

**Dimensionado a pandeo de
soportes de acero secciones clase
1 y 2 solicitados a flexocompresión
con un $M_{z,Ed}$.**

Apellidos, nombre	Arianna Guardiola VÍllora (aguardio@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica del Medio Continuo y Teoría de Estructuras
Centro	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 del CTE) para comprobar los soportes de acero de sección abierta o cerrada, clase 1 y 2, con enlaces perfectos, solicitados a flexocompresión con un momento solicitación que produce flexiones alrededor del eje z, lo que comúnmente se representa por $M_{z,Ed}$

2 Introducción

El DB-SE A del CTE establece en su artículo 6.3.4.2 las comprobaciones de pandeo y pandeo por torsión a realizar en piezas solicitadas a flexocompresión esviada.

Dichas comprobaciones corresponden al caso general, simplificándose bastante cuando se trata de una sección clase 1 ó 2 solicitada a flexocompresión con un momento $M_{z,Ed}$.

La aplicación de dicha normativa a los casos habituales de soportes en edificación dimensionados con perfiles abiertos, series IPE, IPN y HEB y cerrados, tubulares cuadrados, rectangulares y de sección circular, clase 1 y 2 es el objeto de este artículo.

3 Objetivos

Cuando el alumno finalice la lectura de este documento será capaz de comprobar a pandeo y pandeo por torsión un soporte de acero con enlaces perfectos dimensionado con perfiles abiertos o tubulares de clase 1 ó 2 solicitado a flexocompresión con $M_{z,Ed}$.

4 Comprobaciones

4.1 Expresiones a utilizar

Si se considera que la sección es clase 1 ó 2, y que el momento flector es $M_{z,Ed}$, las expresiones propuestas por El DB-SE A del CTE en su artículo 6.3.4.2 se reducen a:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + 0,6 \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 1. Comprobación a pandeo

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 2. Comprobación a pandeo por torsión

En dichas ecuaciones N_{Ed} y $M_{z,Ed}$ son las solicitaciones, y A y $W_{pl,z}$ son el área y módulo resistente plástico respectivamente, cuyos valores, dependientes de la geometría de la sección, se obtiene en cualquier prontuario de perfiles metálicos. Por último f_{yd} es el límite elástico de cálculo (minorado) del acero de la barra a comprobar.

En los epígrafes siguientes se obtiene el valor de los coeficientes χ_y , χ_z , k_z y $C_{m,z}$ para los casos habituales en estructuras de edificación

4.2 Cálculo de los coeficientes

1. Los coeficientes reductores por pandeo, χ_y y χ_z se obtienen de la curva de pandeo correspondiente en función de la esbeltez reducida, obtenida a partir de los coeficientes β_y y β_z .

Los valores de β para los casos habituales de barras con enlaces perfectos que nos podemos encontrar se obtienen en el epígrafe 4.3 de este documento.

2. El valor de los coeficientes de momento equivalente $C_{m,z}$ depende de la distribución de momentos flectores. Su valor se obtiene en la *tabla 1*, salvo en aquellos casos en los que la longitud de pandeo es superior a la de la propia barra, siendo entonces el valor de $C_{m,z} = 0,9$ (corresponde a los casos en que $\beta = 2$)

Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de momentos	Factor de momento uniforme equivalente $C_{m,i}$ ($i = y, z$ o LT)	

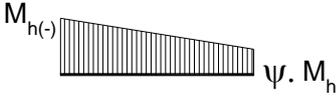
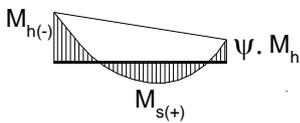
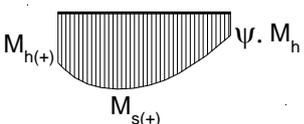
Momentos de extremo	
	$-1 \leq \psi \leq 1$ $c_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$
Momento debido a cargas laterales coplanarias	
	$c_{m,i} = 0,9$
	$c_{m,i} = 0,95$
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremo	
	$\alpha = M_s/M_h$ $c_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $-1 \leq \alpha \leq 0$ $c_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $0 \leq \alpha \leq 1$
	$\alpha_h = M_s/M_h$ $c_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$ con $-1 \leq \alpha_h \leq 1$

Tabla 1. Coeficientes del momento equivalente

3. El valor del coeficiente k_z se obtiene a partir de la ecuación 3 para secciones abiertas y la ecuación 4 para las cerradas, adoptando para $\bar{\lambda}_z$ el valor calculado en el

apartado 4.3.1 siempre que sea menor que la unidad. En caso contrario, se adoptará el valor 1.

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}}$$

Ecuación 3. Coeficiente k_z para secciones doble T abiertas

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}}$$

Ecuación 4. Coeficiente k_z para secciones huecas delgadas

4.3 Aplicaciones prácticas

En este epígrafe se presentan una serie de casos tipo de soportes clase 1 y 2, secciones abiertas o cerradas, solicitados a flexocompresión con un $M_{z,Ed}$, determinándose los valores a tener en cuenta en el cálculo de los coeficientes correspondientes.

4.3.1 SOPORTE BIARTICULADO EN LOS DOS PLANOS CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA

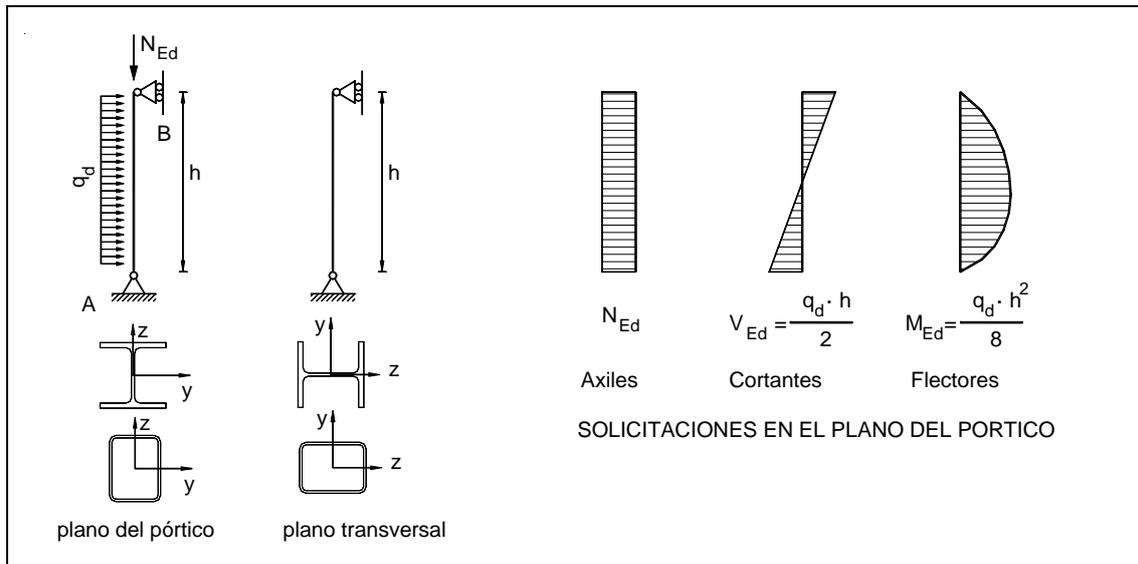


Figura 1. Soporte biarticulado en los dos planos

- Los coeficientes β a considerar son: $\beta_y = 1$; $\beta_z = 1$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, valor obtenido de la tabla 1.

La fila considerada se muestra en la figura 2.



Figura 2. Coeficiente C_m para soportes biarticulados en los dos planos

4.3.2 Soporte empotrado-apoyado en el plano del pórtico y empotrado-apoyado en el plano transversal con carga uniformemente repartida.

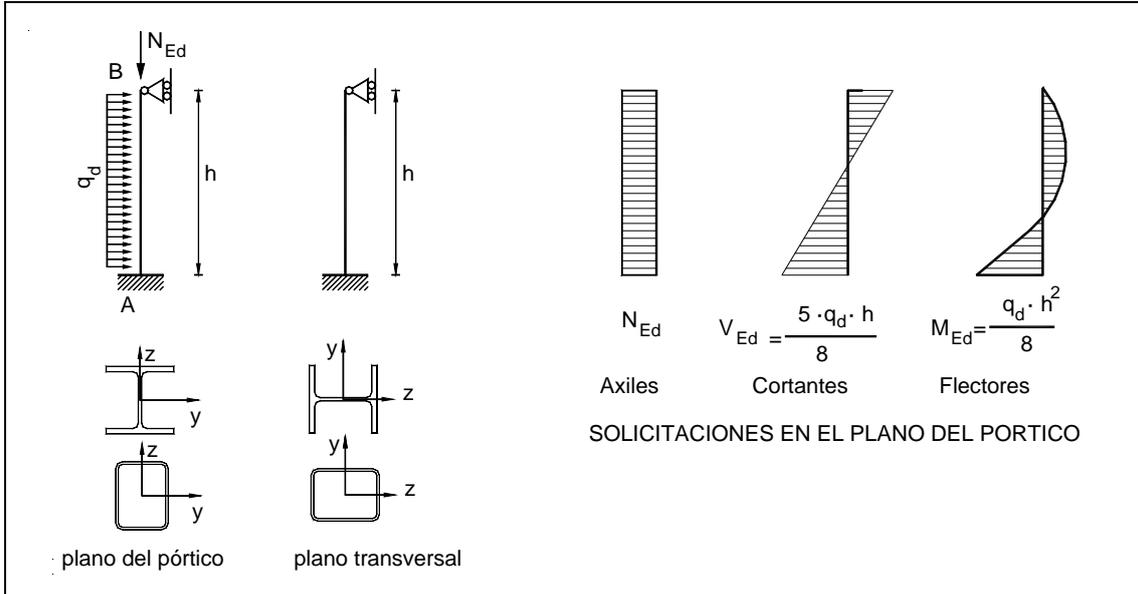


Figura 4. Soporte empotrado-apoyado en los dos planos

- Los coeficientes β a considerar son: $\beta_y = 0,7$; $\beta_z = 0,7$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,55$, valor obtenido a partir de las expresiones de la tabla 1 para $\alpha < 0$ tal y como indica la figura 5.

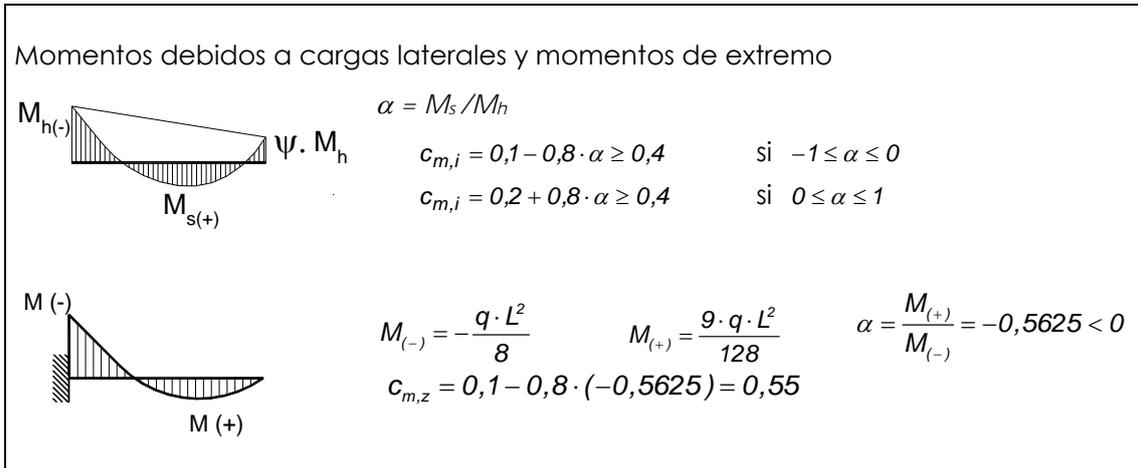


Figura 5. Coeficiente C_m para soportes empotrados-apoyados en ambos planos

4.3.3 SOPORTE EMPOTRADO LIBRE EN EL PLANO DEL PÓRTICO Y EMPOTRADO APOYADO EN EL PLANO TRANSVERSAL CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA

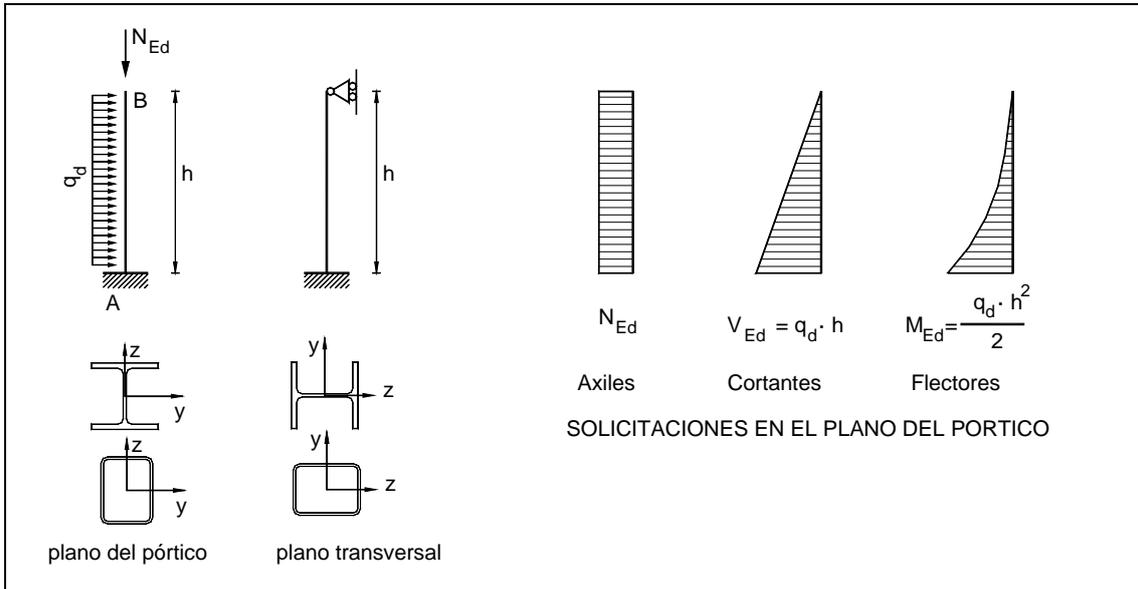


Figura 7. Soporte Empotrado-libre con carga uniformemente repartida

- Los coeficientes β son: $\beta_z = 2$; $\beta_y = 0,7$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = 2 \cdot h$

4.3.4 SOPORTE EMPOTRADO LIBRE EN LOS DOS PLANOS CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA

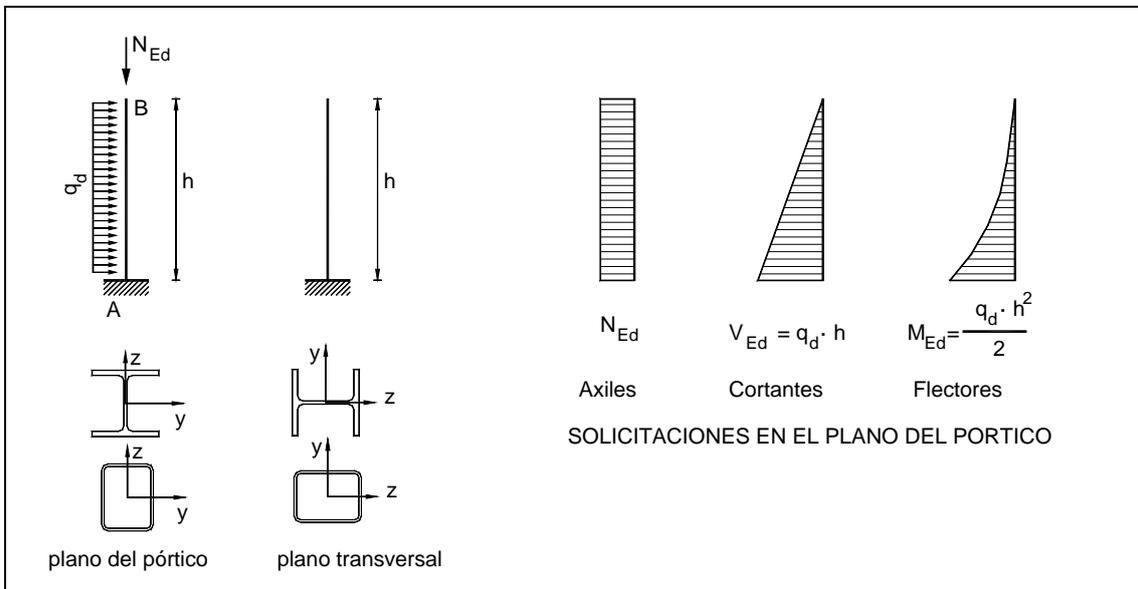


Figura 7. Soporte Empotrado-libre con carga uniformemente repartida

- Los coeficientes β son: $\beta_y = 2$; $\beta_z = 2$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = L_{ky} = 2 \cdot h$

4.3.5 SOPORTE EMPOTRADO LIBRE EN EL PLANO DEL PÓRTICO Y EMPOTRADO APOYADO EN EL PLANO TRANSVERSAL CON CARGA PUNTUAL

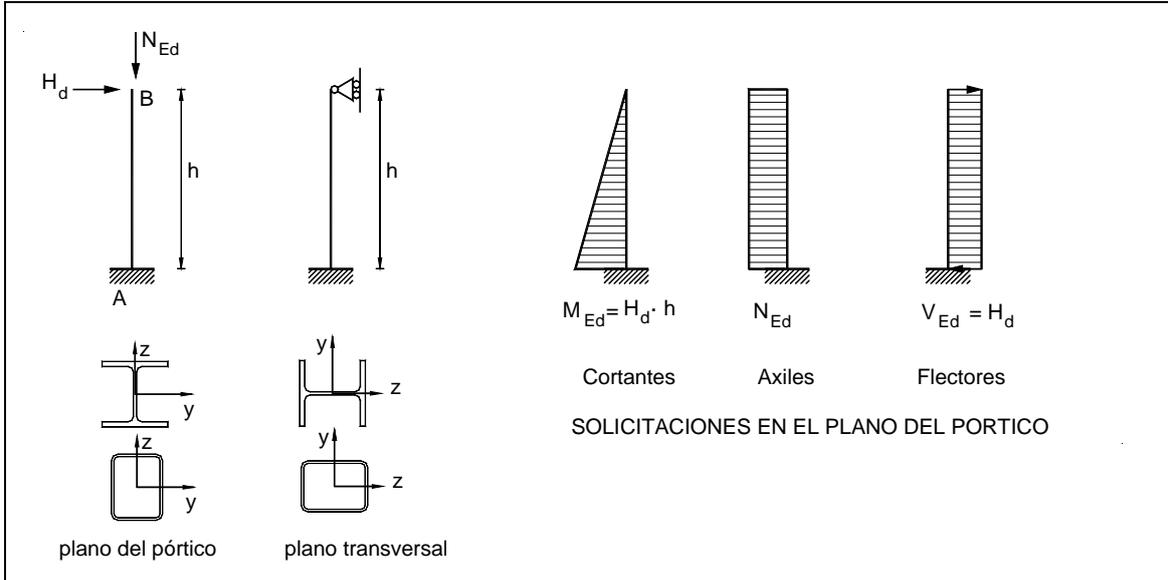


Figura 9. Soporte empotrado libre con carga puntual

- Los coeficientes β son: $\beta_z = 2$; $\beta_y = 0,7$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = 2 \cdot h$

4.3.6 SOPORTE EMPOTRADO LIBRE EN LOS DOS PLANOS CON CARGA PUNTUAL

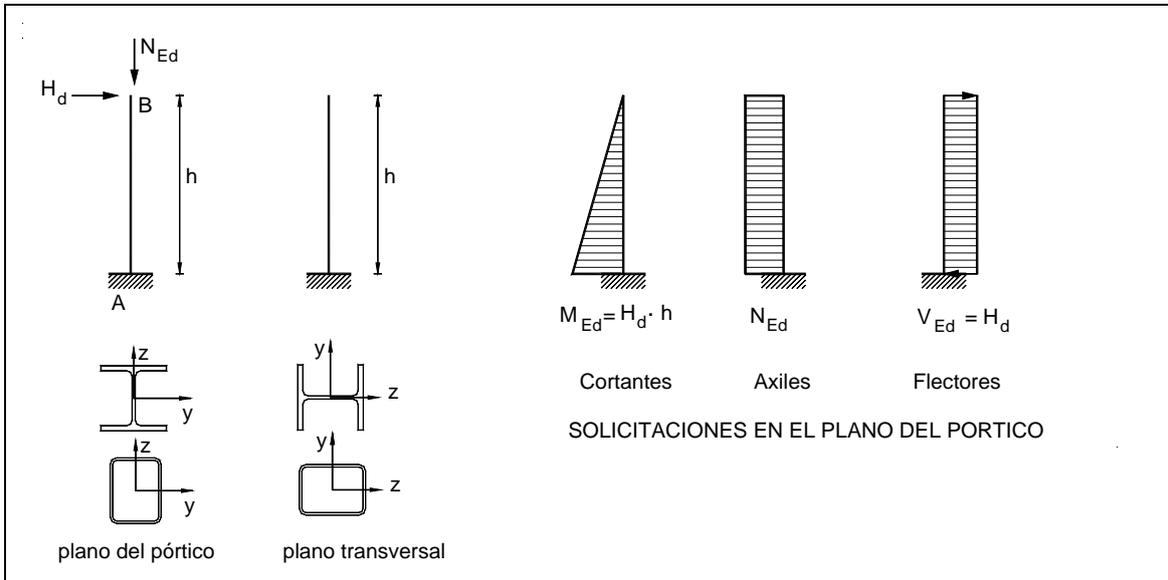


Figura 9. Soporte empotrado libre con carga puntual

- Los coeficientes β son: $\beta_y = 2$; $\beta_z = 2$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = L_{ky} = 2 \cdot h$

4.3.7 SOPORTE QUE RECIBE CARGA Y LA COMPARTE CON OTROS SOPORTES (COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES) EMPOTRADO LIBRE EN EL PLANO DEL PÓRTICO Y EMPOTRADO-APOYADO EN EL PLANO TRANSVERSAL

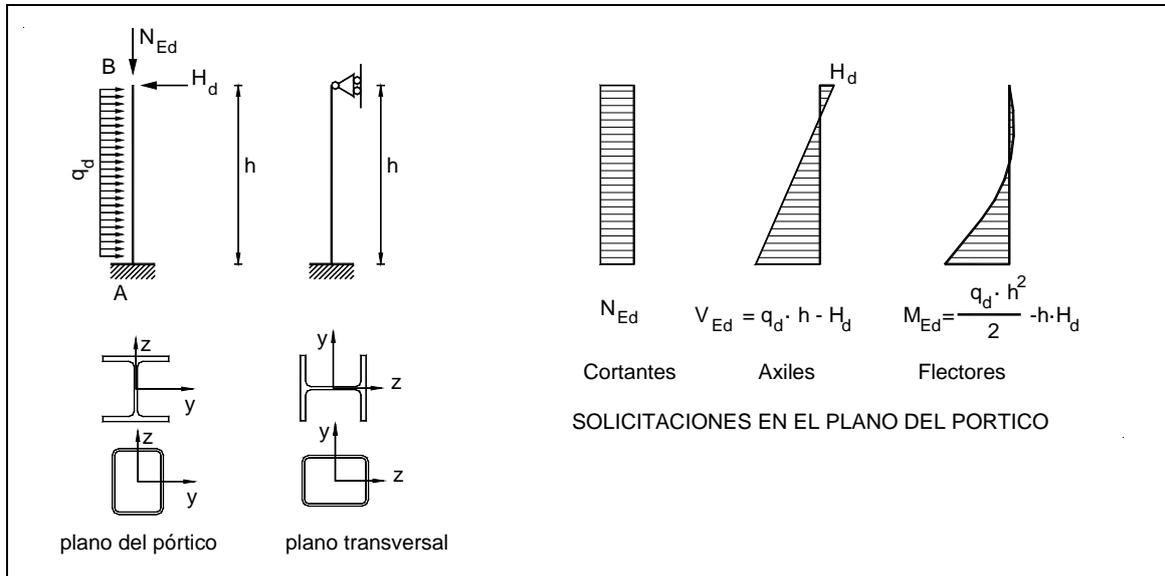


Figura 11. Soporte empotrado libre que comparte carga (compatibilidad de deformaciones)

- Los coeficientes β son: $\beta_z = 2$; $\beta_y = 0,7$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = L_{ky} = 2 \cdot h$

4.3.8 SOPORTE QUE RECIBE CARGA Y LA COMPARTE CON OTROS SOPORTES (COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES) EMPOTRADO-LIBRE EN LOS DOS PLANOS

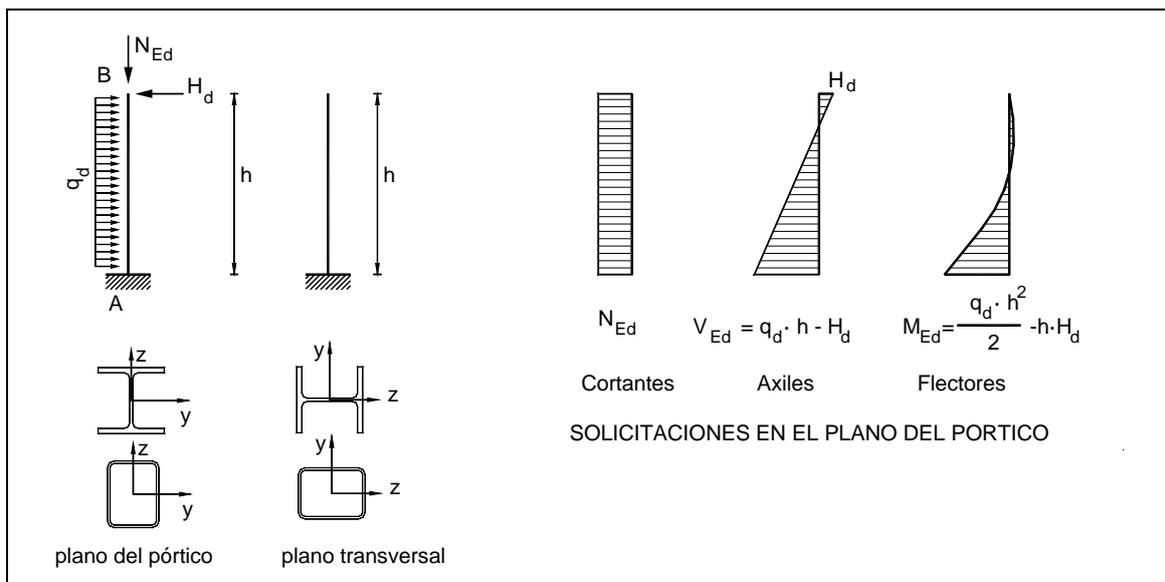


Figura 11. Soporte empotrado libre que comparte carga (compatibilidad de deformaciones)

- Los coeficientes β son: $\beta_y = 2$; $\beta_z = 2$
- El coeficiente de momento equivalente $C_{m,z} = 0,9$, al ser la longitud de pandeo superior a la de la barra ya que $L_{kz} = L_{ky} = 2 \cdot h$

5 Conclusión

A lo largo de este artículo se han particularizado las comprobaciones generales de pandeo y pandeo por torsión de las piezas de sección abierta clase 1 y 2 solicitadas a flexocompresión con un $M_{z,Ed}$ para ocho casos tipo de soportes en edificación con enlaces perfectos (casos habituales)

Como actividad complementaria se propone al alumno realizar las comprobaciones de pandeo y de pandeo por flexotorsión de un IPE 200 de 4 metros de longitud sobre el que actúa una carga uniforme de 2 kN/m y una carga puntual de 1 kN en cabeza de soporte, considerando los diferentes tipos de enlace analizados en los epígrafes 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4, con el objeto de concluir cual es la mejor situación posible para dicho soporte.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- [1] MINISTERIO de la VIVIENDA: "Documento Básico Seguridad Estructural, Acero", Código Técnico de Edificación. 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" capítulos 3 y 7. Autores: Monfort Leonart, J. Pardo Ros, J.L., Guardiola Villora, A. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-8363-322-9

6.2 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)

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

7 Solución al ejercicio propuesto

Siendo el IPE 200 de acero S 275 clase 1, la situación mas favorable para el soporte de 4 metros de longitud sobre el que actúa una carga uniforme de 2 kN/m y una carga puntual de 1 kN en la cabeza del mismo corresponde con el soporte empotrado-apoyado en los dos planos, siendo $\beta_y = \beta_z = 0,7$ y $c_{m,z} = 0,55$

Siendo el resultado de sustituir los valores correspondientes en la Ecuación 1:

$$\text{Comprobación a pandeo } \frac{1.000}{0,95 \cdot 746.428} + 0,6 \cdot 1,006 \cdot \frac{0,55 \cdot 4 \cdot 10^6}{57.619.047} = 0,02 < 1$$

Y en la Ecuación 2: Comprobación a pandeo por torsión

$$\frac{1000}{0,51 \cdot 746.428} + 1,006 \cdot \frac{0,55 \cdot 4 \cdot 10^6}{57.619.047} = 0,04 \leq 1$$