	L/25
C. Vigas corrientes de piso Vigas embebidas en hormigón con colaboración total	L/300	L/23	L/16
D. Vigas que soportan cielos estucados <sup>2)</sup>	L/350	L/20	L/14
E. Vigas porta-grúas laminadas o soldadas en general	L/450	L/16	L/11
F. Vigas porta-grúas remachadas o apernadas	L/600	L/12	L/8
G. Vigas enrejadas, cerchas <sup>3)</sup>	L/700	L/10	L/7
H. Vigas de puentes camineros, efectos de sobrecarga Vigas que soportan equipo vibratorio, salas de máquina	L/800	L/9	L/6
I. Vigas porta-grúas de aceras efecto de sobrecarga Puentes ferroviarios, efecto de sobrecarga	L/1000	L/7	L/5

1) Para vigas con otras condiciones de apoyo, la longitud a considerar será la siguiente:

Para vigas continuas en un extremo, usar 0,80 L

Para vigas continuas en ambos extremos, usar 0,65 L

2) La deformación  $\Delta$  corresponde sólo a la sobrecarga. Para las cargas de diseño se considerará la deformación indicada en B.

3) La altura H recomendada no es aplicable a cerchas de sección variable.

4) Para esta limitación se consideró  $f_m = 0,6 F_f$ .

Tabla 46 - Flechas de columnas recomendadas

Característica	Flecha, $\Delta$
A. Planchas onduladas de muro Costaneras de muro	L/120
B. Costaneras de muro que soportan ventanales	L/150
C. Columnas frontales que soportan costaneras	L/200
D. Edificios con muros flexibles, suelos firmes	L/250
E. Edificios con muros flexibles, suelos blandos	L/333
F. Edificios con muros rígidos solidarios al esqueleto Vigas porta-grúas, respecto a la luz	L/500

### 13.2 Contraflechas

Dependiendo del tipo de viga o de su función se tiene:

- en vigas enrejadas de luces superiores a 25 m, se recomienda dar una contraflecha aproximadamente igual a la deformación producida por las cargas permanentes;
- en vigas porta-grúas de luces superiores a 20 m, se recomienda dar una contraflecha aproximadamente igual a la deformación producida por las cargas permanentes y la mitad de la sobrecarga;
- si los elementos que van bajo o sobre la viga en estudio, exigen tolerancias de deformación de ésta (ej. ventanas correderas, etc.), las contraflechas requeridas serán indicadas en los planos de diseño y fabricación;
- en general, vigas para las cuales no se haya especificado contraflecha serán fabricadas de modo que una vez montadas, cualquier deformación permanente producida por laminación o ensamblado en taller, deberá quedar en dirección opuesta a la deformación producida por las cargas de servicio.

Si la contraflecha debe obtenerse mediante la aplicación de cargas durante el montaje, ello deberá indicarse en los planos de diseño, fabricación y montaje.

## 14 Uniones

### 14.1 Generalidades

Las uniones entre perfiles estructurales de acero se realizarán con conectores (remaches, pernos y soldaduras) y/o con la ayuda de suples, si ello es necesario.

Se podrá emplear otro tipo de conector si el proyectista obtiene la aprobación del revisor. Para ello, se recurrirá a certificados de ensayos o normas extranjeras que justifiquen su capacidad resistente.

### 14.2 Uniones mínimas

- a) Las uniones se diseñarán para resistir una sollicitación no inferior a 3 000 kgf.

Se exceptúan de esta exigencia las celosías, los arriostramientos secundarios y las uniones de los elementos componentes de un perfil compuesto.

- b) Las uniones extremas de perfiles traccionados o comprimidos de enrejados deberán resistir la carga de diseño, la que en todo caso, deberá ser superior al 50% de la resistencia efectiva del perfil.
- c) El número mínimo de remaches o pernos, en uniones diseñadas para transmitir esfuerzos, será 2 para espesores superiores a 4 mm, salvo en uniones de celosías en que podrá ser 1.

### 14.3 Excentricidad de la unión

Los perfiles solicitados axialmente deberán tener sus ejes centroidales coincidentes en un punto. Si esto no es posible deberá considerarse las tensiones de flexión debidas a la excentricidad.

### 14.4 Suples

- a) **En uniones remachadas o apernadas**

Los suples de espesor mayor o igual a 6 mm, salvo en uniones tipo fricción que empleen pernos de alta resistencia, se prolongarán más allá del material de empalme y su extensión se unirá con suficientes conectores para distribuir la tensión total del perfil en forma uniforme sobre la sección compuesta constituida por el perfil y los suples o, en caso contrario, se incluirá un número equivalente de conectores en la unión.

**b) En uniones soldadas**

- 1) Los suples de espesor mayor o igual a 6 mm, se prolongarán más allá de los bordes de la plancha de unión, y se soldarán a la parte sobre la cual se apoyan con suficiente soldadura para transmitir la tensión de la placa de empalme, aplicada en la superficie del suple como carga excéntrica.
- 2) La soldadura que une la placa de empalme con el suple, será la necesaria para transmitir la tensión de la placa de empalme y tendrá suficiente longitud para evitar una tensión excesiva en el suple a lo largo de la raíz del cordón de la soldadura.
- 3) Los suples es espesor menor a 6 mm, tendrán sus bordes a plomo con los bordes de la plancha de empalme y, la dimensión de la soldadura será la suma de la dimensión necesaria para resistir la tensión de la plancha de empalme más el espesor del suple.

#### **14.5 Perfiles en compresión con juntas de aplastamiento**

Las uniones de perfiles comprimidos que se apoyan directamente deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) En columnas que descansen directamente sobre placas de apoyo o en empalmes de columnas cuyos extremos están preparados para transmitir directamente sus cargas, estas uniones contarán con el suficiente número de conectores para mantener todas las piezas fijas y en su lugar.
- b) En el caso de otros elementos comprimidos cuyos extremos estén terminados para apoyarse directamente, el material de empalme y sus conectores serán colocados para mantener todas las piezas alineadas y se dimensionarán para resistir el 50% de la carga de trabajo.
- c) Todas las uniones mencionadas anteriormente, deberán dimensionarse para resistir cualquier tracción que resulte de la acción de fuerzas laterales actuando en conjunto con el 75% de las tensiones de trabajo debidas a las cargas permanentes (se excluyen las sobrecargas).

#### **14.6 Uniones de vigas simplemente apoyadas**

En general, a menos que el diseñador especifique lo contrario, las uniones de vigas de alma llena o de vigas enrejadas se diseñaran como flexibles para lo cual, deberán cumplir con lo indicado a continuación:

- a) Las uniones deberán permitir el libre giro de sus extremos, y corrientemente podrán ser dimensionadas para resistir solamente el esfuerzo de corte.
- b) La unión del ala superior deberá evitar el desplazamiento lateral de ésta y permitir el desplazamiento longitudinal del ala producido por la deformación vertical de la viga.

- c) En vigas solicitadas con cargas uniformemente distribuidas, el desplazamiento longitudinal,  $\Delta$ , se determinará como sigue:

$$\Delta = f_m L / 30\,000 \quad (\text{Fórmula 30})$$

NOTA - Si la deformación de la viga, producida por la sobrecarga, es inferior a  $L/360$ , el desplazamiento  $\Delta$  será igual a  $0,007 H$ .

En estas fórmulas:

$\Delta$  = desplazamiento horizontal del extremo del ala superior, cm;

$H$  = altura de la viga, cm;

$f_m$  = tensión de flexión en la zona central de la viga, kgf/cm<sup>2</sup>;

$L$  = luz de la viga, m.

#### 14.7 Uniones de vigas empotradas

Los conectores y las uniones de vigas empotradas deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Los conectores, para las uniones extremas de vigas de alma llena o enrejadas que no cumplen con los requisitos de párrafo 14.6, deberán dimensionarse para resistir el efecto combinado de la reacción de corte y las tensiones de tracción o compresión resultantes del momento inducido por la rigidez de la unión cuando el miembro está totalmente cargado.
- b) En uniones de vigas empotradas a columnas I o H, cuyas almas se encuentran en un mismo plano, deberá verificarse que el alma de la columna frente al ala comprimida o traccionada de la viga, no se encuentre sometida a una concentración excesiva de tensiones. Para esta verificación se procederá en la forma indicada a continuación:

- 1) Se colocarán atiesadores en el alma de la columna en los siguientes casos:

- i) Frente al ala traccionada cuando

$$e_c < 0,4 \sqrt{C_1 B_v e_v} \quad (\text{Fórmula 31})$$

- ii) Frente al ala comprimida cuando

$$t_c < C_1 B_v e_v / (e_v + 5 k_c) \text{ o} \quad (\text{Fórmula 32})$$

$$\leq h_c \sqrt{F_f} / 1\ 500 \quad (\text{Fórmula 33})$$

( $F_f$  = tensión de fluencia del alma)

- 2) Los atiesadores del alma de la columna deberán soldarse al ala de ésta, frente al ala traccionada del viga y podrán ajustarse cuando se coloquen frente al ala comprimida de la viga, debiendo en todo caso, verificarse las tensiones en las áreas de contacto. Ambos atiesadores se soldaran al alma de la columna.

Si la columna recibe viga sólo por un lado, el atiesador del alma no requiere un largo superior a la mitad de la altura de la columna, pero en todo caso la soldadura que lo una al alma será la suficiente para desarrollar una fuerza igual a  $F_f A_{at}$  en que  $F_f$  es la tensión de fluencia del atiesador.

- 3) El área de los atiesadores,  $A_{at}$ , será tal que:

$$A_{at} \geq [C_1 B_v e_v - t_c (e_v + 5 k_c)] C_2 \quad (\text{Fórmula 34})$$

en los puntos anteriores:

$B_v, e_v$  = ancho y espesor del ala traccionada y/o comprimida de la viga, cm;

$k_c$  = distancia entre el exterior del ala al pie del filete de soldadura o laminación de la columna, cm;

$h_c, t_c$  = altura libre y espesor del alma de la columna, cm;

$C_1$  =  $F_f$  (ala viga)/ $F_f$  (columna);

$C_2$  =  $F_f$  (columna)/ $F_f$  (atiesador).

- 4) En algunos casos es ventajoso reemplazar los atiesadores horizontales por una pareja de planchas paralelas al alma y soldadas a las alas de la columna.



5) El alma de la columna deberá verificarse para las tensiones de corte que se originan en la zona comprendida entre los atiesadores del alma (frente a las alas de la viga), para lo cual el espesor del alma de la columna debe ser mayor o igual a:

$$t_c \geq 250\,000 M/h_c h_v F_f \quad (\text{Fórmula 35})$$

en que:

$M$  = suma de los momentos transmitidos por las vigas a la columna,  $\text{tf} \cdot \text{m}$ ;

$h_c, h_v$  = altura libre entre las alas de la columna y viga respectivamente,  $\text{cm}$ ;

$F_f$  = tensión de fluencia de la columna,  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ .

6) Al diseñar la unión plásticamente, el espesor del alma de la columna debe ser mayor o igual a:

$$t_c \geq 172\,000 M/h_c h_v F_f \quad (\text{Fórmula 36})$$

7) Si el espesor es inferior a los indicados en 5 y 6 según corresponda, el alma puede reforzarse colocando una pareja de atiesadores en diagonal, o una plancha en contacto con el alma de la columna y soldada en sus contornos a los atiesadores horizontales y alas de ésta.

## 15 Conectores

### 15.1 Generalidades

#### 15.1.1 Tipo de conectores

En el diseño de estructuras metálicas se distinguen los siguientes tipos de conectores: remaches, pernos (corrientes y de alta resistencia) y soldaduras (por arco y de resistencia).

#### 15.1.2 Excentricidad en grupos de conectores

En general, en uniones de perfiles solicitados axialmente, el centro de gravedad del grupo de conectores debe coincidir, en lo posible, con el centro de gravedad de los perfiles. Si esto no ocurre, debe considerarse el efecto de la excentricidad en el dimensionamiento de las uniones. Se exceptúan de esta exigencia el caso de perfiles ángulos simples o dobles y otros perfiles similares en los que esta excentricidad puede no considerarse, salvo si éstos están unidos por soldaduras de filete<sup>17)</sup>.

<sup>17)</sup> Si estos perfiles están sometidos a fatiga, según capítulo 18, las soldadura de filete se deben colocar de modo de equilibrar las fuerzas con respecto al eje neutro de la unión.

### 15.1.3 Distribución de tensiones en combinación de conectores

La distribución de tensiones en un grupo de conectores heterogéneos dependerá del tipo y orden de colocación de éstos según lo indicado en tabla 47.

Tabla 47 - Distribución de tensiones en combinación de conectores

Tipo de obra	Combinación de conectores	Distribución de tensiones	Orden de colocación
A. Nueva	1) $(R + P + PA_a) + S$	La soldadura deberá resistir la tensión total de la unión	
	2) $PA_f + S$	Comparten	Si se coloca primero $PA_f$
		Sólo la soldadura	Si se coloca primero S
	3) $R + PA_f$	Comparten la tensión debida a PP + SC	
B. Reparación o modificación	1) $(R + PA) \text{ exist.} + S$	R + PA comparten el PP existente y S las cargas adicionales	Si S se coloca en unión existente
	2) $R + PA_f$	Comparten la tensión debida a PP + SC	

En esta tabla:

R, P y S = remache, perno corriente y soldadura, respectivamente;

$PA_a$  y  $PA_f$  = pernos de alta resistencia en uniones tipo aplastamiento y tipo fricción;

PP = solicitaciones debidas a las cargas permanentes;

SC = solicitaciones debidas a las sobrecargas de diseño.

### 15.1.4 Campo de aplicación

El campo de aplicación de los conectores indicados en esta norma es muy vasto. Sus limitaciones, si las hay, en cuanto a la forma de realizar la unión, se indican más adelante.

### 15.1.5 Uniones de terreno

En los casos siguientes, para las uniones de terreno, se emplearán remaches, pernos de alta resistencia o soldaduras:

#### a) Edificios en general

- 1) En empalmes de columnas si

$$H > 60 \text{ m}$$

$$30 < H < 60 \text{ m cuando } B < 0,40 H; \text{ y}$$

$$H < 30 \text{ m cuando } B < 0,25 H.$$

- 2) En uniones de vigas (principales y secundarias) a columnas si

$$H > 40 \text{ m}$$

#### b) Edificios que soportan grúas de mas de 5 toneladas de capacidad

- 1) En empalmes de columnas.
- 2) En arriostramientos de columnas.
- 3) En uniones de vigas enrejadas a columnas.
- 4) En empalmes de vigas enrejadas de techo.
- 5) En carteles y apoyos de grúas.

#### c) Uniones especiales

- 1) En apoyo de maquinaria rodante.
- 2) En elementos de edificios sometidos a sobrecargas que produzcan inversión de tensiones o impacto.

#### d) En cualquier otro caso se podrá emplear pernos corrientes

En a se tiene:

$H$  = altura del edificio medida entre el nivel de la solera o nivel medio del terreno natural circundante y la cubierta del techo en el caso de techos planos o de pendiente menor a 25%, y la mitad de la altura de la cercha cuando ésta tiene una pendiente mayor.

$B$  = dimensión horizontal menor del edificio.

## 15.2 Remaches, pernos y elementos con hilo

### 15.2.1 Normas

Los remaches, pernos y elementos con hilo deberán cumplir con las normas que se indican a continuación.

Tabla 48 - Normas de remaches y pernos

Conectores	Designación	Norma	Observaciones
1) Remaches	A 34-19 A 502-2	NCh207 ASTM A 502 Gr. 2	
2) Pernos corrientes	A 37-20 A 42-23	NCh206, NCh208, NCh300, NCh301 y NCh302	Acero y Terminología
3) Elementos con hilo	Ver capítulo 5	Ver capítulo 5	
4) Pernos de alta resistencia	A 325 A 490	ASTM A 325 ASTM A 490	

### 15.2.2 Tensiones admisibles

Las tensiones de cizalle,  $f_y$ , y tracción,  $f_t$ , deberán ser menor o igual a las tensiones admisibles indicadas a continuación según corresponda:

#### a) Corte y tracción

Las tensiones admisibles de corte,  $F_v$  y tracción,  $F_t$ , para una sollicitación pura, serán las dadas por tabla 49.

#### b) Interacción de corte y tracción

Los remaches y pernos, afectos a una combinación de sollicitaciones de corte y tracción, serán dimensionados de modo que cumplan con las tensiones admisibles  $F_v$  o  $F_t$  dadas en tabla 50 según sea el tipo de unión que se emplee.

### 15.2.3 Áreas de cálculo

Las áreas a considerar para el cálculo de las tensiones de trabajo  $f_v$  y  $f_t$  dependen del tipo de sollicitación según se indica a continuación.

#### a) Área de corte o cizalle

$$A_v = \pi d^2/4$$

#### b) Área de tracción

$$A_t = \pi d^2/4, \text{ en remaches y pernos de alta resistencia;}$$

$$= \pi(d_2 + d_3)^2/16, \text{ en pernos corrientes y elementos con hilo.}$$

**Tabla 49 - Tensiones admisibles  $F_t$  y  $F_v$ , kgf/cm<sup>2</sup>**  
**Remaches, pernos y elementos con hilo**

Descripción del conector	Designación	Corte, $F_v$		Tracción $F_t$
		Unión tipo fricción <sup>1)</sup>	Unión tipo aplastamiento	
<b>A.</b> Remaches colocados en caliente	A 34-19 A 502-2		1 000 1 400	1 400 1 900
<b>B.</b> Pernos corrientes	A 37-20 A 42-23		600 700	1 200 1 400
<b>C.</b> Elementos con hilo	Ver capítulo 5		0,30 $F_f$	0,60 $F_f$
<b>D.</b> Pernos de alta resistencia				
1) Hilo en el plano de corte	A 325 A 490	1 050 1 400	1 050 1 600	2 800 3 800 <sup>2)</sup>
2) Hilo fuera del plano de corte	A 325 A 490	1 050 1 400	1 550 2 250	2 800 3 800 <sup>2)</sup>

1) No se recomienda este tipo de unión en construcciones que usen perfiles plegados.

2) Para carga estática solamente.

#### NOTAS

1) Por el momento, en construcciones plegadas no se emplean los pernos A 490.

2) La carga de diseño, en pernos de alta resistencia solicitados en tracción, será la suma de la tensión de apriete y la carga externa aplicada.

**Tabla 50 - Interacción de corte y tracción  
Remaches y pernos**

Descripción del conector	Designación	$F_t$ o $F_v$
A. Remaches colocados en caliente	A 34-19 A 502-2	1) $F_t = 1\,960 - 1,6 f_v \leq 1\,400$ 2) $F_t = 2\,660 - 1,6 f_v \leq 1\,900$
B. Pernos corrientes	A 37-20 A 42-23	1) $F_t = 1\,680 - 1,6 f_v \leq 1\,200$ 2) $F_t = 1\,960 - 1,6 f_v \leq 1\,400$
C. Pernos de alta resistencia		
a) Unión tipo aplastamiento	A 325 A 490	1) $F_t = 3\,520 - 1,6 f_v \leq 2\,800$ 2) $F_t = 4\,920 - 1,6 f_v \leq 3\,800$
b) Unión tipo fricción	A 325 A 490	3) $F_v \leq 1\,050(1 - f_t A_p / T_p)^{1)}$ 4) $F_v \leq 1\,400(1 - f_t A_p / T_p)^{1)}$

NOTA - En todo caso  $f_v < F_v$  (según tabla 49)

$f_t$  = tensión de tracción debida a la carga de tracción externa aplicada en una unión, kgf/cm<sup>2</sup>;

1)  $A_p$  = área nominal del perno, cm<sup>2</sup>

$T_p$  = fuerza de pretensado especificada del perno, kgf.

En 15.2.3 a) y b):

$A_v, A_t$  = área de cálculo, cm<sup>2</sup> <sup>18)</sup>;

$d$  = diámetro nominal del conector, cm<sup>19)</sup>;

$d_2$  = diámetro nominal del paso del hilo del conector, cm;

$d_3$  = diámetro de núcleo =  $d_1 - H/6$ , cm;

$H$  = altura del triángulo generador del hilo, cm;

$P$  = paso, cm.

Ver figura 10.

<sup>18)</sup> Para valores de  $A_t$  ver Manual ICHA, Parte IV Uniones.

<sup>19)</sup> Para elementos con hilo el diámetro a considerar será el de la zona roscada.



## b) Tracción en el área neta del material a unir

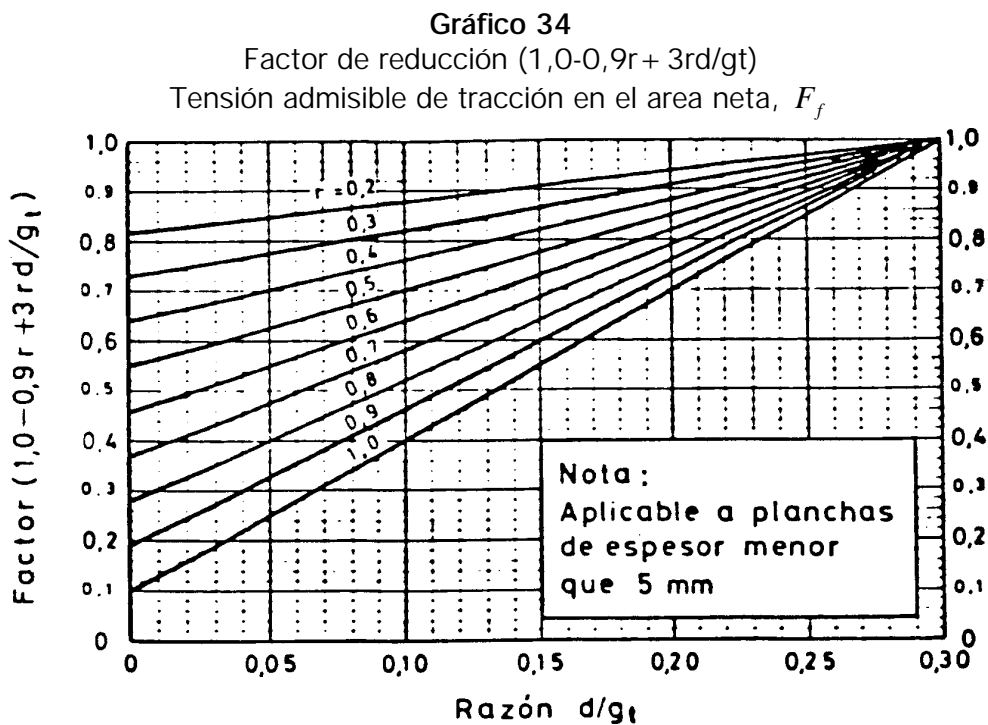
1) Tensión admisible,  $F_t$  (Ver párrafo 11.1)

En planchas de espesor inferior a 5 mm la tensión deberá afectarse por el factor  $(1,0 - 0,9r + 3rd/g_t)$ . No se considerará esta reducción si  $r < 0,2$ .

Para valores de este factor ver Gráfico 34 donde:

$r$  = razón entre la carga transmitida por él o los conectores y la carga de tracción en el miembro en la sección considerada;

$g_t$  = distancia entre conectores en el sentido transversal a la dirección del esfuerzo. En el caso de existir un solo perno considerar  $g_t$  = ancho de la plancha



## 2) Área de cálculo (Área neta)

Para el área de calculo se considerará el área neta de la sección según fórmula:

$$A_n = \left(3 - \sum D + \sum g_\ell^2 / 4g_t\right) e \leq 0,85A^{21)} \quad (\text{Fórmula 37})$$

La sección neta crítica se obtendrá de la línea de falla que dé el menor ancho neto.

<sup>21)</sup> Este límite no se aplica a perfiles plegados con espesor inferior a 5 mm.



En Formula 37 se tiene:

$A_D$  = área o sección neta,  $\text{cm}^2$ ;

$\Sigma D$  = suma de los diámetros de los agujeros ubicados en la línea de falla en estudio. Esta línea puede ser perpendicular, en diagonal o en zig-zag con respecto a la dirección del esfuerzo,  $\text{cm}$ .

El diámetro del agujero<sup>22)</sup> depende de la dimensión del conector en la forma siguiente:

$D$	$=$	$d + 0,06$	si	$d \leq 0,6 \text{ cm}$
	$=$	$d + 0,1$	si	$0,6 \leq d < 1,2 \text{ cm}$
	$=$	$d + 0,2$	si	$1,2 \leq d < 2,0 \text{ cm}$
	$=$	$d + 0,3$	si	$2,0 \leq d < 3,9 \text{ cm}$

$B$  = ancho total de la sección transversal del elemento,  $\text{cm}$

$g_l, g_t$  = distancia longitudinal, transversal con respecto a la dirección del esfuerzo entre dos agujeros consecutivos de la línea de falla en estudio.

En figura 11 se entregan ejemplos para determinar el ancho neto de planchas y perfiles L.

### 3) Empalme excesivamente gruesos

En el caso que la longitud de apriete de remaches o pernos corrientes sea superior a 5 diámetros, deberá aumentarse el número de conectores en un 1% por cada 1,5 mm adicional de agarre.

### 4) Distancias máximas y mínimas

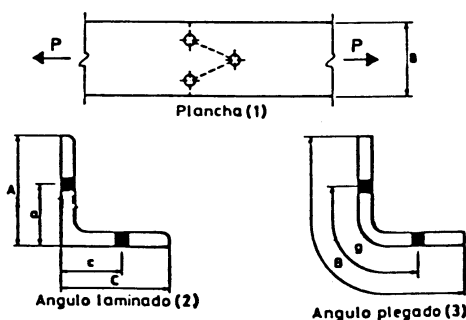
En tabla 51 se entregan las distancias máximas y mínimas de los conectores entre sí y de éstos a los bordes de las planchas o perfiles.

#### NOTAS

- 1) La línea segmentada representa la sección crítica.
- 2)  $B = A + C - e$        $g = a + c - e$
- 3)  $B$  = desarrollo total según la línea central.  
 $g$  = distancia entre perforaciones según la línea central.

Figura 11

Concepto Ancho neto



<sup>22)</sup> Recomendación ISO R273 *Trous de Passage pour Boulons a Filatage Metriques*. (Serie Media).

Tabla 51 - Distancias mínimas y máximas<sup>1)</sup>  
(Agujeros punzonados, escariados o taladrados)

A los bordes		C. Entre conectores
A. Mínima <sup>2)</sup>	B. Máxima	
1) $g_{\ell} = g_t = 1,75 d^{*)}$	1) $g_{\ell} = 12 e$	1) $g_{\ell} = g_t = 2,66 d$
2) $g_{\ell} = g_t = 1,25 d^{**})$ en todo caso	en todo caso	pero de preferencia
3) $g \geq P/0,6 F_f \cdot e$	2) $g_{\ell} \leq 15 \text{ cm}$	2) $g_{\ell} = g_t = 3,0 d$

\*) Para bordes cortados a tijera.

\*\*) Para bordes laminados de planchas, perfiles o barras y para bordes cortados a llama.

Esta distancia puede ser reducida en 3 mm cuando el agujero está ubicado en secciones donde la tensión es inferior al 25% de la tensión admisible del elemento.

1) Ver figura 12.

2) Para la distancia  $g_{\ell}$ , en uniones de perfiles traccionados con 1 o 2 conectores en una línea paralela a la dirección del esfuerzo, debe verificarse además que ésta no sea inferior a los siguiente:

$$g_{\ell} \geq C(A_p/e) \text{ ó } 2C (A_p/e)^{*)},$$

para remaches o pernos de alta resistencia en uniones tipo aplastamiento para los casos en que existe cizalle simple o doble respectivamente.

En esta fórmula:

$A_p$  = área nominal del remache o perno,  $\text{cm}^2$ ;

$e$  = espesor de la parte unida, cm;

$C$  =  $(F_r)$  del perno/ $(F_u)$  de la parte unida. Constante aplicable sólo a los pernos de alta resistencia.

Si existen más de dos conectores en la línea del esfuerzo, se aplicará para  $g_{\ell}$  lo indicado en tabla 51.

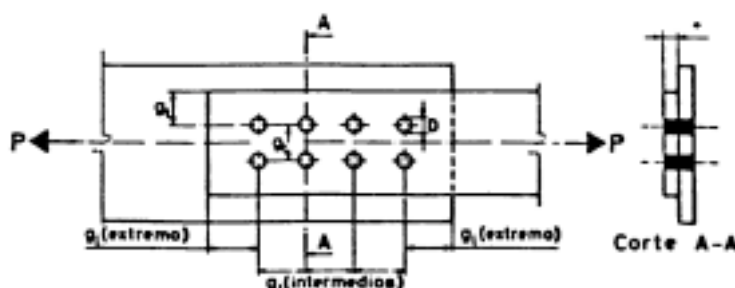


Figura 12 Distancias Maximas y minimas

\*) Si la tensión del conector,  $f_r$ , es inferior a  $F_r$ , según tabla 49, esta distancia puede ser reducida en la razón  $f_r/F_r$ , pero en todo caso ésta no será inferior a la indicada en tabla 51. Por otra parte no requiere ser superior a  $1,5 g_{\ell}$ .

### 15.3 Soldaduras

#### 15.3.1 Normas

Los electrodos, procesos de soldadura, ejecución de soldaduras, simbología, etc., deberán cumplir con lo dispuesto para cada caso según se señala a continuación:

- a) Los electrodos deberán cumplir con las normas que se indican en tabla 52 en cuanto a su composición, nomenclatura y proceso de soldadura.

Tabla 52 - Electrodos

Proceso de soldadura	Designación del electrodo		Normas AWS
	INN <sup>*)</sup>	AWS	
A. Arco Manual (AM)	E40XX E50XX	E60XX E70XX	AWS A 5.1 ó A.5.5
B. Arco Sumergido (AS)	F4X-EXXX F5X-EXXX	F6X-EXXX F7X-EXXX	AWS A 5.17
C. Arco Gas Metal (AGM)	E50S-X E50U-1	E70S-X E70U-1	AWS A 5.18
D. Arco con Núcleo Fundente (ANF)	E40T-X E50T-X	E60T-X E70T-X	AWS A 5.20

\*) Designación propuesta por ICHA (ver anexo D).

- b) Las soldaduras, en cuanto a la simbología utilizada en los planos de diseño y fabricación, deberán ceñirse a lo indicado por la American Welding Society, AWS D 1.0-69 o, a la adaptación efectuada por ICHA.
- c) La ejecución de las soldaduras deberá ceñirse a lo indicado en la norma *Ejecución de las Construcciones de Acero* (Norma Chilena NCh428).
- d) Los soldadores deberán cumplir con las normas *Calificación de soldadores* (Norma Chilena NCh308).
- e) Las soldaduras realizadas por los procesos Electroslag y Electrogas, deberán cumplir con los requerimientos del Artículo 422 de AWS D 1.0-69.

#### 15.3.2 Tensiones y cargas admisibles

Las tensiones y cargas admisibles para soldaduras al arco y, de punto por resistencia eléctrica se dan en tablas 53 y 54.

Tabla 53 - Tensiones admisibles y electrodos mínimos (Soldaduras al arco)

Tipo de soldadura	Solicitud	Calidad del metal base <sup>*)</sup> (ES y TS)	Proceso de soldadura y electrodo mínimo requerido	Tensión admisible kgf/cm <sup>2</sup>
A. Ranura de penetración completa	1) Tracción y compresión paralela y perpendicular al eje de la soldadura 2) Cizalle en la garganta efectiva	A 34-21 A 37-24 A 42-27 A 34-21 T A 42-25 T	AM : E40XX o E50XX AS : F4X-EXXX o F5X-EXXX AGM : E50S-X o E50U-1 ANF : E40T-X o E50T-X (Salvo EXXT-2 y EXXT-3)	$F_t$ , $F_c$ y $F_v$ del metal base (aplicada al área efectiva)
B. Ranura de penetración parcial <sup>**)</sup>	1) Compresión paralela y perpendicular al eje de la soldadura. 2) Tracción paralela al eje de la soldadura. 3) Cizalle en la garganta efectiva.	A 52-34 COR-CAP R COR-CAP S	AM : E50XX AS : F5X-EXXX AGM : E50S-X o E50U-1 ANF : E40T-X o E50T-X (Salvo E50T-2 y E50T-3)	
C. Filete (ver nota)	Cizalle en la garganta efectiva independiente de la dirección de aplicación de la carga	A 34-21 A 37-24 A 34-21 T A 43-25 T A 42-27	AM : E40XX AS : F4X-EXXX ANF : E40T-X	Si $e \leq 4$ mm $F_v = 950$ Si $e > 4$ mm $F_v = 1\ 270$
D. Tapón o canal	Cizalle en el área efectiva	A 52-34 COR-CAP R COR-CAP S	AM : E50XX AS : F5X-EXXX AGM : E50S-X o E50U-1 ANF : E50T-X	Si $e \leq 4$ mm $F_v = 1\ 110$ Si $e > 4$ mm $F_v = 1\ 480$

\*) En aceros COR-CAP debe emplearse electrodos de bajo contenido de hidrógeno.

\*\*) Para las solicitudes de tracción perpendicular al eje de la soldadura se aplican las tensiones admisibles del punto C.

NOTA - Independientemente de la calidad del metal base y de la especificación del electrodo, la tensión admisible en la soldadura será la menor de las indicadas para el metal base o el electrodo.

Tabla 54 - Cargas admisibles en soldaduras de resistencia, kgf

Espesor de la plancha exterior más delgada	e, mm										
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Resistencia de corte admisible por punto	42	79	111	155	320	478	660	839	1370	1940	2520

NOTA - Las soldaduras de resistencia deben realizarse de acuerdo a lo indicado por las *Prácticas recomendables para soldaduras de resistencia*. AWS Sección 2 tablas 26.1 y 26.2.

### 15.3.3 Factores a considerar en el dimensionamiento de uniones soldadas

#### a) Características de las uniones

Las características de los tipos de uniones soldadas en cuanto a su fabricación, eficiencia, resistencia a fatiga o impacto, etc., se indican en Manual AWS.

#### b) Propiedades resistentes

Las propiedades resistentes, de la sección de una soldadura o de un grupo de soldaduras, se determinarán considerando su longitud y garganta efectiva. En el caso de utilizar diferentes tipos de soldaduras (ranura, filete, tapón o canal) en una misma unión, la capacidad resistente de ésta se determinará considerando separadamente la capacidad de cada soldadura respecto al eje de la unión.

#### c) Dimensionamiento

Las soldaduras de filete o de ranura de penetración parcial, que unen elementos de perfiles compuestos (ej. en la unión del ala con el alma de un perfil I), pueden dimensionarse sin considerar las tensiones de tracción o compresión en estos elementos paralelas al eje de la soldadura.

Los requerimientos para el dimensionamiento de las soldaduras de filete, de tapón o canal, y de ranura, se dan en subpárrafo 15.3.4, 15.3.5 y 15.3.6, respectivamente.

#### d) Fatiga

Las uniones soldadas sometidas a fatiga se dimensionarán en conformidad a lo indicado en capítulo 18.

### 15.3.4 Soldadura de filete

#### a) Definición

Son aquellas de forma triangular realizadas en los bordes exteriores de una plancha o en los bordes de un agujero. Lo normal es que el triángulo sea de lados iguales, salvo en el caso de filetes frontales (perpendiculares a la dirección del esfuerzo), en los que se recomienda el empleo de alas desiguales con el fin de reducir las tensiones de flexión ya que, en esta forma, se hace descender la posición del centro de gravedad de la costura.

**b) Tipos de filetes**

Las soldaduras de filete pueden ser continuas o intermitentes, dependiendo su empleo, de la magnitud de la resistencia requerida para transmitir las tensiones de trabajo a través de las juntas o superficies de empalme.

Las soldaduras de filete intermitente podrán usarse, además, para unir elementos de perfiles compuestos.

**c) Terminación de los filetes**

Las soldaduras de filete (laterales o extremas) de una unión, deberán, cuando sea posible, prolongarse en las esquinas en una longitud igual a dos veces la dimensión nominal del filete. Esta condición se exigirá a las soldaduras laterales o superiores que unan consolas, asientos de vigas o uniones similares. Las vueltas se indicarán en los planos de diseño y fabricación.

**d) Uniones de traslapo**

En uniones de traslapo, constituidas por planchas o barras solicitadas axialmente, se deberá colocar soldaduras de filete en los extremos de ambas piezas, salvo el caso en que la deformación esté controlada para evitar aberturas en las uniones sometidas a cargas máximas. La longitud mínima del traslapo será igual a 5 veces el espesor de la plancha más gruesa a unir con un mínimo de 25 mm.

**d) Requisitos de dimensión**

Los antecedentes más importantes para el dimensionamiento de una soldadura se indican en tablas 55 y 56 dadas a continuación.

Tabla 55 - Dimensiones y garganta efectiva, mm<sup>1)</sup> (Soldaduras de filete)

Espesor de la plancha más gruesa a unir	Dimensión nominal		Garganta efectiva, $s_{ef}$	
	$s_{min.}^{*)}$	$s_{máx.}^{**)}$	En AM	En AS
$3 \leq e < 4$	3	Si $e < 6$	Si $s_1 \neq s_2^{***)}$	Si $s \leq 10$
$4 \leq e \leq 6$	4		$s_1 \quad s_2$	
$6 < e \leq 12$	5	$s_{máx.} = e$	$s_{ef} = \frac{s_1 \quad s_2}{s_1 + s_2}$	$s_{ef} = s$
$12 < e \leq 20$	6			
$20 < e \leq 38$	8	Si $e \geq 6$	Si $s_1 = s_2$	Si $s > 10$
$38 < e \leq 56$	10			
$56 < e \leq 132$	12	$s_{máx.} = e - 2$	$s_{ef} = 0,707 s$	$s_{ef} = 0,707 s + 3,0$
$132 < e$	16			

\*)  $s_{min.}$  no requiere ser mayor que el espesor menor de los elementos unidos salvo que por el cálculo se requiera una dimensión mayor.

\*\*)  $s_{máx.}$  a considerar en el diseño de una unión, deberá ser tal que la tensión en el material adyacente no exceda los valores admisibles indicados en párrafo 11.1.

\*\*\*)  $s_1, s_2$  designan los lados de un filete de alas desiguales.

1) Para garganta efectiva en soldaduras efectuadas con AM o AS ver figura 13.

### Soldaduras de filete Dimensiones de gargantas

Dimensión normal de garganta

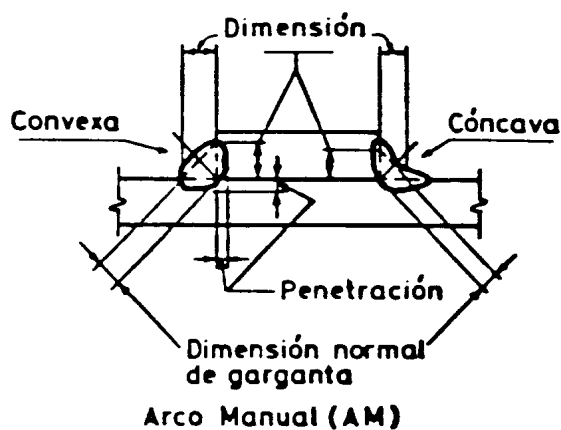
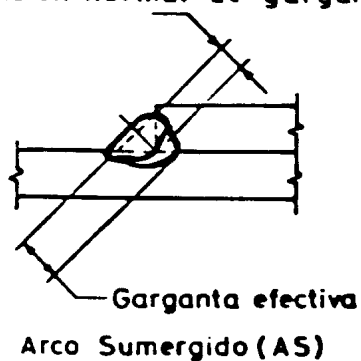


Figura 13

Tabla 56 - Longitud efectiva, mm (Soldaduras de filete)

Longitud mínima efectiva		Longitud efectiva	
$(l_{\min.})_{ef}$	Observaciones	$l_{ef}^{1)}$	Observaciones
$(l_{\min.})_{ef} = 4 s$	Si $l$ es inferior a 4 s se considerará la magnitud 1/4 como dimensión nominal. En el caso de soldaduras hechas con filete intermitente $l_{\min.}$ no debe ser inferior a 40 mm	$l_{ef} = 1-2 s$	Si hace esta disminución para considerar los cráteres extremos. (Se exceptúan de esta exigencia los filetes con retorno en las aristas terminales).

- 1) En uniones extremas de elementos planos traccionados, la separación entre filetes,  $B$ , podrá ser superior a 200 mm si, por medio de otros recursos de diseño, se evita la flexión transversal excesiva de la unión. Ver figura 14.

NOTA -  $l_{ef}$  para soldaduras de filete en agujeros o canales, será la línea central de la soldadura que pasa por el plano de la garganta.



### Union extrema de elementos planos traccionados

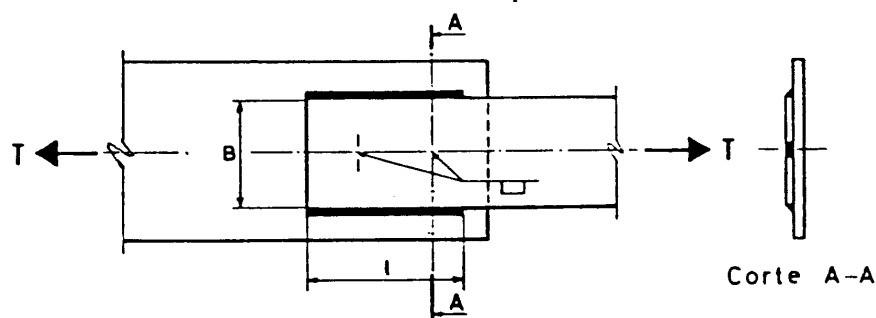


Figura 14

Lo indicado anteriormente es aplicable a soldaduras de filete hechas en agujeros o canales. Estas soldaduras se pueden emplear para unir elementos de perfiles compuestos, y para transmitir tensiones o evitar deformaciones en uniones de traslape. Estas soldaduras podrán superponerse siempre que el área efectiva en el plano de contacto no exceda el área nominal del agujero o canal. Además, estas soldaduras no deberán considerarse como soldaduras de tapón o canal.

#### 15.3.5 Soldaduras de tapón o canal

##### a) Definición y aplicación

Son aquellas soldaduras que se obtienen superponiendo filetes en agujeros o canales. Se utilizan principalmente para transmitir tensiones de corte o para evitar deformaciones en uniones de traslape y para unir elementos de perfiles compuestos.

##### b) Requisitos

Los requisitos que deben cumplir estas soldaduras se entregara en tabla 57.

Tabla 57 - Dimensiones límites, mm<sup>1)</sup>. (Soldaduras de tapón o canal)

Espesor		Características del agujero o canal					
Plancha	Soldadura	Dimensiones límites			Distancias		Radios
e	e <sub>s</sub>	d <sub>min.</sub>	d <sub>máx.</sub>	l <sub>máx.</sub>	g <sub>t</sub>	g <sub>l</sub>	r <sub>i</sub> , r <sub>e</sub>
e ≤ 16	e <sub>s</sub> = e	e + 8	2,25 e <sub>s</sub>	10 e <sub>s</sub>	≥ 4 d	1) Agujeros ≥ 4 d	r <sub>i</sub> = d/2 <sup>*)</sup>
e > 16	e <sub>s</sub> ≥ e/2 pero en todo caso e <sub>s</sub> ≥ 16					2) Canal ≥ 2 l	r <sub>e</sub> ≥ e

\*) Como alternativa, las canales interiores pueden tener las esquinas redondeadas con un radio mayor o igual que e.

1) Ver figura 15.

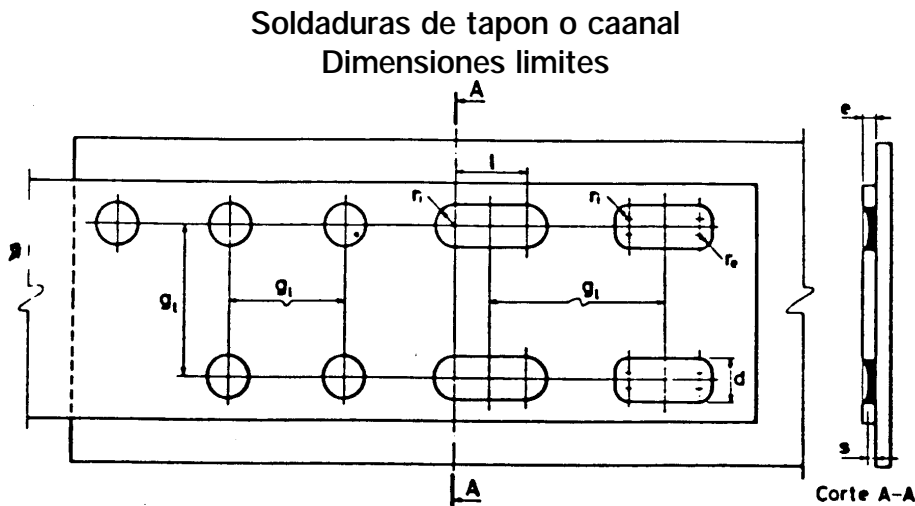


Figura 15

c) Tensiones

La verificación de tensiones se hará considerando que todas las posibles solicitaciones originan tensiones de cizalle en el área de estas soldaduras. Para efectos de la determinación de la tensión de trabajo emplear el área del agujero o canal, en el plano de contacto.

### 15.3.6 Soldaduras de ranura

#### a) Definición

Son aquellas que se realizan en uniones de un extremo de una plancha o perfil con el extremo o cara de otra plancha o perfil.

#### b) Tipos de soldaduras

La forma que se le da a la preparación del extremo individualiza los diferentes tipos de soldadura. Atendiendo a esto se distinguen las siguientes soldaduras de ranura: rectangular, en V simple, en V doble, en bisel simple, en bisel doble, en U simple, en U doble, en J simple y en J doble.

#### c) Penetración

- 1) De acuerdo a la penetración de la soldadura en el espesor del material unido, se pueden distinguir dos tipos: de penetración completa y de penetración parcial. (Ver figuras 17 y 18).
- 2) Las soldaduras de penetración parcial no deben ser usadas cuando la estructura esté afecta a solicitaciones que produzcan fatiga o impacto, o que trabajen a bajas temperaturas.
- 3) Las tensiones admisibles serán las indicadas en tabla 53.
- 4) Las dimensiones efectivas serán las indicadas en tabla 58 dada a continuación.

Tabla 58 - Dimensiones efectivas, mm (Soldaduras de ranura)

Dimensión efectiva	Soldadura de penetración	
	Completa	Parcial <sup>1)</sup>
A. Espesor, $e_{ef}$	$e_{ef} = e$	$e_{ef} = \text{altura de la garganta}$
B. Longitud, $l_{ef}$	$l_{ef} = B$	

- 1) En soldaduras de ranura en bisel simple o doble realizadas con arco manual, el espesor efectivo se debe reducir en 3 mm. Además el espesor efectivo de cada bisel de la unión debe ser mayor o igual que  $2,1 \sqrt{e}$ , mm. (Ver figura 16).

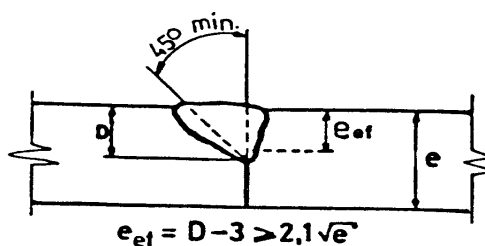
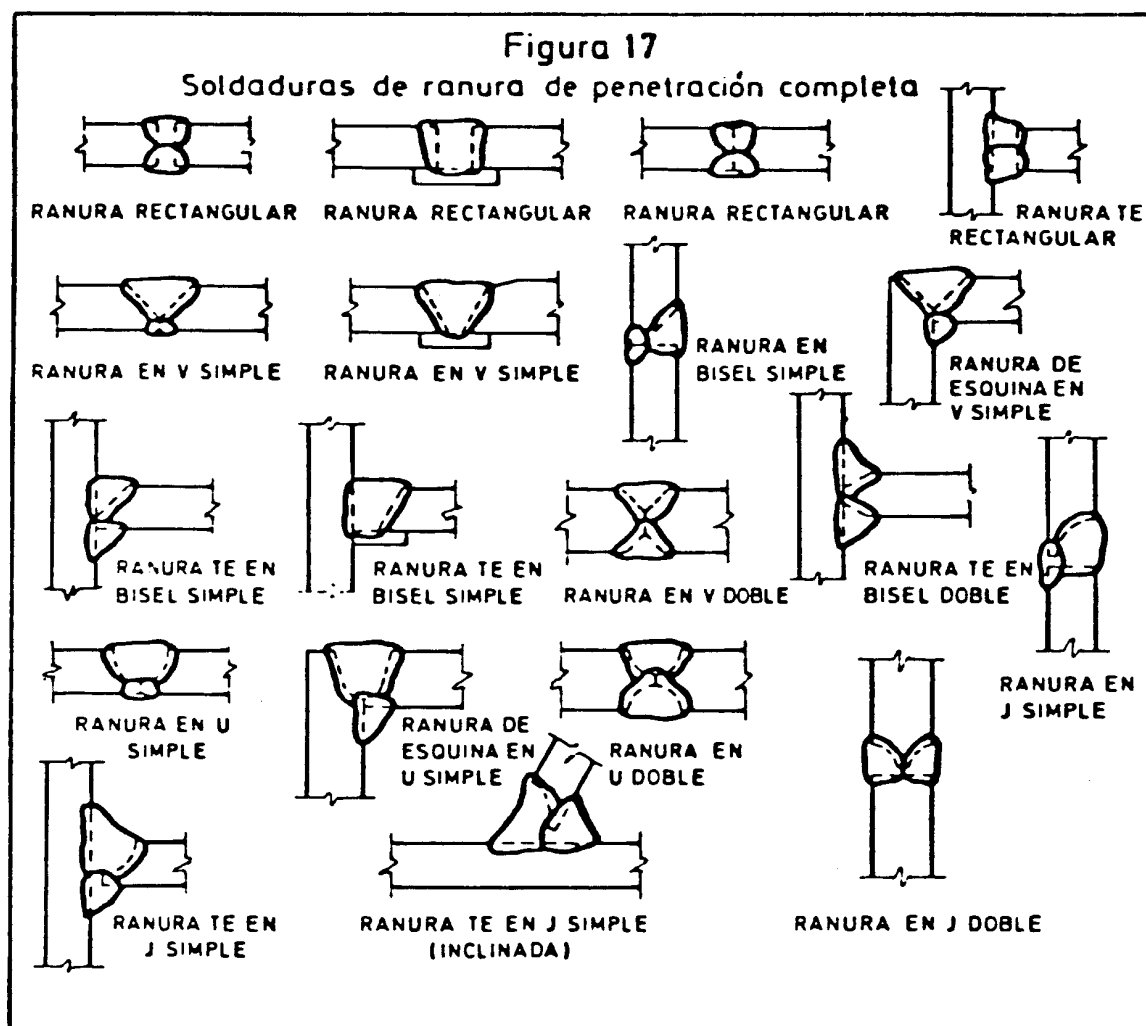
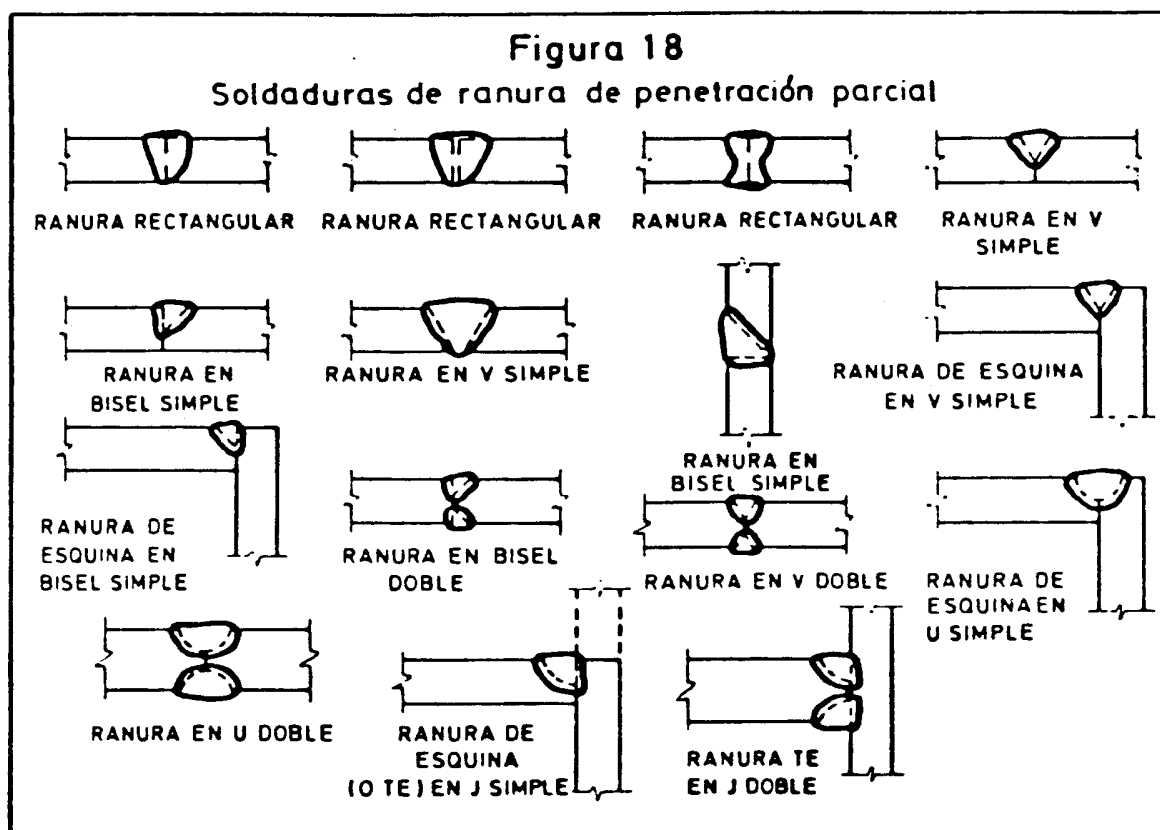


Figura 16 – Espesor específico, ef Soldadura de ranura en bisel

Figura 17

Soldaduras de ranura de penetración completa





## **16 Perfiles compuestos**

### **16.1 Generalidades**

Se entiende por perfil compuesto, aquel constituido por dos o más planchas o perfiles unidos entre sí de manera que trabajen en conjunto.

Si el perfil compuesto está expuesto a corrosión, la distancia entre los perfiles componentes deberán ser tal que permita su mantención o, en caso contrario, deberá sellarse para evitar la corrosión.

### **16.2 Separación máxima entre conectores y/o separadores**

En general, la separación entre conectores y/o separadores deberá ser la necesaria para transmitir las tensiones de trabajo. En todo caso, se tiene que cumplir los requerimientos dados a continuación según corresponda.

#### **16.2.1 Perfiles compuestos en tracción**

Las distancias y dimensiones máximas o mínimas a considerar, serán las indicadas en figura 19.

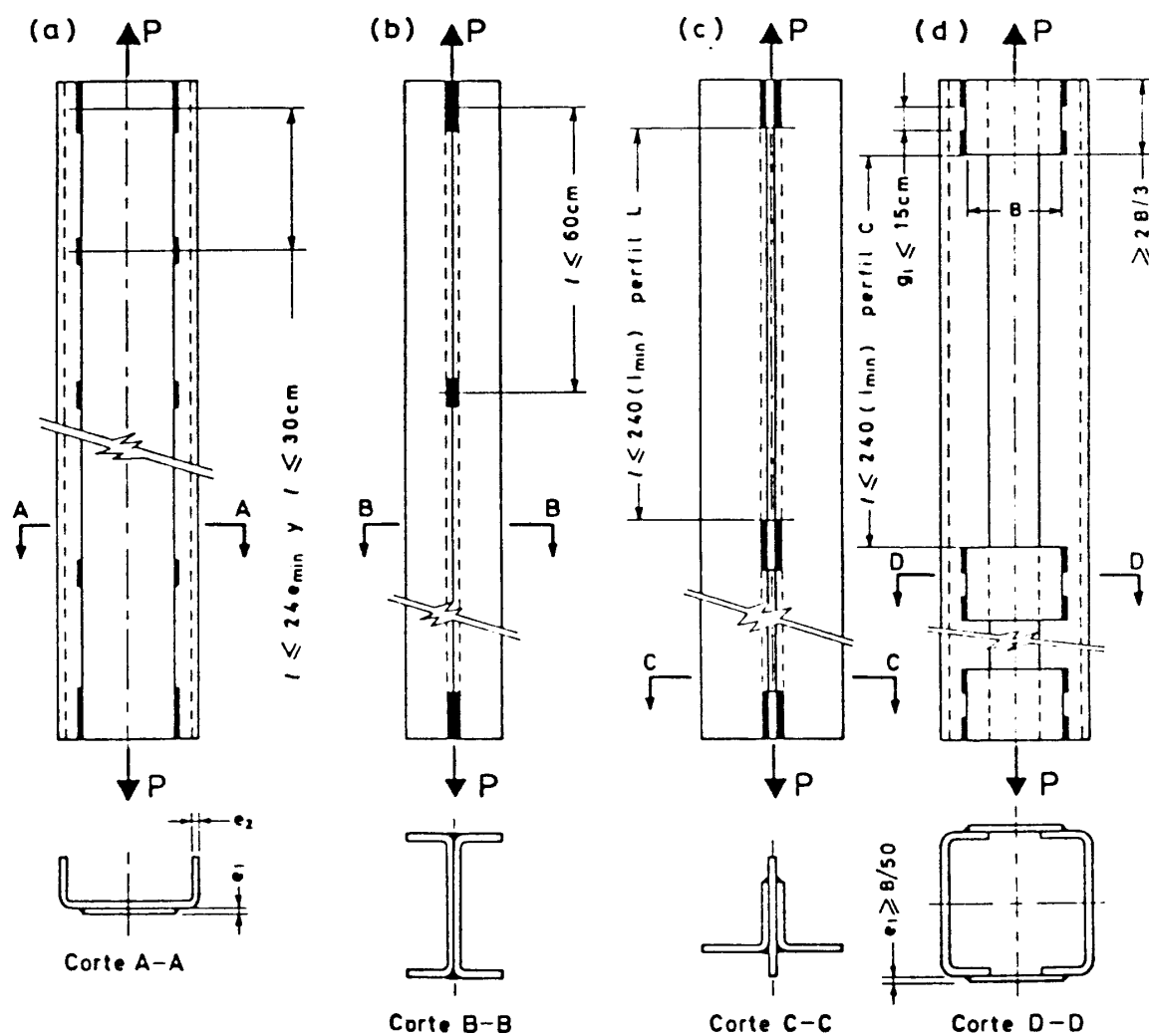
#### **16.2.2 Perfiles compuestos en compresión**

Los perfiles compuestos en compresión deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La esbeltez local de todos los elementos componentes de la sección (distancia transversal entre líneas de unión dividida por el espesor del elemento), deberá cumplir con lo especificado en párrafos 10.3 y 10.4 según corresponda.
- b) La esbeltez general y parcial (perfil comprendido entre conectores longitudinales), deberá cumplir con la esbeltez máxima especificada en párrafo 11.10.
- c) Las distancias y dimensiones máximas y mínimas a considerar serán las indicadas en figura 20.

Figura 19

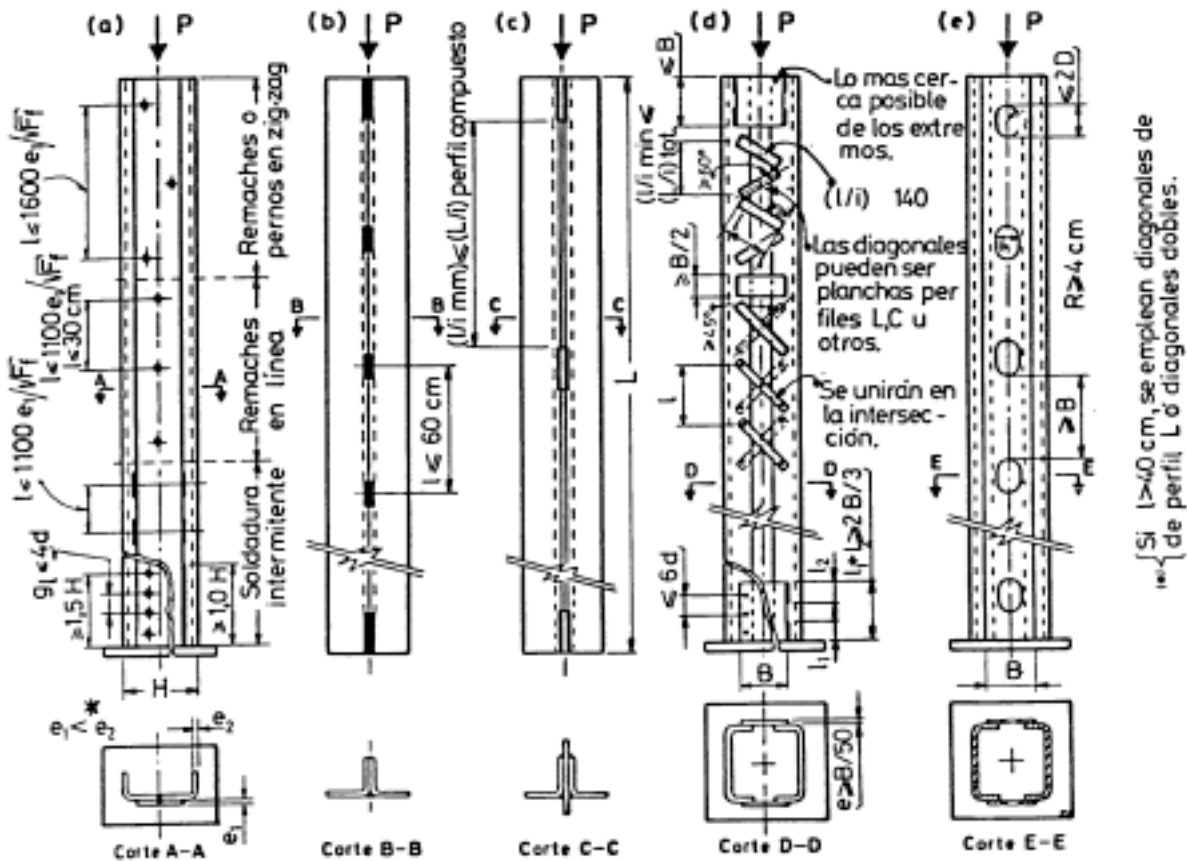
## Perfiles compuestos en tracción



NOTA - Estos perfiles pueden unirse también, mediante remaches o pernos, manteniéndose las mismas exigencias que se señalan en los esquemas a), b), c) y d) para perfiles unidos con soldadoras.

Figura 20

## Perfiles compuestos en compresión



Placa base o superficie cepillada en uniones remachadas. Se usarán remaches en todos los gramiles.

El perfil puede estar compuesto por dos o más perfiles individuales.

En las planchas extremas o intermedias usar tres remaches o pernos como mínimo.

Se considerará el área total para el cálculo de la tensión.

Si las diagonales se interrumpen deberán usarse planchas.

- \*) Si el espesor de la plancha es inferior a 6 mm, la separación entre conectores longitudinales,  $x$ , no debe exceder la requerida para transmitir el corte entre las partes unidas, como así tampoco  $1700 e_1 / \sqrt{F_f}$  o  $3b$ . (Para esta última condición 1 no requiere ser menor que  $1600 e_1 / \sqrt{F_f}$  si  $F_c > 0,54 F_f$  ó  $1900 e_1 / \sqrt{F_f}$  si  $F_c \leq 0,54 F_f$  según corresponda).

- \*\*) Las diagonales se dimensionarán para que resistan una sollicitación de corte, perpendicular a los ejes del perfil compuesto, igual a  $0,02 P$ , siendo  $P$  la fuerza axial de compresión del perfil.



### 16.2.3 Perfiles compuestos en flexión

En este tipo de perfiles se distinguen los emparrillados y los perfiles I formados por dos canales (C) espalda-espalda. (Ver figura 22).

Los perfiles compuestos en flexión deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Se unirán entre sí a través de conectores o separadores.
- b) En perfiles de altura superior a 30 cm se colocarán dos elementos de unión como mínimo.
- c) En el caso de cargas concentradas, éstas deberán ser distribuidas a las vigas vecinas a través de diafragmas que tengan la rigidez suficiente.
- d) Perfiles I formados por dos canales espalda-espalda:

- 1) La separación longitudinal máxima admisible de los conectores,  $\ell_{\text{máx.}}$ , será:

$$\ell_{\text{máx.}} = \frac{2g}{3mq} T_s \leq L/6; \text{ para carga uniformemente distribuida} \quad (\text{Fórmula 38})$$

$$\ell_{\text{máx.}} = \frac{2gN}{m(P \text{ o } R)} T_s^{*}) \leq L/6; \text{ para cargas concentradas} \quad (\text{Fórmula 39})$$

En estas fórmulas:

- m = distancia desde el centro de corte al plano medio del alma, cm;
- g = distancia vertical entre dos filas de uniones cerca o e las alas superior e inferior, cm;
- L = longitud de la viga, cm;
- q = carga uniformemente distribuida, kgf/cm;
- N = longitud de la placa de apoyo, cm;
- $T_s$  = resistencia a la tracción de la unión, en kgf.

- 2) La separación máxima,  $\ell_{\text{máx.}}$ , entre los conectores, depende de la intensidad de la carga aplicada directamente sobre la unión. En consecuencia, si se emplea una separación uniforme de las uniones, ésta se determinará en el punto de máxima intensidad de carga. En los casos que este procedimiento resulte antieconómico, debido a espaciamientos muy pequeños, se puede adoptar uno de los siguientes métodos:

- i) Variar el espaciamiento de las uniones en función de la gradiente de la intensidad de carga.
- ii) Solar platabandas en los puntos de aplicación de las cargas concentradas. En todo caso, la resistencia al corte de las uniones que conectan las platabandas con las alas será igual a  $T_s$ . Además  $g = H$ .

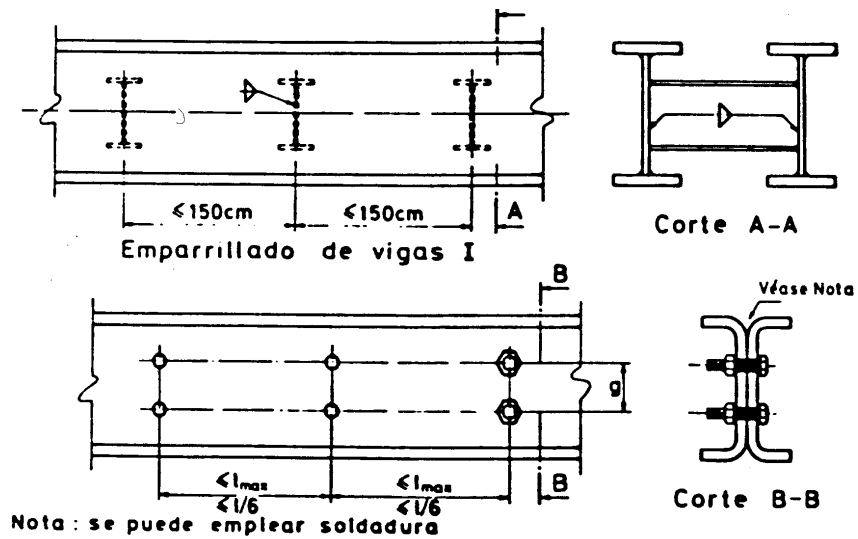


Figura 21 – Perfiles compuestos en flexión

\*) Considerar  $T_s = (P \text{ o } R) m/2g$  para calcular las soldaduras más cercanas a la carga o reacción, si la longitud de la placa de apoyo,  $N$ , es menor que la distancia entre las soldaduras longitudinales.

## 17 Bielas y planchas unidas con pasadores

### 17.1 Definiciones

#### 17.1.1 Bielas de cabeza redonda

En este tipo de bielas se tiene:

- a) bielas simples; planchas de espesor uniforme sin refuerzo en la zona donde va ubicado el agujero del pasador.
- b) Bielas armadas; planchas de espesor diferente en la zona donde va ubicado el agujero para el pasador.

#### 17.1.2 Planchas unidas con pasador

Son elementos compuestos de planchas cuyas cabezas pueden no ser necesariamente redondas.

### 17.2 Requerimientos

#### 17.2.1 Bielas simples

- a) La cabeza será circular y concéntrica con el agujero del pasador.
- b)  $R \geq D_e$ ; siendo R el radio de transición entre la cabeza y el cuerpo de la biela, y  $D_e$  el diámetro exterior de la cabeza.
- c)  $e \geq 12$  mm; siendo e el espesor de la biela.
- d)  $B \leq 8e$  mm; siendo B el ancho del cuerpo de la biela.
- e)  $1,33 A_c \leq A_{n_\ell} \leq 1,50 A_c$ ; siendo  $A_{n_\ell}$  el área neta de la cabeza en la sección a través del agujero del pasador perpendicular al eje longitudinal de la biela y  $A_c$  el área del cuerpo de la biela (B e), en  $\text{cm}^2$ .
- f)  $D_i = D_p + 1$ ; siendo  $D_i$  el diámetro del agujero, y  $D_p$  el diámetro del pasador en mm. En aceros con una tensión de fluencia  $F_f > 4\,900 \text{ kgf/cm}^2$ , el diámetro del agujero,  $D_i$ , no excederá de 5 veces el espesor de la plancha.

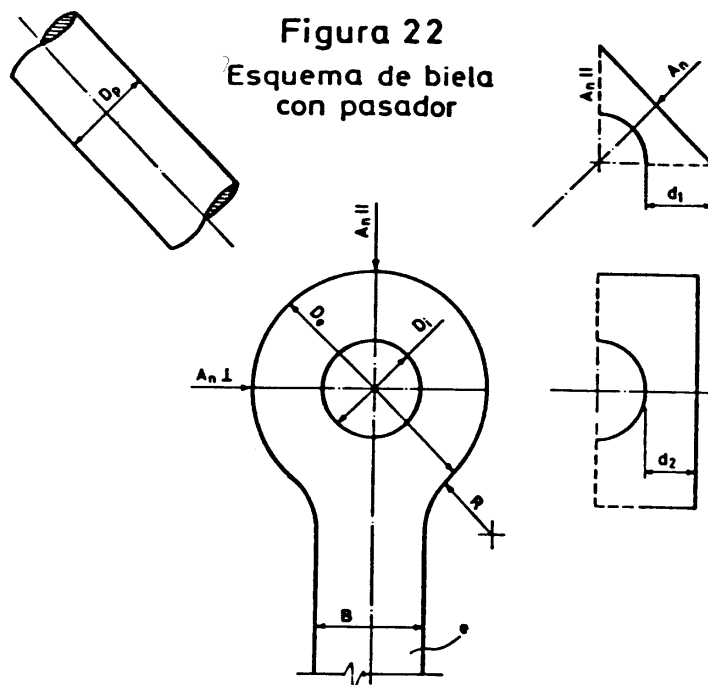
#### 17.2.2 Bielas armadas y planchas unidas con pasador

- a)  $A_{n11}$  (área neta mínima en sentido perpendicular al eje longitudinal del elemento), se determinará de acuerdo con la tensión básica para este tipo de elemento indicada en párrafo 11.1, en  $\text{cm}^2$ .

- b)  $A_{n11} > 2/3 A_{ni}$ ; siendo  $A_{ni}$  el área indicada en inciso 17.2.1 e).
- c) Las esquinas de las planchas unidas con pasador podrán cortarse a 45°C con respecto al eje de la pieza, siempre que,  $(A_n)_{\min.} \geq A_{n11}$ ; siendo  $(A_n)_{\min.}$  el área neta mínima más allá del agujero en un plano perpendicular al de corte, en  $\text{cm}^2$ .
- d) Los elementos componentes de bielas armadas, ubicados en la cabeza, deberán conectarse entre sí con suficientes elementos de unión para resistir los esfuerzos transmitidos a ellos por el pasador.
- e)  $d_1 \leq 4_e$ ,  $d_2 \leq 4_e$ ; siendo  $d_1$  y  $d_2$  la distancia transversal al eje de una plancha unida con pasador y la distancia a cualquier elemento de una biela armada respectivamente, medidas desde el borde del agujero al borde del elemento, en mm.
- f)  $D \leq 1,25 (d_1 \text{ ó } d_2)_{\min.}$ ; siendo  $D_i$  el diámetro del agujero. Ver inciso 17.2.1 f) en cuanto a la limitación del diámetro en aceros con  $F_f > 4\ 900 \text{ kgf/cm}^2$ .
- g)  $D_i = D_p + 1$ ; siendo el diámetro del pasador, en mm.

### 17.2.3 Limitaciones de espesor

Las limitaciones de espesor, en bielas simples o armadas y en planchas unidas con pasador, se podrán obviar cuando se utilicen tuercas que permitan ajustar las planchas, dejándolas en estrecho contacto. En este caso, la tensión admisible de aplastamiento será la indicada en párrafo 11.1.



## 18 Fatiga

### 18.1 Generalidades

#### 18.1.1 Definiciones

- a) Se entiende por fatiga al daño que puede producir la ruptura de la estructura o unión, debido a la frecuencia de fluctuaciones de tensiones a que está sometida.
- b) Se define como rango de variación de tensiones la diferencia entre las tensiones máximas y mínimas solicitantes en una unión. En caso de existir inversión de tensiones, el rango de variación será la suma de los valores absolutos de las tensiones de corte (cizalle) en direcciones opuestas. El rango de tensiones admisibles dependerá de la frecuencia de las cargas solicitantes y del tipo de perfil o unión.

### 18.1.2 Estructuras afectas a fatiga

- En edificios convencionales no es necesario considerar fatiga debido a que la frecuencia y rango de fluctuación de tensiones es relativamente pequeño. En base a esta misma razón, las cargas de viento se consideraran que no originan fatiga.
- En estructuras que soportan maquinarias que producen vibraciones y en vigas portagrúas, será necesario considerar este efecto en el diseño y dimensionamiento de los perfiles y sus uniones.
- No debe usarse pernos corrientes en uniones sometidas a inversión de tensiones.

### 18.2 Rango de tensiones admisibles, $F_r$ y $F_{r'}$

#### 18.2.1 Sin inversión de tensiones, $F_r$

$F_r$  se da en tabla 59 en función de la categoría de la tensión según lo indicado en tabla 60.

#### 18.2.2 Con inversión de tensiones, $F_{r'}$

En aquellas categorías marcadas con asterisco en tabla 60 se modificará  $F_r$  según lo indicado a continuación:

$$F_{r'} = \frac{f_t + f_c}{f_t + 0,6 f_c} F_r \quad (\text{Fórmula 40})$$

en que:

$f_t, F_c$  = valor absoluto de las tensiones máximas de trabajo de tracción y compresión respectivamente.

Tabla 59 - Rango de tensiones admisibles,  $F_r$  (Sin inversión de tensiones)

Frecuencia de cargas	Categoría de tensiones, según tabla 60							Equivalencia aproximada de la frecuencia *)
	A	B	C	D	E	F	G	
20 - 100 000	2 810	2 320	1 970	1 690	1 200	1 200	1 050	2
100 000 - 500 000	2 250	1 760	1 480	1 200	844	984	844	10
500 000 - 2 000 000	1 690	1 200	984	703	492	773	633	50
Sobre 2 000 000	1 690	1 050	844	633	422	633	562	200

\*) La equivalencia aproximada de la frecuencia se entrega en número de aplicaciones de carga por día por 25 años.

NOTAS - En tabla 60.

- 1) T, C y T-C, indican si el rango de variación de tensiones es de tracción solamente, compresión solamente, o compresión y tracción respectivamente.
- 2) V indica el rango de variación de tensiones de corte. Incluye la inversión de tensiones.
- 3) El asterisco (\*) indica que debe emplearse  $F_r$ .

En figura 23 se entregan algunos ejemplos de uniones sometidas a fatiga. Estos ejemplos se dan sólo a modo de guía a objeto de poder aplicarlos a casos similares.

Tabla 60

Condición general	Ubicación	Tipo de tensión	Categoría de tensión (ver tabla 59)	Número de ejemplos ilustrativos (Ver figura 23)
Material puro	En el metal base, de superficies laminadas o limpias	T o T-C	A	1,2
Perfiles armados	1) En el metal base y en la soldadura de perfiles, sin accesorios, armados de planchas o perfiles unidos por:			
	a) Soldadura continua de ranura de penetración completa paralela a la dirección de la tensión aplicada	T - C T - C T o C	B <sup>*)</sup> B B	3 4 3,4
	b) Soldadura continua de filete paralela a la dirección de la tensión aplicada	T, C o T-C	B	4, 5, 6
	2) En la tensión de trabajo de flexión, $f_m$ , en la raíz de las soldaduras de almas de vigas soldadas o alas vecinas a los atiesadores de rigidez soldados:			
	Cuando $F_v \leq 0,5 f_v$	T o T-C	C	7
	Cuando $F_v \leq 0,5 f_v$	T o T-C	D	7
	donde $F_v$ = tensión admisible de corte			
	3) En el metal base en el extremo de platabandas soldadas de longitud parcial, en las cuales sus extremos están a escuadra o biselados, (con o sin soldadura)	T, C o T-C	E	5

(Continúa)

Tabla 60

(Continuación)

Condición general	Ubicación	Tipo de tensión	Categoría de tensión (ver tabla 59)	Número de ejemplos ilustrativos (Ver figura 23)
Uniones remachadas o apernadas mecánicamente	En el metal base en la sección neta de:			
	a) Uniones que emplean pernos de alta resistencia, salvo las uniones del tipo aplastamiento sujetas a inversión de tensión y uniones solicitadas axialmente que produzcan una desviación del plano de flexión en el material unido	T ó T-C	A	8
	b) Otras uniones remachadas o apernadas mecánicamente <sup>1)</sup>	T ó T-C	B	8,9
Soldaduras de ranura	1) En el metal base y en la soldadura de ranura de penetración completa de:			
	a) Empalmes de partes de sección similar con base nivelada, con esmerilado en la dirección de la tensión aplicada y con pureza de soldadura establecida por inspección radiográfica o ultrasónica	T ó T-C	A	10
	b) Empalmes de secciones laminadas y soldadas que tienen formas similares, cuando las soldaduras tienen base nivelada	T ó T-C	B	10,11
	c) Empalmes de ancho o espesor variable cuya soldadura entrega pendientes no superiores a 2/5, con esmerilado en la dirección de la tensión aplicada, y con pureza de soldadura establecida por inspección radiográfica o ultrasónica. Se analiza además la soldadura en la vecindad	T o T-C	B	12,13
	d) Empalmes con o sin transición cuyas pendientes no sean superiores a 2/5, cuando el refuerzo no es removido y/o la pureza de soldadura no es establecida por inspección radiográfica o ultrasónica. Se analiza además la soldadura en la vecindad	T T-C T o T-C	C C*) C	10 10 11, 12, 13
	e) Uniones te o crusiforme Se analiza además la soldadura en la vecindad	T T - C	D D*)	14 14
	2) En el metal base de detalles unidos por soldaduras de ranura afectas a cargas longitudinales y/o transversales	T, C o T-C	E	15

(Continúa)

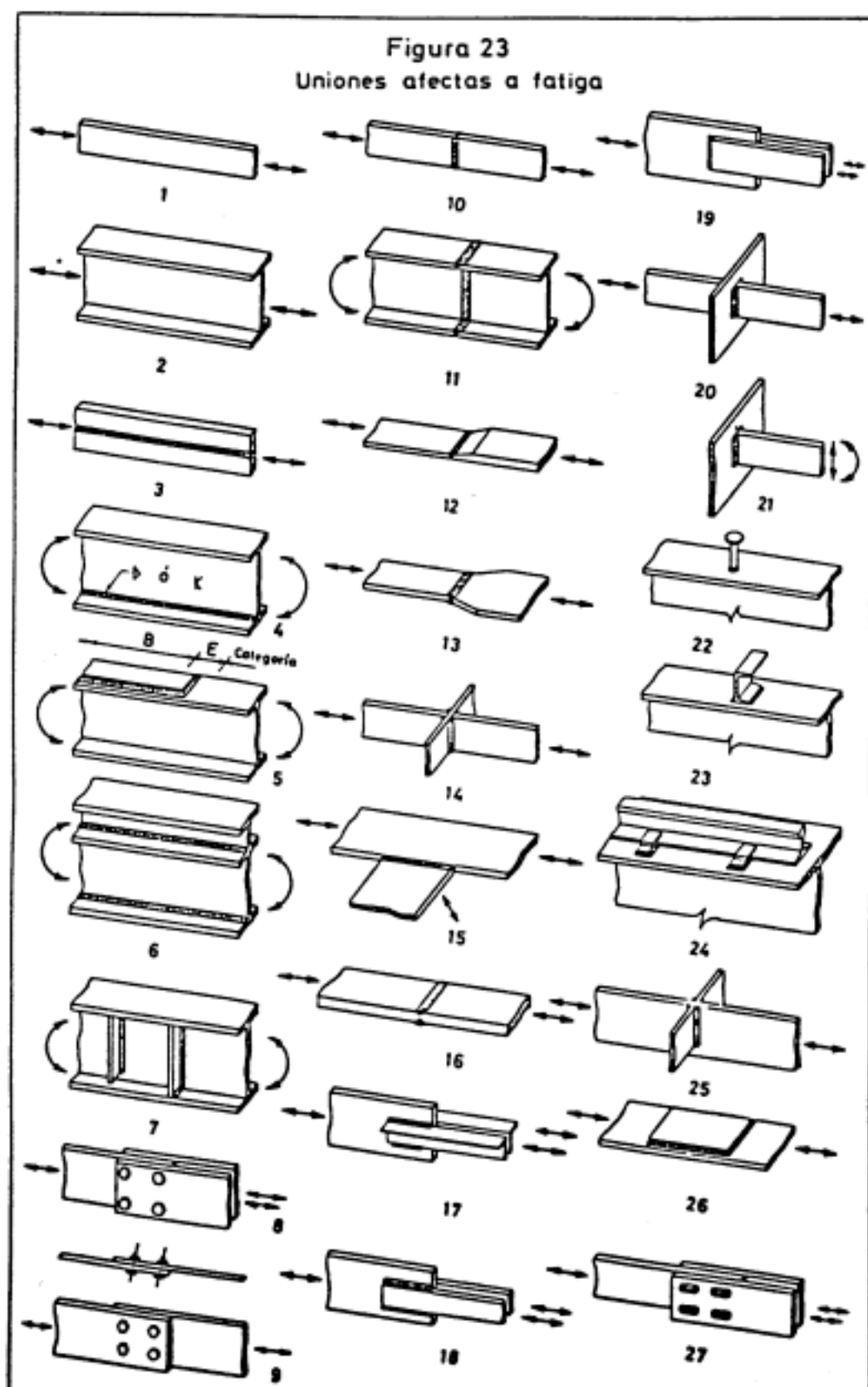
1) Se recomienda no usar pernos corrientes si existe inversión de tensiones.



Tabla 60

(Conclusión)

Condición general	Ubicación	Tipo de tensión	Categoría de tensión (ver tabla 59)	Número de ejemplos ilustrativos (Ver figura 23)
	3) En soldaduras transversales de ranura de penetración parcial, basadas en el área efectiva de la garganta de la soldadura o soldaduras	T o T-C	G	16
Uniones realizadas con soldaduras de filete	1) En el metal base en soldaduras de filete intermitente	T, C o T-C	E	
	2) En el metal base en la unión de perfiles cargados axialmente con uniones extremas realizadas con soldadura de filete. Las soldaduras se distribuirán con respecto al eje del perfil de modo que se equilibren las tensiones en la soldadura	T, C o T-C	E	17, 18 19, 20
	3) En soldaduras de filete longitudinal o transversal, continuas o intermitentes, (salvo en soldaduras de filete transversal en uniones Te) y en soldaduras continuas de filete sometidas a cizalle paralelo al eje de la soldadura en combinación con cizalle debido a la flexión	V	F	5, 17, 18, 19, 21
	4) En soldaduras de filete transversal de uniones Te	V	G	20
Detalles misceláneos	1) En el metal base en la vecindad de un agregado corto (5 cm de longitud máxima en dirección de la tensión) soldado	C T o T-C	C D	22, 23, 24 22, 23, 24 25
	2) En el metal base en la vecindad de una soldadura de filete extensa que une un agregado (por ej. platabanda)	T, C o T-C	E	26
	3) En el metal base en soldaduras de tapón o canal	T, C o T-C	E	27
	4) En la tensión de corte en el área nominal de un conector de corte	V	G	22
	5) En el cizalle de soldaduras de tapón o canal	V	G	27



## SECCION TRES - DISEÑO PLASTICO

### 19 Generalidades

#### 19.1 Campo de aplicación

El diseño plástico de estructuras de acero se puede aplicar a vigas de uno a varios tramos, a marcos rígidos de uno o dos pisos, y a marcos rígidos de varios pisos cuya resistencia a solicitaciones laterales (viento o sismo), es proporcionada por un sistema de arriostramientos verticales.

Los marcos rígidos deben cumplir con los requisitos indicados para construcciones Tipo 1 (ver capítulo 6) para las que se exige uniones rígidas de momento. Se permite el Tipo 2 de construcción en miembros ubicados entre marcos rígidos.

Estructuras diseñadas plásticamente y estructuras diseñadas utilizando los conceptos de diseño plástico, pueden unirse entre sí sin ningún tipo de restricción en cuanto a la rigidez de las uniones que conectan ambos tipos de estructuras.

No se recomienda utilizar los conceptos de diseño plástico en vigas porta-grúas continuas sobre apoyos interiores. Sin embargo, los marcos rígidos que soportan vigas pueden ser diseñados plásticamente.

Las disposiciones que se indican a continuación parten de la hipótesis que el marco se encuentra impedido de desplazarse en el sentido transversal a su plano.

#### 19.2 Sistemas de arriostramiento vertical

En el diseño de sistemas de arriostramiento vertical deberá considerarse:

- a) En marcos arriostrados de varios pisos diseñados plásticamente, el sistema de arriostramiento vertical se calculará para evitar el pandeo general de la estructura al estar éste sometido a solicitaciones de peso propio y sobrecarga, y mantener la estabilidad de la estructura, incluyendo el efecto de volcamiento, bajo la acción combinada de las solicitaciones de peso propio y sobrecarga en conjunto con los esfuerzos horizontales de viento o sismo.
- b) Las solicitaciones deberán amplificarse por los factores indicados en párrafo 19.3.
- c) En el análisis de pandeo del marco y su estabilidad lateral, los miembros constituyentes del sistema de arriostramiento (vigas, columnas y diagonales) pueden considerarse que forman parte de un enrejado vertical en volado con uniones rotuladas en sus extremos.
- d) El esfuerzo axial en cada uno de los miembros del sistema de arriostramiento, debido a la acción combinada de las cargas amplificadas verticales (peso propio y sobrecarga) y horizontales (viento o sismo) no deberá exceder  $0,85 P_f$ , siendo  $P_f = A F_f$ .

- e) Las vigas del sistema de arriostramiento, solicitadas en flexión compuesta bajo la acción combinada de las cargas amplificadas verticales con viento o sismo, deberán dimensionarse según Formula 44 en la cual,  $P_{cr}$  será la resistencia máxima de compresión de la viga, basada en la esbeltez real entre los puntos arriostrados en el plano de flexión.
- f) Los sistemas de arriostramiento vertical pueden considerarse que trabajan en conjunto con otros sistemas de arriostramiento tales como muros resistentes al corte ubicados en divisiones interiores o exteriores, losas de piso y cubiertas de techo, siempre que estos elementos se encuentren unidos al sistema de arriostramiento vertical y a los demás marcos.

### 19.3 Factor de amplificación, FA

La estructura se dimensionará para resistir las cargas solicitantes amplificadas en la forma indicada a continuación:

- a) Para peso propio y sobrecarga  $FA = 1,7$
- b) Para el efecto combinado de peso propio, sobrecarga y cargas eventuales de viento o sismo  $FA = 1,3$

### 19.4 Esbeltez de los elementos de la sección

La esbeltez límite, esbeltez plástica, de los elementos componentes de la sección será:

- a) Alma:

$(H/t)_p =$  la indicada en tabla 14 para secciones plásticas considerando:

$f_c = 1,7 P/A$  en la relación  $f_c/F_f$  y, en Fórmula A3 usar el factor 1,40 en lugar de 2,33.

- b) Ala:

- 1) Para alas no atiesadas:

$$(b/e)_p = 8,7 \text{ para } F_f = 2\,400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$(b/e)_p = 8,3 \text{ para } F_f = 2\,700 \text{ kgf/cm}^2$$

$$(b/e)_p = 7,1 \text{ para } F_f = 3\,400 \text{ kgf/cm}^2$$

NOTA - Esta esbeltez es levemente inferior a la indicada en tabla 14 para secciones plásticas.

- 2) Para alas atiesadas:

$$(b/e)_p = \text{la indicada en tabla 14 para secciones plásticas.}$$

## 20 Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles indicados a continuación son aplicables a las secciones donde se forman rótulas con las consideraciones adicionales que se indican en cada caso. Para el dimensionamiento del resto de la estructura, se utilizará lo indicado en SECCION DOS, recordando que las cargas solicitantes se encuentran amplificadas de acuerdo a lo indicado en capítulo 19.

### 20.1 Flexión, $M_p$

La capacidad máxima de flexión de una viga cargada en el plano del alma será:

$$M_p = ZF_f \quad (\text{Fórmula 41})$$

en que:

$Z$  = módulo resistente plástico,  $\text{cm}^3$ .

### 20.2 Distancia entre arriostramientos laterales, $L_m$

Los perfiles se arriostrarán de manera de evitar los desplazamientos laterales y de torsión de la sección donde se forma una rótula plástica asociada con el mecanismo de falla.

Para permitir el desarrollo de una rótula plástica la distancia entre arriostramientos laterales deberá cumplir los siguientes requisitos:

- a) La distancia entre el arriostramiento ubicado en la sección donde se produce una rótula plástica y el arriostramiento de una sección vecina del marco o perfil, no deberá exceder la distancia  $L_{cr}$  indicada en tabla 61 según corresponda.
- b) No es necesario aplicar las fórmulas indicadas en el punto "a" para determinar la distancia entre arriostramientos laterales en la zona donde se produce la última rótula plástica del mecanismo de falla, como así tampoco, en perfiles con su eje menor orientado perpendicularmente al plano de flexión. En todo caso, en la zona de formación de la última rótula plástica y en las zonas en que no se formen estas rótulas, la distancia entre arriostramientos deberá cumplir con lo indicado en subpárrafo 11.2.4 ( $L_m \leq L_c$ ).

Tabla 61 - Distancia entre arriostramientos,  $L_{cr}$ 

Razón de momentos	Distancia entre arriostramientos	$F_r$ , kgf/cm <sup>2</sup>	
$M/M_p$	$L_{cr}$ , cm	2 400	3 400
A. $1 \geq M/M_p \geq -0,5$	1) $L_{cr} = (96\,000/F_r + 25) i_y$	65 $i_y$	53 $i_y$
B. $0,5 \leq M/M_p \leq -1$	2) $L_{cr} = (96\,000/F_r) i_y$	40 $i_y$	28 $i_y$

En esta tabla:

$i_y$  = radio de giro con respecto al eje menor de la sección, cm;

$M$  = menor de los momentos extremos en la distancia comprendida entre arriostramientos;

$M/M_p$  = razón entre los momentos extremos, en que:

$M/M_p > 0$ ; cuando existe flexión con curvatura doble;

$M/M_p < 0$ ; cuando existe flexión con curvatura simple.

### 20.3 Corte, $V_u$

Las almas de columnas y vigas no reforzadas por atiesadores diagonales o por una doble plancha en la zona de unión, se dimensionarán de modo que:

$$V_u = 0,58 F_r h t \quad (\text{Fórmula 42})$$

### 20.4 Aplastamiento del alma

En la verificación al aplastamiento del alma se deberá considerar lo siguiente:

- Se colocarán atiesadores de alma en secciones sometidas a cargas concentradas, en las cuales se desarrolla una rótula plástica.
- En uniones de perfiles (viga-columna), la carga entregada por las alas de la viga al ala de la columna puede producir, en el alma de la columna, una concentración elevada de tensiones de compresión o tracción, dependiendo de la rigidez de las alas de ésta. En ese caso, puede ser necesario colocar atiesadores, frente a las alas de la viga, soldados a las alas y alma de la columna, de acuerdo a lo indicado en párrafo 14.7.

NOTA - En una reunión empotrada, para determinar el espesor requerido en inciso 14.7 b) 6.

## 20.5 Compresión, $P_{cr}$

La capacidad máxima de una columna cargada axialmente será:

$$P_{cr} = 1,7 A F_c^F \quad (\text{Fórmula 43})$$

en que:

$A$  = área de la sección,  $\text{cm}^2$ ;

$F_c^f$  = tensión admisible de compresión en función de la esbeltez mayor de la columna, de acuerdo a lo indicado en subpárrafo 11.7.2.

## 20.6 Compresión y flexión (flexión compuesta)

La esbeltez de la columna y la interacción de los esfuerzos será:

### a) Esbeltez, $L/i$

En columnas en las que se desarrollen rótulas plásticas, la esbeltez  $L/i$ , en el plano de flexión, no debe ser superior a la esbeltez de Euler,  $C_e$ , definida en subpárrafo 11.7.2.

### b) Interacción de los esfuerzos

Los miembros sometidos a la combinación de sollicitación de compresión y flexión se dimensionarán de modo que cumplan con las siguientes fórmulas de interacción:

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_f M}{(1 - P/P_e) M_m} \leq 1 \quad (\text{Fórmula 44})$$

$$\frac{P}{P_f} + \frac{M}{1,18 M_p} \leq 1; M \leq M_p \quad (\text{Fórmula 45})$$

en que:

$P$  = carga axial solicitante;

$P_{cr}$  = carga crítica determinada en párrafo 20.5;

$P_e$  =  $A \sigma_c^E$ ; carga crítica de pandeo por flexión según Euler.  
(Para  $\sigma_c^E$  ver Gráfico 29);

$P_f$  =  $A F_f$ ; carga de fluencia;

$M$  = momento solicitante máximo;

## NCh427

$M_p$  = momento plástico de flexión determinado en párrafo 20.1;

$C_f$  = coeficiente de momento determinado en subpárrafo 11.8.4;

$M_m$  = momento máximo que puede ser resistido por la columna en ausencia de carga axial, determinado como sigue:

1) En columnas con  $L_m \leq L_{cr}$   $M_m = M_p$

2) En columnas con  $L_m > L_{cr}$   $M_m = \left[ 1,07 - \frac{(L_m/i_y)\sqrt{F_f}}{26500} \right] M_p \leq M_p^*$  (Fórmula 47)

NOTA - Para determinar apropiadamente los valores de  $P_{cr}$ ,  $P_e$  y  $M_m$  para una columna diseñada plásticamente y que está orientada según su eje mayor para resistir la flexión, usar la siguiente tabla.

Tabla 62

	Marcos arriostrados	Marcos de uno y dos pisos no arriostrados
A. $P_{cr}$	Mayor valor entre $L/i_y$ y $L/i_x$	Mayor valor entre $L/i_y$ y $KL/i_x$ <sup>1)</sup>
B. $P_e$	Usar $L/i_x$	Usar $KL/i_x$
C. $M_m$	Usar $L/i_y$	Usar $L/i_y$

1) Las almas de las columnas se suponen que están en el plano del marco.

En esta tabla:

$L$  = distancia entre arriostramientos laterales correspondientes a  $i_x$  o  $i_y$ ;

$K$  = factor de longitud que se determina de acuerdo con lo indicado en subpárrafo 11.7.3.

\*) Esta fórmula es aplicable solamente para la verificación de flexión compuesta y cuando la rótula plástica no se produce en la columna sino que, en cualquier otro miembro que incida en ella.



## **21 Uniones**

### **21.1 Requisitos**

Todas las uniones, cuya rigidez es esencial en la continuidad considerada como base del análisis, deberán ser capaces de resistir los momentos, cortes y cargas axiales a las que podrían estar sujetas por la carga última o por cualquier probable distribución parcial de ésta.

### **21.2 Uniones de esquina**

Las uniones de esquina (cartelas), rectas o curvas por razones de arquitectura, deberán diseñarse de tal manera que pueda ser desarrollada la resistencia total a la flexión plástica, de la sección adyacente a la unión.

### **21.3 Atiesadores**

Se emplearán atiesadores para garantizar la continuidad del ala en perfiles interrumpidos en su sección por otros perfiles, en un marco continuo. Estos atiesadores se colocarán en pares en el plano del ala del perfil interrumpido por el perfil que se prolonga continuamente a través de la unión.

### **21.4 Conectores**

Pernos de alta resistencia, pernos corrientes, remaches y soldaduras, se dimensionarán para resistir las fuerzas producidas con la carga amplificada, empleando tensiones iguales a 1,7 veces las dadas en SECCION DOS.

En general, las soldaduras de ranura son preferibles a las soldaduras de filete, pero su uso no es obligatorio.

Se puede emplear pernos de alta resistencia en uniones que tengan la superficie de contacto pintada, cuando éstas son de medida tal que el desplazamiento requerido para producir aplastamiento no interfiere con la formación, bajo carga amplificada, de la rótula plástica supuesta en el diseño.

## Anexo A

### Utilización del trabajo de formado en frío

En general, las tensiones admisibles se basarán en las propiedades mínimas del acero no elaborado, salvo aquellas permitidas por este anexo.

La utilización, para propósitos de diseño, de cualquier incremento en la resistencia de un acero que resulte de una operación de formado en frío, es permitida siempre que los métodos y limitaciones, indicados en este anexo, sean observados y cumplidos.

### Métodos y limitaciones

La utilización del formado en frío deberá cumplir con las siguientes bases:

- 1) En perfiles comprimidos axialmente con  $Q = 1$ , y en las alas de perfiles flexionados cuyas dimensiones dan un  $Q = 1$  cuando son tratadas como elementos comprimidos, la tensión de fluencia se determinará en base a:
  - a) Ensayos de tracción de la sección total. (Ver AISI 1968).
  - b) Ensayos de columna corta. (Ver AISI 1968), o
  - c) La fórmula siguiente:

$$F_{fa} = C F_{fc} + (1-C) F_f^{23)}$$

en que:

$F_{fa}$  = tensión media de fluencia de la sección total de perfiles en compresión, o de la sección total de las alas de perfiles en flexión, kgf/cm<sup>2</sup>;

$C$  = coeficiente que depende del tipo de sollicitación a que esté efecto un miembro estructural. Su valor se determinará como sigue:

Para perfiles en compresión:  $C = \frac{\text{área total de las esquinas del perfil}}{\text{área total del perfil}}$

Para perfiles en flexión:  $C = \frac{\text{área total de las esquinas del perfil}}{\text{área total de alas del perfil}}$

$F_{fc} = B_c F_f / (R/e)^m$ , kgf/cm<sup>2</sup> <sup>24)</sup> Tensión de fluencia de las esquinas donde:

$$B_c = 3,69 (F_u/F_f) - 0,819 (F_u/F_f)^2 - 1,79$$

<sup>23)</sup> Esta fórmula no se aplica si  $F_u/F_f < 1,2$ ,  $R/e > 7$ , y/o el ángulo incluido excede de 120°.

<sup>24)</sup>  $F_f$  corresponde a la condición de resistencia del acero antes del proceso de formado en frío.

$$m = 0,192 (F_u/F_f) - 0,068$$

R = radio interior de plegado

e = espesor del perfil

$F_f$  = tensión de fluencia del acero no elaborado según lo especificado en capítulo 5, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_u$  = tensión última del acero no elaborado según lo especificado en capítulo 5, kgf/cm<sup>2</sup>.

- 2) Si el factor de columna Q, es menor que 1, la tensión de fluencia de los perfiles indicados en el punto anterior, se puede tomar igual a la tensión de fluencia del acero no elaborado.
- 3) La tensión de fluencia, en perfiles traccionados axialmente, se determinará de acuerdo con los métodos a) o c) indicados en 1.
- 4) La aplicación de las disposiciones indicadas en 1) se realizarán en:

10.3 Elementos no atiesados en compresión uniforme.

11.1 Tensión base admisible,  $F_b$ .

11.2 Flexión.

11.7 Compresión.

11.8 Interacción de fuerza axial y flexión.

11.9 Tensión admisible de compresión y flexión en tubos.

La aplicación de todas las disposiciones de esta norma pueden basarse en las propiedades del acero no elaborado o en los puntos 2 y 3 de este anexo.

El efecto en las propiedades mecánicas que puede producir cualquier soldadura que se aplique al perfil, será determinado sobre la base de ensayos de muestras de sección completa contenida en un largo calibrado, tal como la soldadura se va a emplear por parte del fabricante. Cualquier reducción necesaria por este efecto será contemplada en el empleo estructural del perfil.

## Anexo B

### Pandeo torsional en perfiles de simetría puntual

La tensión admisible puede ser obtenida en la misma forma como se trata el pandeo flexo-torsional en subpárrafo 11.7.2. Esto entrega la siguiente tensión admisible,  $F_c^T$ , para pandeo torsional de perfiles de simetría puntual.

Tabla 63

$\sigma_c^T$	Tensión admisible	Factor de seguridad
	$F_c^T$	FS
A. $\sigma_c^T > 0,5$ QF <sub>f</sub>	$F^F = \frac{I}{FS} \left[ 1 - \frac{QF_f}{4 \sigma_c^T} \right] QF_f$	FS = 23/12
B. $\sigma_c^T \leq 0,5$ QF <sub>f</sub>	$F^F = \frac{I}{FS} \sigma_c^T$	
$\sigma_c^T$ está definida en tabla 32		

## Anexo C

### Pandeo flexo-torsional en perfiles no simétricos

En los perfiles no simétricos, la tensión crítica de pandeo elástico,  $\sigma_c^{FT}$ , es inferior que la menor de las tensiones críticas de Euler según los ejes x - x e y - y y la tensión crítica de torsión.

El valor de  $\sigma_c^{FT}$  puede ser obtenido a partir de la siguiente ecuación por el método de tanteo:

$$\left( \frac{\sigma_c^{FT^3}}{\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E \sigma_c^T} \right) \rho - \left( \frac{\sigma_c^{FT^2}}{\sigma_{cy}^E \sigma_c^T} \right) \gamma - \left( \frac{\sigma_c^{FT^2}}{\sigma_{cx}^E \sigma_c^T} \right) \beta - \left( \frac{\sigma_c^{FT^2}}{\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E} \right) + \frac{\sigma_c^{FT}}{\sigma_{cx}^E} + \frac{\sigma_c^{FT}}{\sigma_{cy}^E} + \frac{\sigma_c^{FT}}{\sigma_c^T} = 1$$

Como primera aproximación se puede emplear la ecuación siguiente:

$$\sigma_c^{FT} = \frac{\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E + \sigma_{cx}^E \sigma_c^T + \sigma_{cy}^E \sigma_c^T}{2(\sigma_{cx}^E \gamma + \sigma_{cy}^E \beta + \sigma_c^T)} - \frac{\sqrt{(\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E + \sigma_{cx}^E \sigma_c^T + \sigma_{cy}^E \sigma_c^T)^2 - 4(\sigma_{cx}^E \sigma_{cy}^E \sigma_c^T)(\sigma_{cx}^E \gamma + \sigma_{cy}^E \beta + \sigma_c^T)}}{2(\sigma_{cx}^E \gamma + \sigma_{cy}^E \beta + \sigma_c^T)}$$

$$\rho = 1 - (x_o/i_o)^2 - (y_o/i_o)^2$$

$$\gamma = 1 - (y_o/i_o)^2$$

$$\beta = 1 - (x_o/i_o)^2$$

$x_o, y_o$  = Distancia desde el centro de corte a los ejes x - x e y - y, respectivamente.

## Anexo D

### Nomenclatura de electrodos y fundentes

(AWS A5.1 y A5.5 para Arco Manual. AWS A.5.17 para Arco Sumergido)

AWS A5.1-64 Mild Steel Covered Arc Welding Electrodes.  
Electrodos revestidos para soldar al arco aceros al carbono.

AWS A5.5-64 Low-Alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes.  
Electrodos revestidos para soldar al arco aceros de baja aleación.

Alcance: Estas especificaciones establecen los requerimientos que deben cumplir los electrodos para soldar aceros al carbono y aceros de baja aleación. Los electrodos se han clasificado de acuerdo a:

- 1) Las propiedades mecánicas del material depositado.
- 2) Tipo de recubrimiento.
- 3) Posición de las platinas a soldar.
- 4) Tipo de corriente.
- 5) Composición química del metal depositado.

Designación genérica. EXXXX, en que:

E = Electrodo

Primera y

Segunda X = Resistencia mínima a la ruptura por tracción, en  $\text{kgf/cm}^2/100$ .

Tercera X = Posición para soldar, en que:

1 : significa que el electrodo se puede usar para soldar en toda posición (incluso sobre cabeza).

2 : significa que el electrodo se puede usar para soldar en posiciones plana y horizontal.

Cuarta X = Representa el tipo de corriente a usar las características químicas del electrodo:

0 : corriente continua con polaridad invertida, ccpi.

1 : corriente alterna o corriente continua con polaridad invertida, ca o ccpi.

- 2 : corriente continua con polaridad directa o corriente alterna, ccpd o ca.
- 3 : corriente alterna o continua.
- 4 : corriente alterna o continua con adición de polvos de hierro.
- 5 : bajo hidrógeno y corriente continua con polaridad invertida.
- 6 : bajo hidrógeno y corriente alterna o continua de polaridad invertida.
- 8 : bajo hidrógeno con contenido de polvos de hierro y corriente alterna o continua con polaridad invertida.

#### EJEMPLO: E5014

E = Electrodo

50 = 5 000 kgf/cm<sup>2</sup>, resistencia mínima a la ruptura por tracción.

1 = Toda posición.

4 = Electrodo con polvo de hierro y, emplear corriente alterna o continua para soldar.

AWS A.5.17-65 Bare Mild Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding. Electrodo desnudo para soldar al arco sumergido aceros al carbono y aceros de baja aleación.

Alcance: Esta especificación entrega la clasificación de los electrodos desnudos y de los fundentes a usar en la soldadura al arco sumergido de aceros al carbono y aceros de baja aleación. Los electrodos se han clasificado en base a su composición química (ver NCh776, tabla 1). Los fundentes se han clasificado en base a las propiedades mecánicas de una soldadura hecha con el fundente en combinación con un electrodo específico. Los ensayos de tracción para clasificar un fundente deben ser efectuados en el material de aporte. Además, se debe efectuar ensayos de impacto y exámenes radiográficos.

Designación fundente-electrodo: FXX-EXXX<sup>25)</sup> en que:

F = fundente

E = electrodo

---

<sup>25)</sup> En esta designación se puede agregar una letra K que significa acero sin contenido de silicio.

## NCh427

- Primera X = resistencia mínima a la ruptura por la tracción, en  $\text{kgf/cm}^2/1\ 000$ .
- Segunda X = requerimientos de impacto (0 indica que no hay exigencia de este ensayo).
- Tercera X = contenido de manganeso y se representa por las letras L, M o H para indicar bajo, medio o alto.
- Cuarta y Quinta X = contenido de carbono.

### EJEMPLO: F50-EM12

- F50 = fundente con resistencia mínima a la ruptura por tracción de  $5\ 000\ \text{kgf/cm}^2$  sin requerimiento de ensayo de impacto.
- EM12 = electrodo de acero, de mediano contenido de manganeso (0,85 - 1,25) con carbono nominal de 0,12% (0,08 - 0,15).



## Apendice

### 1) Bibliografía

- a) *Specifications for the Design, Fabrication and Erectio of Structural Steel for Buildings* del American Institute of Steel Constructions, AISC-1969.
- b) *Specification for the Design of Cold-Formed Structural Members* del American Iron and Steel Institute, AISI-1968.



---

**NORMA CHILENA**

***NCh* 427.cR76**

---

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

---

## **Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios**

*Construction – Specifications for the design of steel structures for building*

Primera edición : 1976

Reimpresión : 1999

***Descriptores:*** especificaciones, calculo, estructuras de acero

---

CIN 91.080.10

COPYRIGHT © : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

\* Prohibida reproducción y venta \*

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Casilla : 995 Santiago 1 - Chile

Teléfonos : + (56 2) 441 0330 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0425

Telefax : + (56 2) 441 0427 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0429

Internet : inn@entelchile.net

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)