

# Dimensionado de vigas de acero solicitadas a flexión.

<b>Apellidos, nombre</b>	Arianna Guardiola Villora (aguardio@mes.upv.es)
<b>Departamento</b>	Mecánica del Medio Continuo y Teoría de Estructuras
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

# 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan las expresiones matemáticas que establece el Documento Básico Seguridad Estructural Acero del Código Técnico de la Edificación (DB-SE-A) para comprobar el dimensionado de vigas de acero de alma llena solicitadas a flexión y la estrategia a seguir cuando no se cumplen alguna de las condiciones.

## 2 Introducción

El DB-SE- A establece las comprobaciones a realizar en vigas de alma llena correspondientes a los Estado Límite Últimos (ELU) y los Estados Límite de Servicio (ELS)

A diferencia de las comprobaciones de resistencia, la comprobación a pandeo lateral y la de resistencia frente a cargas concentradas presenta, para los casos habituales, un cierto grado de complejidad, siendo el objeto de este artículo facilitar el proceso de dimensionado de las vigas de acero de alma llena diseñadas con perfiles de las series IPE e IPN.

## 3 Objetivos

Cuando el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de realizar las comprobaciones correspondientes a los Estados Límite Últimos (ELU) y Estados Límite de Servicio (ELS) de los casos habituales de vigas de alma llena en edificación, diseñadas con perfiles de las series IPE e IPN.

## 4 Predimensionado

En aquellos casos en que se deba dimensionar una viga solicitada a flexión, se debe realizar un predimensionado previo para que el perfil a comprobar resista el momento sollicitación y cumpla las limitaciones de deformación.

Si por el contrario se trata de de comprobar el predimensionado de una viga, se realizarán directamente las comprobaciones de los epígrafes 5 y 6.

### 4.1 Predimensionado a resistencia

La condición de resistencia a flexión, en ausencia de esfuerzo cortante, es la recogida en la Ecuación 1,

$$M_{E,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Ecuación 1. Comprobación de resistencia a flexión}$$

Siendo

$M_{Ed}$  El máximo momento que sollicita a la viga.

$M_{c,Rd} \equiv M_{pl,Rd}$  Momento resistente plástico para secciones clase 1 y 2

$M_{c,Rd} \equiv M_{el,Rd}$  Momento resistente elástico para secciones clase 3

### 4.2 Predimensionado a deformación

El DB SE se establecen, en el epígrafe 4.3 las verificaciones de la aptitud al servicio, siendo necesario realizar tres comprobaciones con distintas combinaciones de carga y distintos valores admisibles.

### 4.2.1. Condición 1: Para la integridad de los elementos constructivos.

La limitación de flecha producida por la combinación característica de acciones es:

$$\begin{aligned} f_{max} < L/500 & \text{ pavimentos rígidos sin juntas y tabiques frágiles} \\ f_{max} < L/400 & \text{ tabiques ordinarios y pavimentos rígidos con juntas} \\ f_{max} < L/300 & \text{ resto de casos} \end{aligned}$$

Siendo L la luz de la viga (distancia entre apoyos) y la combinación característica la recogida en la Ecuación 2

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ecuación 2. Combinación característica de acciones}$$

### 4.2.2. Condición 2: Para el confort de los usuarios.

Esta comprobación se debe hacer cuando sobre la viga está previsto que en algún momento haya usuarios. No se comprobará en vigas de cubierta. La limitación de flecha producida por la combinación característica de acciones recogida en la Ecuación 2, es:  $f_{max} < L/350$

### 4.2.3. Condición 3: Para la apariencia de la obra.

En este caso la limitación de la flecha producida por la combinación casi permanente de acciones es:  $f_{max} < L/300$

Siendo la combinación casi permanente de acciones la recogida en la Ecuación 3

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ecuación 3. Combinación casi permanente de acciones}$$

## 5 Comprobaciones correspondientes a ELU

### 5.1 Resistencia de la sección

**Resistencia frente a momento flector:** La condición de resistencia a flexión, en ausencia de esfuerzo cortante, corresponde a la expresión de la Ecuación 1. Dado que hay ocasiones en las que no se realiza el predimensionado del epígrafe 4.1, (cuando se trata de una peritación) para facilitar la aplicación de las condiciones a cumplir, se repite en la Ecuación 4, la condición de resistencia a flexión:

$$M_{E,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Ecuación 4. Comprobación de resistencia a flexión}$$

Siendo

$M_{Ed}$  El máximo momento que solicita a la viga.

$M_{c,Rd} \equiv M_{pl,Rd}$  Momento resistente plástico para secciones clase 1 y 2

$M_{c,Rd} \equiv M_{el,Rd}$  Momento resistente elástico para secciones clase 3

**Resistencia frente a esfuerzo cortante:** La condición a cumplir es, para las secciones clase 1,2 y 3, la recogida en la Ecuación 5.

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} \quad \text{Ecuación 5. Resistencia a cortante}$$

Siendo

$V_{Ed}$  El máximo cortante que solicita a la viga.

$V_{pl,Rd}$  El cortante resistente plástico del perfil. En los casos habituales, en que los que la dirección de las cargas es paralela al alma, coincide con la resistencia a cortante del alma, tabulada habitualmente en los prontuarios como  $V_{pl,y,Rd}$

**Interacción momento flector - esfuerzo cortante:** La comprobación de la resistencia a flexión de la Ecuación 4 supone la ausencia de cortante en la sección comprobada. Sin embargo, en determinados casos de carga, por ejemplo el de la Figura 1, algunas de las secciones a comprobar están solicitadas a flexión y cortante simultáneamente (En el ejemplo la sección B)

Para dichas situaciones, el DB SE Acero establece que, puede no tenerse en cuenta la interacción del flector con el cortante, si el cortante solicitación en la sección objeto de análisis no supera el 50% del cortante resistente plástico de perfil dispuesto.

Si por el contrario, el cortante a considerar supera el 50% del cortante resistente plástico de la sección a comprobar, se debe tener en cuenta la interacción flector cortante, siendo la condición de resistencia a flexión, en ese caso, igual a la de la Ecuación 6.

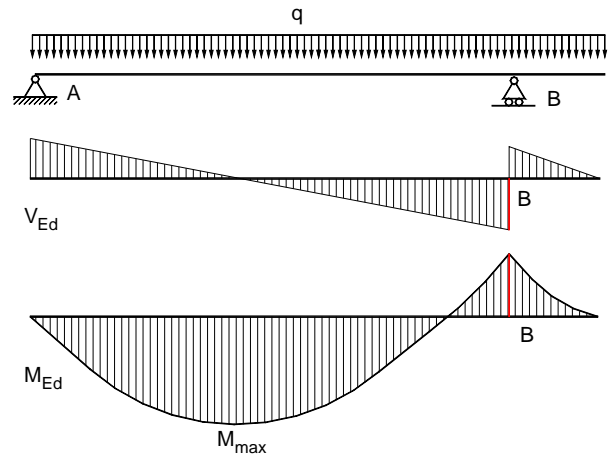


Figura 1. Diagramas de solicitaciones

$$\text{Si } V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \Rightarrow M_{Ed} \leq M_{v,Rd} = \left( W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde  $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$  y  $A_v$  es el área eficaz a cortante del perfil dispuesto y  $t_w$  el espesor del alma.

**Resistencia frente a axil:** Si la viga, además de estar solicitada a flexión, está solicitada a axil, éste podrá no tenerse en cuenta si su valor no supera el 50% de la resistencia plástica a axil de la sección eficaz frente a esfuerzo cortante del perfil dispuesto.

Es decir, se puede desprestigiar si se cumple la condición de la Ecuación 7.

$$N_{Ed} \leq 0,5 \cdot A_v \cdot f_{yd} \quad \text{Ecuación 7}$$

## 5.2 Resistencia de la sección frente al pandeo lateral

La condición para que la viga no pandee lateralmente es que el momento solicitación ( $M_{Ed}$ ) sea menor al momento resistente a pandeo lateral ( $M_{b,Rd}$ ), cuyo valor se muestra en la Ecuación 8

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde  $f_y$  es el límite elástico del acero del perfil

$W_y \equiv W_{pl,y}$  Módulo resistente plástico para secciones clase 1 y 2, ó

$W_y \equiv W_{el,y}$  Módulo resistente elástico para secciones clase 3

$\gamma_{M1} = 1,05$  Coeficiente reductor de resistencia para inestabilidad

El coeficiente de pandeo lateral,  $\chi_{LT}$ , se obtiene a partir de la esbeltez lateral reducida,  $\bar{\lambda}_{LT}$  en la curva de **pandeo a** (Todos los perfiles de las series IPE e IPN cumplen la relación  $h/b \leq 2$ , que es la condición establecida en el DB SE A para utilizar la curva de pandeo a. Las curvas de pandeo –tabla 6.3 del DB SE A- se han incluido en el anejo 1 de este documento)

$\bar{\lambda}_{LT}$  se calcula tal y como indica la ecuación 9. Su valor depende del momento crítico a pandeo lateral calculado según la ecuación 10.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

$M_{LT,v}$  y  $M_{LT,w}$  son las dos componentes del momento crítico a pandeo lateral que representan la resistencia por torsión uniforme y no uniforme de la barra respectivamente, calculadas a partir de las expresiones de las ecuaciones 11 y 12.

$$M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}; \quad \text{o lo que es lo mismo} \quad M_{LT,v} = b_{LT,v} \cdot \frac{C_1}{L_c} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot i_{f,z}^2 \quad \text{o lo que es lo mismo} \quad M_{LT,w} = b_{LT,w} \cdot \frac{C_1}{L_c^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

Siendo  $L_c$ , la distancia entre puntos de arriostramiento transversal,

$b_{LT,v}$  y  $b_{LT,w}$  los coeficientes de pandeo lateral con torsión uniforme y no uniforme respectivamente. Su valor, que depende de la geometría de la sección, se ha calculado para los perfiles de la serie IPE e IPN en las tablas del anejo 2 de este documento)

El coeficiente  $C_1$  se obtiene en la *tabla 1*, a partir del diagrama de momentos flectores y de las condiciones de enlace de la barra.

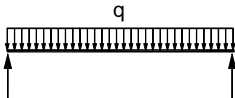
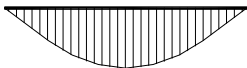
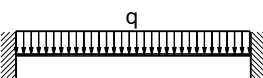
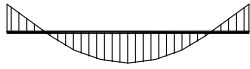
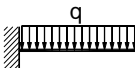



Condiciones de carga y apoyo	Diagrama de momentos flectores	k	C <sub>1</sub>
		1,0 0,5	1,13 0,97
		1,0 0,5	1,28 0,71
		1,0	1,30
		1,0	2,05

Tabla 1. Coeficientes C<sub>1</sub> de pandeo lateral

Si no se cumple la condición de la Ecuación 8, la estrategia a seguir consiste reducir  $L_c$ , añadiendo más puntos de arriostramiento transversal.

### 5.3 Resistencia frente a la abolladura del alma

Considerando inicialmente que no hay rigidizadores en la viga, la condición para que no se produzca este efecto es:

$$\frac{d}{t_w} \leq 70 \cdot \varepsilon \quad \text{Ecuación 13}$$

Siendo  $d$  y  $t_w$  el canto y espesor del alma del perfil respectivamente, tal y como se indica en la Figura 2.

Si se disponen rigidizadores, la condición a considerar es:

$$\frac{d}{t_w} \leq 30 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau} \quad \text{Ecuación 14}$$

donde  $k_\tau$  es el coeficiente de abolladura, de valor 5,34 para vigas rigidizadas sólo en los apoyos. Para otra disposición de rigidizadores, el coeficiente  $k_\tau$  depende de las dimensiones del recuadro entre rigidizadores, y su valor se puede obtener en el artículo 6.3.3.4 del DB-SE Acero.

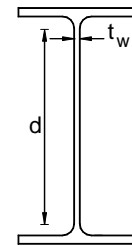


Figura 2. Dimensiones de la sección

### 5.4 Efectos locales: cargas concentradas

La resistencia del alma de la viga frente a cargas puntuales,  $R_{b,Rd}$  es igual a la resistencia a pandeo en compresión simple del tramo de alma afectado, considerado como un soporte corto:

$$R_{b,Rd} = N_{b,Rd} = \frac{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{Ecuación 15}$$

La sección resistente del alma, representada en la figura 3, está formada por una anchura de  $10 \cdot t_w \cdot \varepsilon$  a cada lado de la carga puntual.

Las propiedades geométricas de dicha sección son:

$$A = 20 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot t_w; \quad I_{\min} = \frac{20 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot (t_w)^3}{12}; \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{(t_w)^2}{12}}$$

La longitud de pandeo a considerar es el 80% del canto del alma ( $0,8 \cdot d$ ) Siendo  $d = h - 2 \cdot t_{fb} - 2 \cdot r$

La porción de alma a analizar en compresión simple se muestra en la Figura 4.

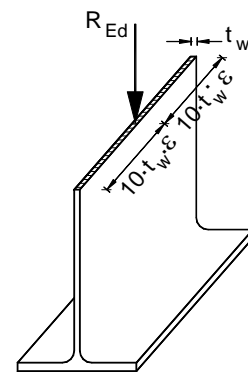


Figura 3. Sección resistente

Por tanto, la longitud de pandeo será:

$$L_k = 0,8 \cdot (h - 2 \cdot t_{fb} - 2 \cdot r)$$

La esbeltez máxima de la sección es igual a:

$$\lambda_{\max} = \frac{L_k}{i_{\min}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Y la esbeltez reducida, para acero S 275:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{\max}}{86,8} \quad \text{Ecuación 17}$$

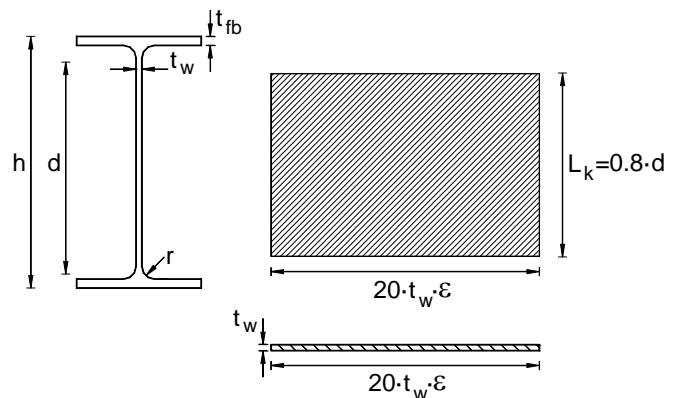


Figura 4. Porción de alma objeto de cálculo

Para obtener el valor de  $\chi_{\min}$  a partir de la esbeltez reducida obtenida en la Ecuación 17 se utiliza siempre la curva de pandeo c:  $\bar{\lambda} \xrightarrow{\text{curva c}} \chi_{\min}$

$f_y$  es el límite elástico del acero,  $\gamma_{M1} = 1,05$  y el coeficiente de minoración para fenómenos de inestabilidad,

Una vez obtenida la carga de agotamiento del alma de la viga frente a cargas puntuales,  $R_{b,Rd}$ , si ésta es menor a la carga puntual que la solicita ( $R_{Ed}$ ) NO es necesario rigidizar ya que el alma aguanta las cargas puntuales. En caso contrario, si  $R_{Ed} > R_{b,Rd}$  se debe rigidizar.

Los rigidizadores aumentan el área, la inercia y el radio de giro de la sección solicitada a compresión simple.

Los rigidizadores deberán tener un canto tal que quepan dentro del ala de la viga, es decir:

$$h_r \leq \frac{b - t_w}{2}$$

y el espesor,  $t_r$ , será igual al espesor de la chapa utilizada.

Dispuestos los rigidizadores, la sección resistente es la de la Figura 5, formada por el conjunto de parte del alma de la viga y los rigidizadores.

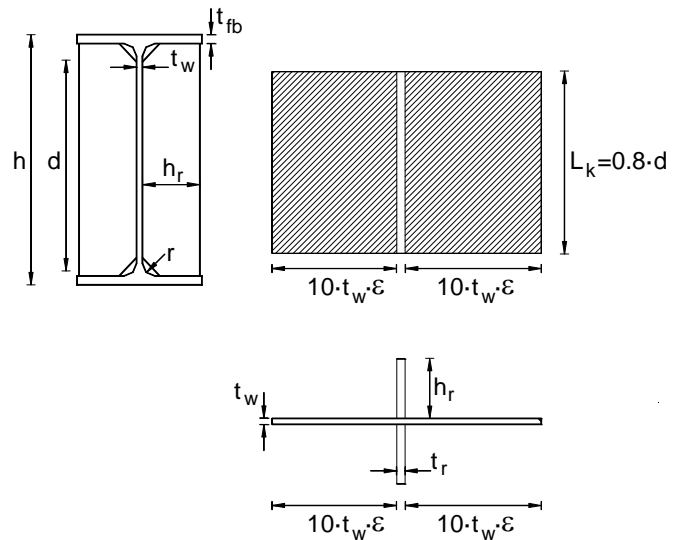


Figura 5. Alma rigidizada frente a las cargas puntuales

Es necesario calcular las propiedades geométricas de dicha sección cruciforme, y con ellas proceder a calcular de nuevo el coeficiente  $\chi_{min}$  necesario para obtener el valor de la carga de agotamiento del alma de la viga frente a cargas puntuales.

## 6 ESTADOS LIMITE DE SERVICIO

### 6.1 Comprobación de flecha:

Si se ha hecho el predimensionado a deformación, esta condición ya está comprobada.

Si por el contrario se trata de una peritación (no se ha realizado el predimensionado) se deben comprobar las condiciones del apartado 2.1

### 6.2 Vibración:

Se refiere a las vibraciones que puede originar sobre las estructuras el movimiento de las personas. Se deben considerar dos casos:

1. Se trata de una viga de cubierta accesible solo para mantenimiento, no es necesario hacer la comprobación.
2. Se trata de una viga sobre la que se coloca un forjado con uso para las personas. Dado que para evaluar la frecuencia de oscilación es necesario conocer las características del forjado (tipo y disposición de correas, canto de la losa, calidad del hormigón...) características que normalmente se desconocen cuando se están dimensionando las vigas de acero, se utiliza el criterio propuesto por una de las primeras versiones del EC3 que considera innecesario comprobar la vibración cuando la carga permanente es superior a 150 kN por viga.

## 7 Conclusión

A lo largo de este artículo se han particularizado las comprobaciones generales correspondientes a los Estados Límite Últimos y Estados Límite de Servicio de las vigas solicitadas a flexión.

En este proceso se puede observar que, partiendo de un perfil determinado, resultado del predimensionado a resistencia y deformación, se realizan las distintas comprobaciones establecidas en el Documento Básico SE A Acero.

Cuando en este proceso alguna de las comprobaciones no se cumple, será necesario aumentar los puntos de arriostramiento transversal de la viga (si no cumple a pandeo lateral) o rigidizar el alma frente a las cargas puntuales, pero siempre sobre el perfil elegido inicialmente tras el predimensionado. Es decir, el perfil que se obtiene en el predimensionado, con mas o menos refuerzos, es el perfil definitivo.

## 8 Ejercicio propuesto

Como actividad complementaria se propone al alumno dimensionar frente a Estados Límite Últimos la viga ABC de la Figura 6, con un perfil de serie IPE de acero S 275 considerando que las cargas ya están mayoradas y que sobre las vigas se coloca un forjado de hormigón que las arriostra de forma continua.

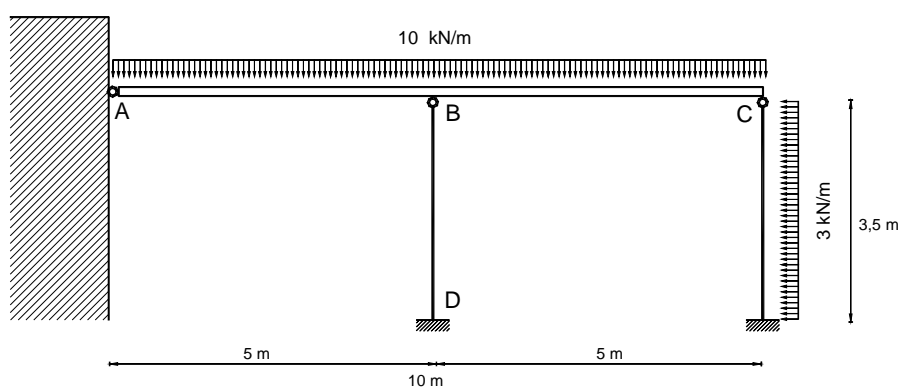


Figura 6. Estructura propuesta

Solución: Considerando la condición de resistencia a flexión se predimensiona el perfil con un IPE 160 de acero S 275 cuyo  $M_{pl,y,Rd} = 32 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed} = 31,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

El perfil IPE 160 predimensionado cumple la condición de resistencia a cortante, y no se tiene que tener en cuenta la interacción flector-cortante en el apoyo B al ser  $V_{Ed} < 50\% V_{pl,Rd}$ .

Dicho perfil cumple a abolladura, y no existe el riesgo de pandeo lateral al estar arriostrada transversalmente la viga en toda su longitud por el forjado de hormigón.

Por otro lado, la resistencia del alma del IPE frente a las cargas puntuales es de 72,2 kN, siendo la carga puntual a considerar en el apoyo B de 62,5 kN.



Al ser menor la reacción en el apoyo que la resistencia del alma frente a cargas puntuales, no es necesario rigidizar el alma del IPE 160 frente a este fenómeno.

Finalmente no se deben realizar las comprobaciones de flecha ni vibración ya que el enunciado especifica que se debe comprobar sólo frente a Estados Límite Últimos, cumpliendo el perfil IPE 160 de acero S 275 todas las condiciones establecidas por la normativa.

## 9 Bibliografía

### 9.1 Libros:

[1] MINISTERIO de la VIVIENDA: "Documento Básico SE-A Acero", Código Técnico de Edificación y "Documento Básico SE Seguridad Estructural", Disponible en: <http://www.codigotecnico.org>

[2] Monfort Leonart, J.: "Estructuras Metálicas en Edificación adaptado al CTE" Editorial Universidad Politécnica de Valencia ISBN 84-8363-021-4

[3] Ejemplos prácticos resueltos en "Problemas de estructuras metálicas adaptados al Código Técnico" capítulo 4. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Villora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-8363-322-9

### 9.2 Tablas y figuras

El contenido de la tabla 1. Coeficientes de momento equivalente corresponde con el de la tabla 6.10 del Documento Básico Seguridad Estructural Acero (primera referencia bibliográfica)

El contenido de la tabla 2. Coeficientes  $C_1$  para pandeo lateral se ha tomado de la tabla 4.4 del libro "Estructuras Metálicas en Edificación adaptado al CTE" (segunda referencia bibliográfica). Los valores de las dos primeras filas se han tomado del Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2008) y los de las dos últimas de "Structural Analysis and Design" R.L. Ketter, G.C. Lee, S.P. Prawel; Edit McGraw-Hill Book Company, 1979 –pag 455

El contenido de las tablas de coeficientes  $b_{LT,v}$  y  $b_{LT,w}$  del anejo 2 para los perfiles de la serie IPE e IPN, ha sido calculado por Guardiola Villora, A. con las expresiones indicadas.

Todos los dibujos incluidos en este documento han sido realizados por Guardiola Villora, A.

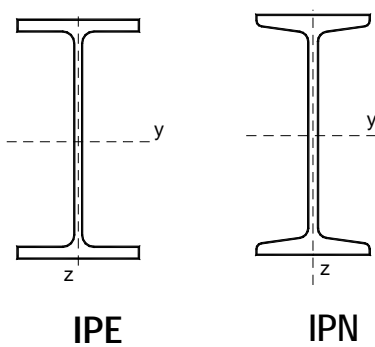
## Anejo 1. Curvas europeas de pandeo

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Coeficiente ( $\alpha$ ) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
≤ 0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 <sup>(1)</sup>	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 <sup>(1)</sup>	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 <sup>(1)</sup>	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 <sup>(2)</sup>	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 <sup>(2)</sup>	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

<sup>(1)</sup> esbeltez intolerable en los elementos principales  
<sup>(2)</sup> esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

## Anejo 2. TABLAS para los perfiles de la serie IPE, e IPN



$$b_{LT,v} = \pi \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$b_{LT,w} = W_{el,y} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot i_{f,z}^2$$

$i_{f,z}$  radio de giro respecto al eje z del ala comprimida + 1/3 del alma adyacente

**PERFILES IPE**

PERFIL	$i_y$ mm	$i_z$ mm	A mm <sup>2</sup>	$W_{pl,y} \times 10^3$ mm <sup>3</sup>	$b_{LT,v}$ $\times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$	$b_{LT,w}$ $\times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$
IPE 80	32,4	10,5	764	23,2	9 994	5 387
IPE 100	40,7	12,4	1030	39,4	17 897	12 918
IPE 120	49,0	14,5	1320	60,8	28 445	27 076
IPE 140	57,4	16,5	1640	88,4	42 974	51 333
IPE 160	65,8	18,4	2010	124	64 248	90 366
IPE 180	74,2	20,5	2390	166	90 121	149 134
IPE 200	82,6	22,4	2850	220	128 995	239 386
IPE 220	91,1	24,8	3340	286	176 678	377 941
IPE 240	99,7	26,9	3910	366	247 810	580 441
IPE 270	112	30,2	4590	484	335 251	968 287
IPE 300	125	33,5	5380	628	451 683	1 538 012
IPE 330	137	35,5	6260	804	610 245	2 224 702
IPE 360	150	37,9	7270	1020	807 215	3 195 858
IPE 400	165	39,5	8450	1310	1 063 933	4 507 677
IPE 450	185	41,2	9880	1700	1 373 321	6 351 658
IPE 500	204	43,1	11600	2200	1 791 060	8 911 695
IPE 550	223	44,5	13400	2780	2 349 973	12 191 912
IPE 600	243	46,6	15600	3520	3 068 100	16 745 269

**PERFILES IPN**

PERFIL	$i_y$ mm	$i_z$ mm	A mm <sup>2</sup>	$W_{pl,y} \times 10^3$ mm <sup>3</sup>	$b_{LT,v}$ $\times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$	$b_{LT,w}$ $\times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$
IPN 80	32,0	9,1	757	22,8	9 917	4 371
IPN 100	40,1	10,7	1060	39,8	18 769	10 723
IPN 120	48,1	12,3	1420	63,6	32 464	22 860
IPN 140	56,1	14,0	1820	95,4	52 476	44 000
IPN 160	64,0	15,5	2280	136	80 632	77 698
IPN 180	72,0	17,1	2790	187	118 567	130 820
IPN 200	80,0	18,7	3340	250	169 344	208 858
IPN 220	88,0	20,2	3950	324	233 807	320 913
IPN 240	95,9	22,0	4610	412	316 504	477 092
IPN 260	104	23,2	5330	514	417 784	672 790
IPN 280	111	24,5	6100	632	540 463	906 055
IPN 300	119	25,6	6900	762	680 716	1 201 890
IPN 320	127	26,7	7770	914	853 595	1 567 640
IPN 340	135	28,0	8670	1080	1 050 350	2 008 217
IPN 360	142	29,0	9700	1280	1 299 664	2 580 946
IPN 380	150	30,2	10700	1480	1 566 931	3 217 390
IPN 400	157	31,3	11800	1710	1 887 802	4 031 416
IPN 450	177	34,3	14700	2400	2 892 153	6 697 540
IPN 500	196	37,2	17900	3240	4 323 655	10 637 001
IPN 550	216	40,2	21200	4240	1 902 869	16 528 062
IPN 600	234	43,0	25400	5600	2 619 174	23 894 674