

- a) debidos al peso propio de las barras de longitudes inferiores a 6 m;
 - b) debidos al viento en las barras de vigas trianguladas;
 - c) debidos a la excentricidad en las barras de arriostramiento cuando su directriz no esté en el plano de la unión.
2. La esbeltez reducida (definida en el siguiente apartado) de las barras en tracción de la estructura principal no superará el valor 3,0, pudiendo admitirse valores de hasta 4,0 en las barras de arriostramiento.
 3. La resistencia a tracción pura de la barra, $N_{t,Rd}$, será la resistencia plástica de la sección bruta, $N_{pl,Rd}$, calculada según el apartado 6.2.

6.3.2. Compresión

1. La resistencia de las barras a compresión, $N_{c,Rd}$, no superará la resistencia plástica de la sección bruta, $N_{pl,Rd}$, calculada según el apartado 6.2, y será menor que la resistencia última de la barra a pandeo, $N_{b,Rd}$, calculada según se indica en los siguientes apartados.
2. En general será necesario comprobar la resistencia a pandeo en cada posible plano en que pueda flexionar la pieza. Este DB no cubre el fenómeno de pandeo por torsión, que puede presentarse en piezas, generalmente abiertas con paredes delgadas, en las que el eje de la barra deformada no queda contenido en un plano.
3. Como capacidad a pandeo por flexión, en compresión centrada, de una barra de sección constante, puede tomarse:

$$N_{bRd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad (6.17)$$

siendo:

- A área de la sección transversal en clases 1, 2 y 3, o área eficaz A_{eff} en secciones de clase 4;
- f_{yd} resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1,05$ de acuerdo a 2.3.3.
- χ coeficiente de reducción por pandeo, cuyo valor puede obtenerse en los epígrafes siguientes en función de la esbeltez reducida y la curva de pandeo apropiada al caso.

6.3.2.1. Barras rectas de sección constante y axil constante

1. Se denomina esbeltez reducida $\bar{\lambda}$, a la raíz cuadrada del cociente entre la resistencia plástica de la sección de cálculo y la compresión crítica por pandeo, de valor:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (6.18)$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I$$

siendo:

- E módulo de elasticidad;
- I momento de inercia del área de la sección para flexión en el plano considerado;





L_k longitud de pandeo de la pieza, equivalente a la distancia entre puntos de inflexión de la deformación de pandeo que la tenga mayor. Para los casos canónicos se define en la tabla 6.1 en función de la longitud de la pieza. Para condiciones diferentes para la carga axial o la sección se define en apartados posteriores.

2. El coeficiente χ de reducción por pandeo, para valores de la esbeltez reducida $\bar{\lambda}_k \geq 0,2$, se obtiene de:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_k)^2}} \leq 1 \tag{6.19}$$

donde:

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + (\bar{\lambda}_k)^2 \right] \tag{6.20}$$

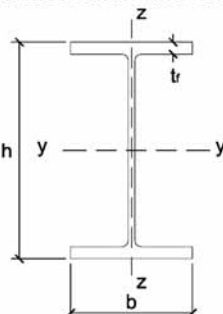
α es el coeficiente de imperfección elástica, que adopta los valores de la tabla 6.3 en función de la curva de pandeo (véase tabla 6.2). Ésta representa la sensibilidad al fenómeno dependiendo del tipo de sección, plano de pandeo y tipo de acero, de acuerdo a la tabla 6.2.

3. Los valores del coeficiente χ se pueden obtener directamente de la Figura 6.3 o de la tabla 6.3. en función de la esbeltez reducida y del coeficiente de imperfección, respectivamente.

TABLA 6.1.
LONGITUD DE PANDEO DE BARRAS CANÓNICAS

Condiciones de extremo	Biarticulada	Biempotrada	Empotrada articulada	Biempotrada desplazable	En ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

TABLA 6.2.
CURVA DE PANDEO EN FUNCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Tipo de sección	Tipo de acero		S235 a S355		S450	
	Eje de pandeo ⁽¹⁾		y	z	y	z
Perfiles laminados en I 	$h/b > 1,2$	$t \leq 40 \text{ mm}$	a	b	a_0	a_0
		$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
	$h/b \leq 1,2$	$t \leq 100 \text{ mm}$	b	c	a	a
		$t > 100 \text{ mm}$	d	d	c	c

(CONTINÚA)

TABLA 6.10.
FACTOR DE IMPERFECCIÓN α_{LT}

Elemento	Límites	Curva de pandeo	α_{LT}
Perfil laminado con sección en doble T	$h/b \leq 2$	a	0,21
	$h/b > 2$	b	0,34
Elemento armado con sección en doble T	$h/b \leq 2$	c	0,49
	$h/b > 2$	d	0,76
Elementos con otras secciones	—	d	0,76

La esbeltez relativa frente al pandeo lateral se determinará según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (6.34)$$

donde:

M_{cr} momento crítico elástico de pandeo lateral. El momento crítico elástico de pandeo lateral se determinará según la teoría de la elasticidad, por ejemplo de acuerdo con 6.3.3.3.

- En el caso de perfiles laminados o de perfiles armados equivalentes cuando $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ se podrá utilizar un valor de $\chi_{LT} = 1$.
- Los apoyos laterales del ala comprimida deberán dimensionarse con capacidad para resistir los esfuerzos a que van a estar sometidos. Los esfuerzos originados por las fuerzas de desvío del soporte comprimido de una viga recta de canto constante podrán determinarse de acuerdo con 5.4.1.b).

6.3.3.3. Momento crítico elástico de pandeo lateral

- En la mayoría de los casos prácticos es admisible un cálculo simplificado del momento crítico elástico de pandeo lateral, a pesar de las diferencias en las condiciones de apoyo, la introducción de las cargas y la distribución de los momentos flectores.
- En los casos en los que los apoyos en los extremos de una barra impidan su deformación por torsión, y si la carga actúa en el eje de la barra, el momento crítico elástico de pandeo lateral se podrá determinar según la ecuación:

$$M_{CR} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2} \quad (6.35)$$

siendo:

M_{LTv} componente de M_{CR} que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra (S. Venant);

M_{LTw} componente de M_{CR} que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

- La componente M_{LTv} del momento crítico elástico de pandeo lateral se podrá determinar a partir de la ecuación:



$$M_{LTv} = C_1 \frac{\pi}{L_c} \sqrt{GI_T EI_z} \quad (6.36)$$

siendo:

- C_1 factor que depende de las condiciones de apoyo y de la ley de momentos flectores que soliciten y la viga;
- L_c longitud de pandeo lateral (distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral);
- G módulo de elasticidad transversal;
- E módulo de elasticidad;
- I_T constante de torsión uniforme;
- I_z momento de inercia de la sección respecto al eje z ;

Para las vigas con secciones esbeltas (apartado 5.2.3) se adoptará $M_{LTv} = 0$.

4. La componente M_{LTw} del momento crítico elástico de pandeo lateral viene determinada por la carga crítica elástica de pandeo del soporte comprimido del perfil. Este soporte está formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma, adyacente al ala comprimida. La componente M_{LTw} se podrá determinar a partir de la ecuación:

$$M_{LTw} = W_{el,y} \frac{\pi^2 E}{L_c^2} C_{1f,z}^2 \quad (6.37)$$

siendo:






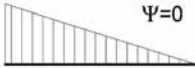




- $W_{el,y}$ módulo resistente elástico de la sección, según el eje de fuerte inercia, correspondiente a la fibra más comprimida;
- $i_{f,z}$ radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma, adyacente al ala comprimida.

Las características mecánicas de la sección del soporte comprimido arriba mencionado se determinarán para la sección eficaz.

5. El factor C_1 tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Los valores indicados en la tabla 6.11 son válidos para tramos de vigas en cuyos extremos el giro torsional esté totalmente coaccionado y a lo largo de los cuales el momento flector varía linealmente.



TABLA 6.7.
VALOR DEL FACTOR C₁ CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DEL FACTOR k_φ (k_w = 1)

Condiciones de apoyo y tipo de sollicitación	Diagrama de momentos flectores	C ₁
	<p>Ψ=+1</p> 	1
	<p>Ψ=+3/4</p> 	1,14
	<p>Ψ=+1/2</p> 	1,32
	<p>Ψ=+1/4</p> 	1,56
	<p>Ψ=0</p> 	1,88
	<p>Ψ=-1/4</p> 	2,28
	<p>Ψ=-1/2</p> 	2,7
	<p>Ψ=-3/4</p> 	2,93
	<p>Ψ=-1</p> 	2,75

6.3.3.4. Abolladura del alma por cortante

1. No es preciso comprobar la resistencia a la abolladura del alma en las barras en las que se cumpla:

$$\frac{d}{t} < 70 \cdot \varepsilon \tag{6.36}$$

ni en aquellas en las que, disponiendo de rigidizadores en sus extremos (e intermedios, en su caso), se cumpla:

$$\frac{d}{t} < 30 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}} \tag{6.37}$$





siendo:

d, t dimensiones del alma (altura y espesor);

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2.$$

k_τ es igual:

$$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad \text{Si existen rigidizadores separados una distancia } a < d;$$

$$k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad \text{Si existen rigidizadores separados una distancia } a \geq d;$$

$$k_\tau = 5,34 \quad \text{Si existen rigidizadores sólo en las secciones extremas.}$$

2. La inercia I_s de la sección formada por el rigidizador más una anchura de alma a cada lado del rigidizador igual a $15 t_w \varepsilon$, con relación a su fibra neutra, paralela al plano del alma, ha de ser:

$$I_s \geq 1,5 \cdot \frac{d^3 t^3}{a^2} \quad \text{si } \frac{a}{d} < \sqrt{2} \quad (6.38)$$

$$I_s \geq 0,75 \cdot d \cdot t^3 \quad \text{si } \frac{a}{d} \geq \sqrt{2} \quad (6.39)$$

3. La resistencia del alma a abolladura por cortante se obtiene de:

$$V_{b,Rd} = \frac{d \cdot t \cdot \tau_b}{\gamma_{M1}} \quad (6.40)$$

siendo:

$$\tau_b = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad \bar{\lambda}_w \leq 0,8$$

$$\tau_b = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 - 0,625 \cdot \left(\bar{\lambda}_w - 0,8 \right) \right) \quad \text{si } 0,8 < \bar{\lambda}_w < 1,2$$

$$\tau_b = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{0,9}{\bar{\lambda}_w} \right) \quad 1,2 \leq \bar{\lambda}_w$$

donde:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{d/t}{37,4 \varepsilon \sqrt{k_\tau}}$$

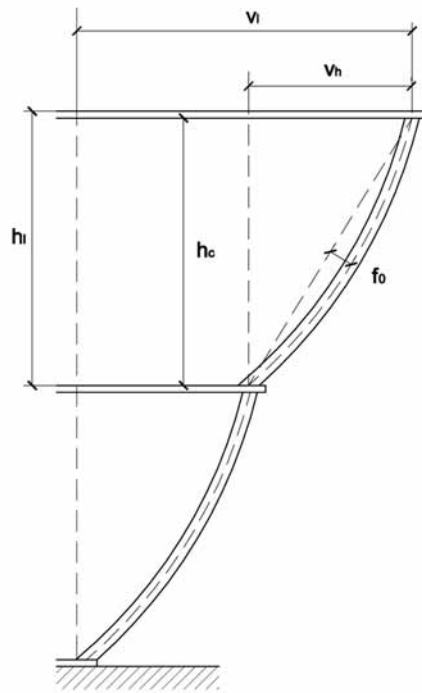


FIGURA 11.3.

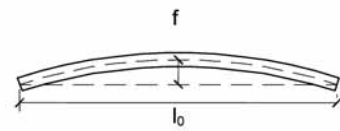


FIGURA 11.4.

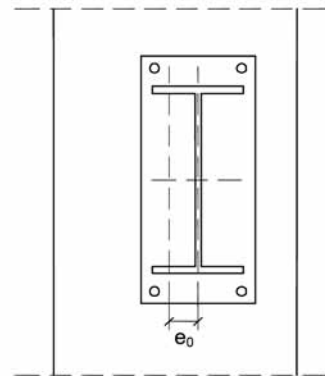
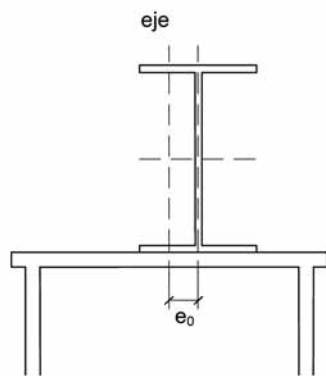


FIGURA 11.5.



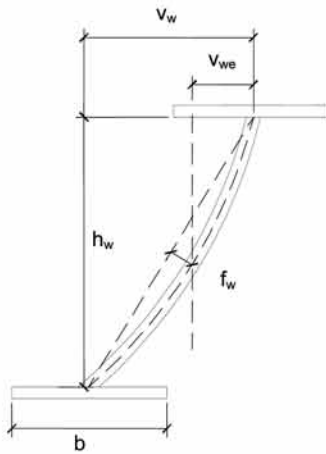


FIGURA 11.6.

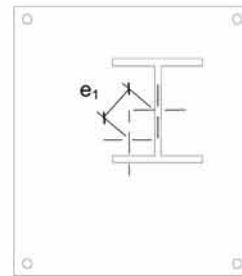


FIGURA 11.7.

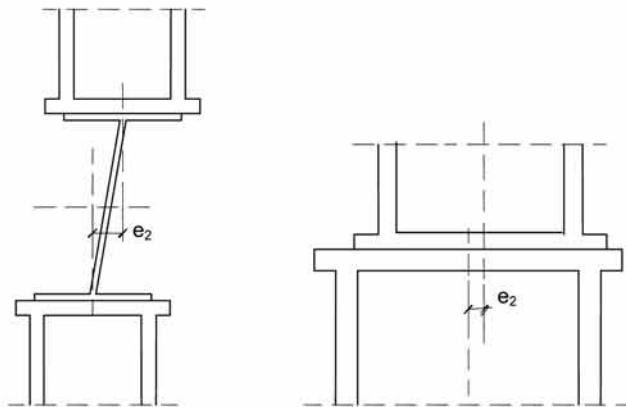


FIGURA 11.8.

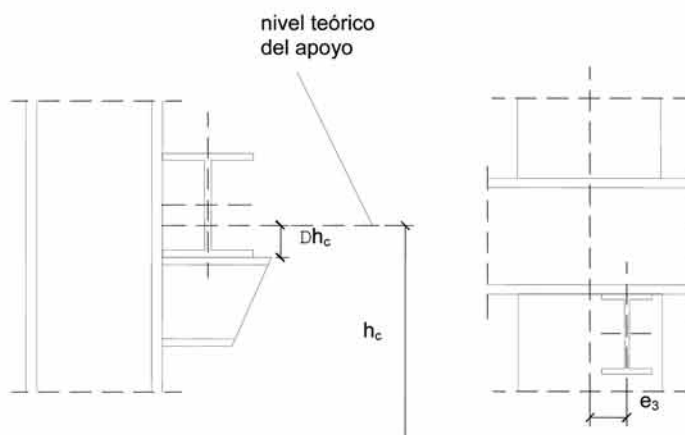


FIGURA 11.9.

TABLA C.2.
COEFICIENTES k_1 PARA TENER EN CUENTA CUENTA LOS MOMENTOS EN UNIONES DE VIGAS EN CELOSÍA DE TUBOS RECTANGULARES HUECOS

Tipo de Unión		Cordones	Montantes	Diagonales
Juntas con huelgo	Tipo K	1,5	1,0	1,5
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,2	1,6
Juntas con solape	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,0	1,4

- Se distinguen dos conceptos de fiabilidad: tolerancia al daño y vida segura. El primer caso presupone la inspección y el mantenimiento de la estructura al objeto de detectar el progreso de las fisuras y proceder a su reparación en caso necesario. Se aplica a situaciones en las que en caso de daño por fatiga se pueda producir una redistribución de tensiones entre componentes o piezas de la estructura. El planteamiento de vida segura no requiere de la inspección ni el mantenimiento regulares y es de aplicación cuando la formación de fisuras locales en unos elementos puede conducir rápidamente al fallo de la estructura.

C.3.1. Coeficientes parciales de seguridad para la resistencia a la fatiga

- Los valores de γ_{Mf} se tomarán de la tabla C.3.

TABLA C.3.
COEFICIENTES PARCIALES

Concepto de fiabilidad	Consecuencias del fallo	
	Ligeras	Graves
Tolerancia del daño	1,00	1,15
Vida segura	1,15	1,35

C.3.2. Cálculo de las carreras de tensiones

- Para los detalles típicos se utiliza el cálculo en tensiones nominales, definidas como las que se producen en el material de base de acuerdo con la teoría elástica excluyendo todos los efectos de concentración de tensiones.
- El valor de cálculo de la carrera de tensiones nominales se calcula mediante:

$$\begin{aligned} \gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2} &= \lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_n \Delta\sigma (\gamma_{FF} Q_k) \\ \gamma_{FF} \Delta\tau_{E,2} &= \lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_n \Delta\tau (\gamma_{FF} Q_k) \end{aligned} \tag{C.5}$$

siendo:

$\Delta\sigma (\gamma_{FF} Q_k), \Delta\tau (\gamma_{FF} Q_k)$ la carrera de tensiones causada por las cargas de fatiga especificadas para el edificio en concreto e incluidas en su acta de utilización (según DB SE). La especificación de dichas cargas incluirá en sus valores para el cálculo el coeficiente parcial de seguridad γ_{FF} ;

λ_i factores de daño equivalente que dependen del espectro de cálculo.



3. Para uniones de perfiles huecos mediante soldadura se utiliza el cálculo en tensiones geométricas, definidas como las máximas tensiones principales en el material base adyacente a la raíz de la soldadura, teniendo en cuenta los efectos de concentración de tensiones debidas a la geometría particular del detalle en estudio. En este caso, el valor de la carrera nominal modificada es:

$$\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2} = k_1 (\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}^*) \quad (C.6)$$

siendo:

$\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}^*$ valor de la carrera de tensiones calculada con un modelo simplificado de nudos articulados;

k_1 factor de amplificación dado en las tablas anteriores.

4. En los detalles que no incluyen soldaduras o cuando éstas han sido sometidas a un tratamiento de alivio de tensiones, se puede considerar una carrera efectiva de tensión formada por la parte de tracción de la real y únicamente el 60 por 100 de la de compresión.
5. El efecto escala para espesores mayores de 25 mm del material base en el que puede iniciarse y propagarse una fisura debe considerarse en los casos indicados en las tablas de categorías de detalle. La resistencia a la fatiga viene dada por:

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \Delta\sigma_C \quad (C.7)$$

siendo:

$\Delta\sigma_C$ valor dado como categoría de detalle en dichas tablas y k_s el coeficiente minorador de la resistencia a fatiga por efecto escala, para espesores mayores de 25 mm, indicado en las mismas.

C.3.3. Resistencia a la fatiga

1. La resistencia a la fatiga en tensiones nominales se define mediante las curvas S-N de las figuras C.1 y C.2 que se aplican a cada categoría del detalle. Esta se designa mediante un número que representa en N/mm² los valores de referencia $\Delta\sigma_C$ o $\Delta\tau_C$ para la resistencia a fatiga a 2 millones de ciclos.

Las curvas de las figuras C.1 y C.2 se definen para tensiones nominales de amplitud constante mediante las expresiones:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \cdot 10^6 \quad \text{con } m=3 \quad \text{para } N \leq 5 \cdot 10^6 \quad (\text{Figura C.1}) \quad (C.8)$$

$$\Delta\tau_R^m N_R = \Delta\tau_C^m 2 \cdot 10^6 \quad \text{con } m=5 \quad \text{para } N \leq 10^8 \quad (\text{Figura C.2}) \quad (C.9)$$

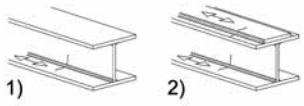
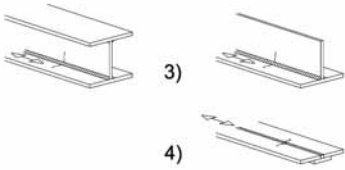
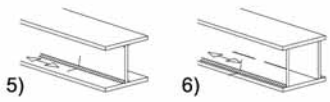

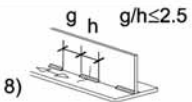


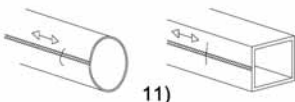
siendo:

$$\Delta\sigma_D = \left[\frac{2}{5} \right]^{1/m} \Delta\sigma_C \quad \text{límite de fatiga de amplitud constante (Figura C.1)} \quad (C.10)$$

$$\Delta\tau_L = \left[\frac{2}{100} \right]^{1/m} \Delta\tau_C \quad \text{límite de truncamiento (Figura C.2)} \quad (C.11)$$

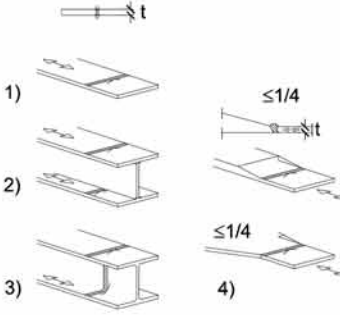
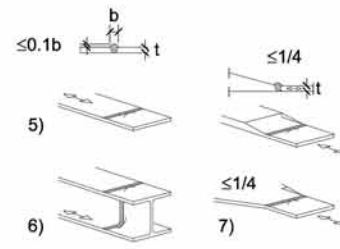

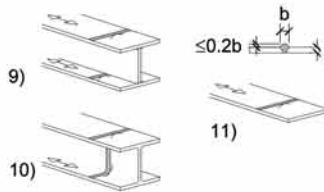



TABLA C.5.
SECCIONES ARMADAS SOLDADAS

Categoría del detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
125		Cordones longitudinales continuos Cordones a tope automáticos por ambos lados. Cordones en ángulo automáticos. Los extremos de las platabandas deben comprobarse usando los detalles 5) ó 6) de la tabla C,6	Detalles 1) y 2) No se permite interrupción alguna del cordón excepto si lo repara un especialista y se inspecciona la reparación
112		Cordones automáticos a tope o en ángulo hechos desde ambos lados pero con interrupciones en el soldeo. Cordones a tope automáticos hechos desde un solo lado con una chapa dorsal continua sin interrupciones en el soldeo.	4) Si en este detalle se producen interrupciones en el soldeo debe utilizarse la clase 100
100		Cordones manuales a tope o en ángulo Cordones a tope manuales o automáticos hechos desde un solo lado en vigas cajón	6) Es esencial un ajuste perfecto entre las chapas de ala y alma. El borde del alma debe prepararse de modo que se consiga penetración regular en la raíz sin interrupciones
100		7) Cordones a tope o en ángulo, ejecutados automática o manualmente (detalles 1 a 6) y reparados.	7) La categoría original se puede recuperar si un especialista procede a un amolado para eliminar los defectos visibles y si se lleva un control adecuado
80		8) Cordones en ángulo longitudinales intermitentes	8) $\Delta\sigma$ calculado a partir de las tensiones normales en el ala
71		9) Cordones longitudinales a tope y en ángulo, continuos o intermitentes con groetas de diámetro no superior a 60 mm	9) $\Delta\sigma$ calculado a partir de las tensiones normales en el ala
125		10) Cordones a tope longitudinales con ambos lados rectificadas en paralelo a la dirección de carga, 100% END	
112		10) Sin amolado ni interrupciones	
90		10) Con interrupciones	
140		11) Costura longitudinal con soldadura automática sin interrupciones en secciones huecas	11) Libre de defectos fuera de las tolerancias de UNE-ENV 1090-1:1997 Espesor de pared $t \leq 12,5$ mm
125		11) Costura longitudinal con soldadura automática sin interrupciones en secciones huecas	11) Espesor de pared $t > 12,5$ mm
90		11) Con posiciones de arranque/parada	

Para los detalles 1 a 11 repasados mediante mecanizado se pueden aplicar las categorías correspondientes a soldadura automática.

TABLA C.6.
SOLDADURAS A TOPE TRANSVERSALES (DE FUERZA)

Categoría del detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
112	 <p>1) $\leq 1/4$</p> <p>2)</p> <p>3) $\leq 1/4$</p> <p>4)</p>	<p>Sin chapa dorsal Empalmes de chapas Empalmes de ala y alma en vigas armadas soldados antes de su ensamble Cordones a tope de sección completa en perfiles laminados sin groeras Empalmes en chapas de ancho o canto variable con pendientes $\leq 1/4$</p>	<p>Todas los cordones enrasados en la dirección de la flecha Chapas de derrame eliminadas tras su uso, bordes de placas rectificadas en dirección de las tensiones Soldadas desde ambos lados; comprobadas mediante END. Detalle 3: Secciones laminadas con las mismas dimensiones sin diferencias de tolerancia</p>
90	 <p>5) $\leq 1/4$</p> <p>6) $\leq 1/4$</p> <p>7) $\leq 1/4$</p>	<p>Empalmes de chapas Cordones a tope de penetración total en perfiles laminados sin groeras Empalmes transversales en chapas de ancho o canto variable con pendientes $\leq 1/4$</p>	<p>La altura del sobreespesor del cordón no superará el 10% de su anchura, con transición suave a la superficie de la placa Chapas de derrame eliminadas tras su uso; bordes de placas rectificadas en dirección de las tensiones. Soldado desde ambos lados; comprobados con END Detalles 5 y 7 Soldaduras hechas en posición plana</p>
90	<p>Efecto de escala para $t > 25 \text{ mm}$</p> $k_s = \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2}$  <p>8)</p>	<p>Cordones a tope de penetración total de perfiles laminados con groeras</p>	<p>Todas los cordones enrasados en la dirección de la flecha Chapas de derrame eliminadas tras su uso; bordes de placas rectificadas en dirección de las tensiones Soldadas desde ambos lados; comprobadas mediante END Secciones laminadas con las mismas dimensiones sin diferencias de tolerancia</p>
80	 <p>9) $\leq 0.2b$</p> <p>10)</p> <p>11)</p>	<p>Empalmes transversales en vigas armadas soldadas sin groeras Cordones a tope en sección completa de perfiles laminados con groeras Empalmes transversales en chapas, secciones laminadas o vigas armadas</p>	<p>La altura del sobreespesor del cordón no superará el 10% de su anchura, con transición suave a la superficie de la placa Soldadura no aislada Chapas de derrame eliminadas tras su uso; bordes de placas rectificadas en dirección de las tensiones Soldadas desde ambos lados; comprobadas mediante END Detalle 10 La altura del sobreespesor del cordón no mayor del 10% de su anchura, con transición suave a la superficie de la placa</p>
63	 <p>12)</p>	<p>12) Soldadura a tope en sección completa de perfiles laminados sin groeras</p>	<p>Chapas de derrame eliminadas tras su uso; bordes de placas rectificadas en dirección de las tensiones. Soldadas desde ambos lados</p>

(CONTINÚA)