

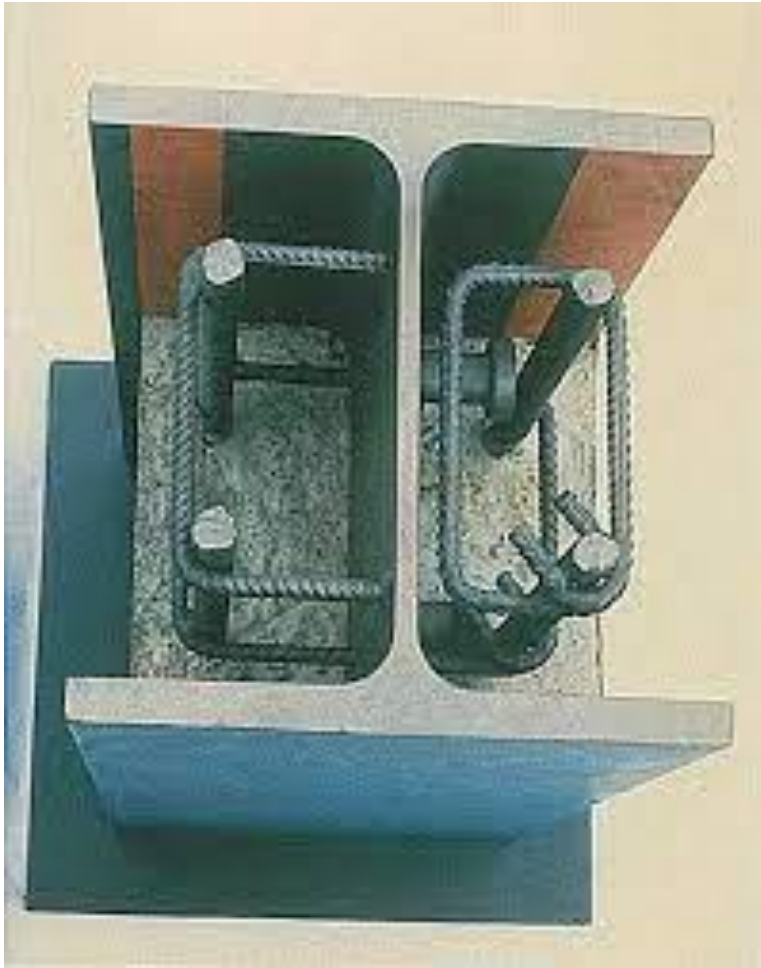
Pilares Mixtos

EC4:1-1 Sección 6.7

Índice

- Introducción: definición, ventajas, secciones
- Comprobaciones: pandeo local, rasante (introducción de las cargas o fuera de las zonas de introducción de cargas)
- Método simplificado: Resistencia de la sección mixta frente a cargas axiales, Interacción axil-flector, Esbeltez relativa de pilares mixtos, Pandeo de elementos mixtos comprimidos, Pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados
- Ejemplo

INTRODUCCIÓN



Sección Embebida parcialmente



Sección Rellena

Componentes: Armadura, Perfil de acero, Hormigón.

Tipos de secciones transversales de pilares mixtos

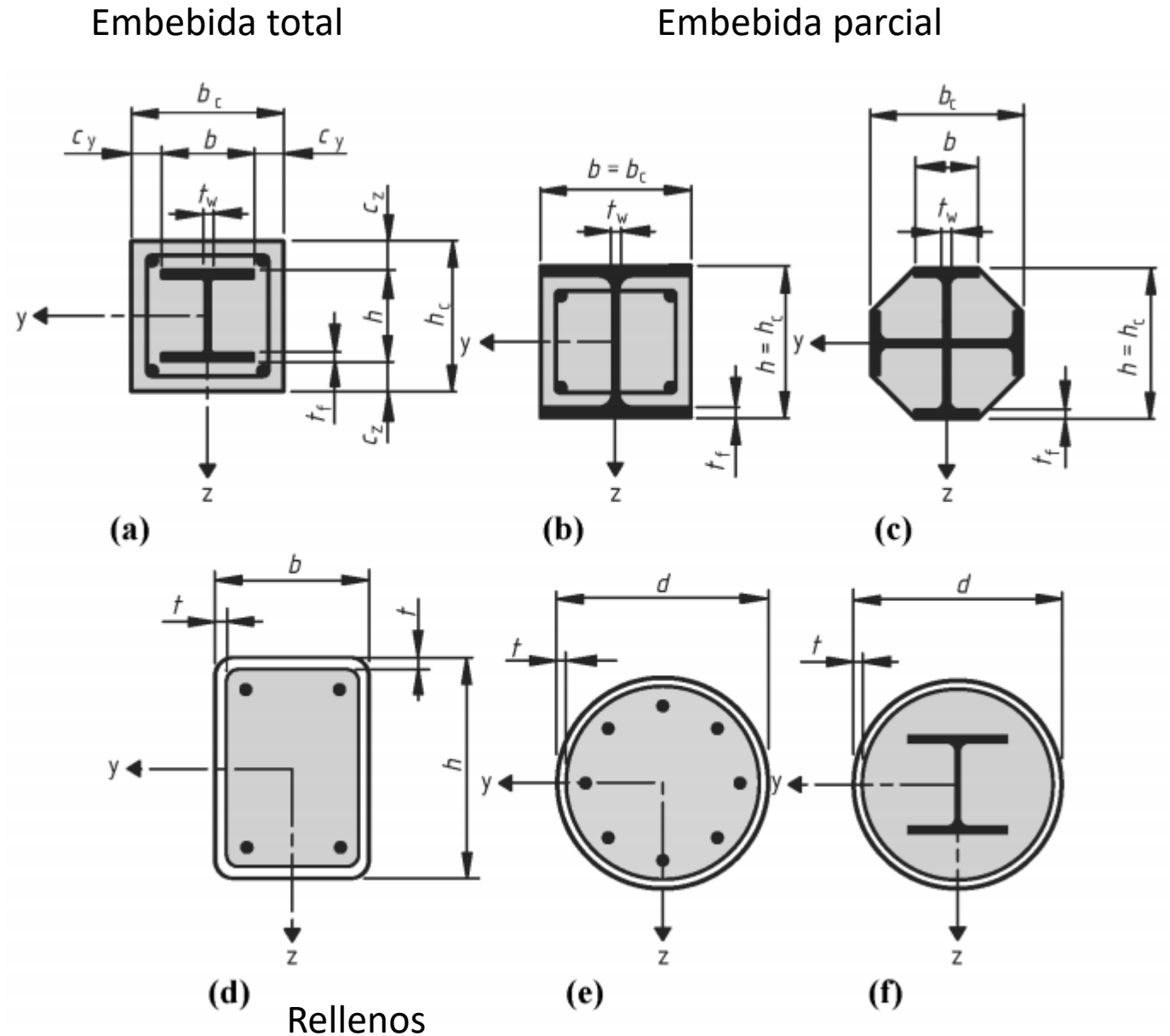


Figura 6.17 – Secciones tipo de pilares mixtos y símbolos

Ventajas

- Mayor rigidez y más resistencia a pandeo.
- Buena resistencia al fuego.
- Buena protección anticorrosión.
- Conexiones en la parte metálica fáciles.

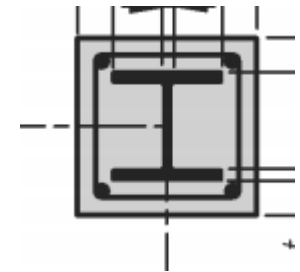
Comprobaciones

- ❖ Resistencia al pandeo local (abolladura) de los elementos de acero
- ❖ Rasante (introducción de las cargas o fuera de las zonas de introducción de cargas)

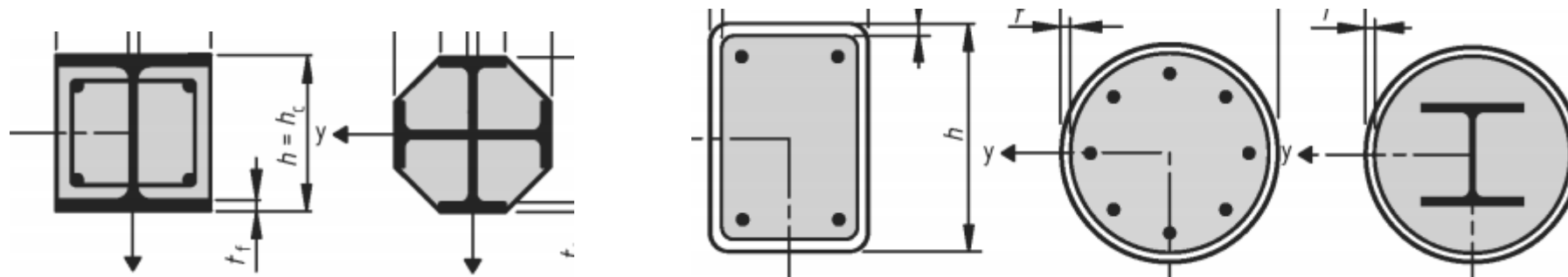
Pandeo local

- Tener en cuenta el pandeo local de los elementos de acero en el cálculo de la resistencia del pilar.

- Secciones totalmente embebidas: no aparece pandeo



- Secciones rellenas o parcialmente embebidas: Ignorar los efectos de pandeo local si se cumple unos límites de pandeo local.



Pandeo local

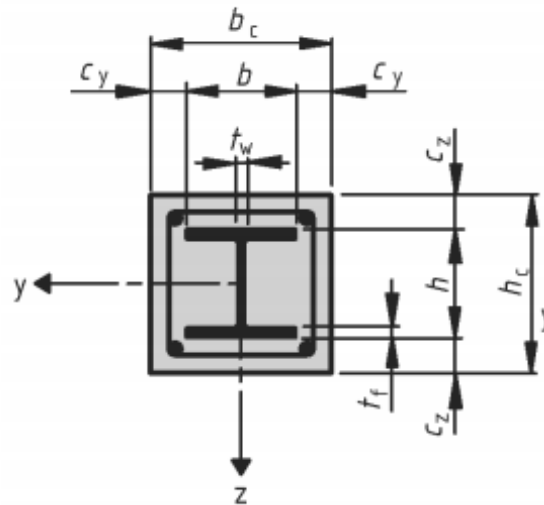
Sección transversal		Máx. (d/t), máx. (h/t) y máx. (b/t)
Sección de acero tubular circular		$\text{máx. } (d/t) = 90 \frac{235}{f_y}$
Sección de acero tubular rectangular		$\text{máx. } (h/t) = 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
Sección en doble T, parcialmente embebida		$\text{máx. } (b/t_f) = 44 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

- Si estos límites se superan, hay que tener en cuenta los efectos del pandeo local. Disponer de un diseño que proporcione suficiente seguridad frente al pandeo local (abolladura)

Rasante fuera de las zonas de introducción de cargas

- Comprobación de la rasante en la superficie de contacto hormigón-acero fuera de la zona de introducción de cargas cuando existan cargas transversales y/o momentos flectores.
- El valor de la rasante se puede determinar a partir de un análisis elástico (retracción, fluencia y fisuración).
- La resistencia de cálculo a esfuerzo rasante (τ_{Rd}), para acero sin pintar ni engrasar y libre de óxido se establece según la siguiente tabla:

Rasante fuera de las zonas de introducción de cargas



Tipología de la sección transversal	τ_{Rd} [MPa]
<p>Secciones de acero completamente embebidas.</p> <p>Siempre que:</p> <ul style="list-style-type: none"> – las secciones estén armadas longitudinal y transversalmente y tengan un recubrimiento mínimo de 40 mm. – las armaduras longitudinales y transversales sigan las especificaciones indicadas en §21.6 de este texto (o §6.7.5.2 del EC4) <p>Para recubrimientos mayores y cuantías suficientes, el valor de τ_{Rd} se puede aumentar hasta $\beta_c \tau_{Rd}$, siendo:</p> $\beta_c = 1 + 0.02c_z \left(1 - \frac{40}{c_z} \right) \leq 2.5$ <p>siendo c_z el recubrimiento nominal en mm (ver Figura 21.1.a)</p>	0.3
Secciones huecas circulares rellenas de hormigón	0.55
Secciones huecas rectangulares rellenas de hormigón	0.40
Alas de secciones parcialmente embebidas	0.20
Almas de secciones parcialmente embebidas	0.00

A menos

Resistencia de cálculo a esfuerzo rasante. (Fuente: Estructuras de Acero y Mixtas. Gil-Martín y Hernández-Montes)

Rasante fuera de las zonas de introducción de cargas

- En general, el cortante de cálculo V_{Ed} puede distribuirse en dos partes: una actuando sobre la sección de acero ($V_{a,Ed}$) y otra sobre la sección de hormigón ($V_{c,Ed}$):

$$V_{a,Ed} = V_{Ed} - \frac{M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$
$$V_{c,Ed} = V_{Ed} - V_{a,Ed}$$

con $M_{pl,a,Rd}$ y $M_{pl,Rd}$ los momentos plásticos resistentes de la sección de acero y mixta

Rasante fuera de las zonas de introducción de cargas

- Conectores soldados al alma de vigas en doble T (parcial o totalmente embebidas) se considera un suplemento de resistencia debido a las fuerzas de rozamiento que se desarrollan entre las alas de acero para impedir la expansión lateral del hormigón.
- Esta resistencia será de $\mu P_{Rd}/2$ ($\mu=0.5$ coef. rozamiento, P_{Rd} resistencia de un perno) en cada ala y por cada fila horizontal de conectadores.

Rasante fuera de las zonas de introducción de cargas

- La norma recomienda que no se sobrepase la distancia libre entre alas:

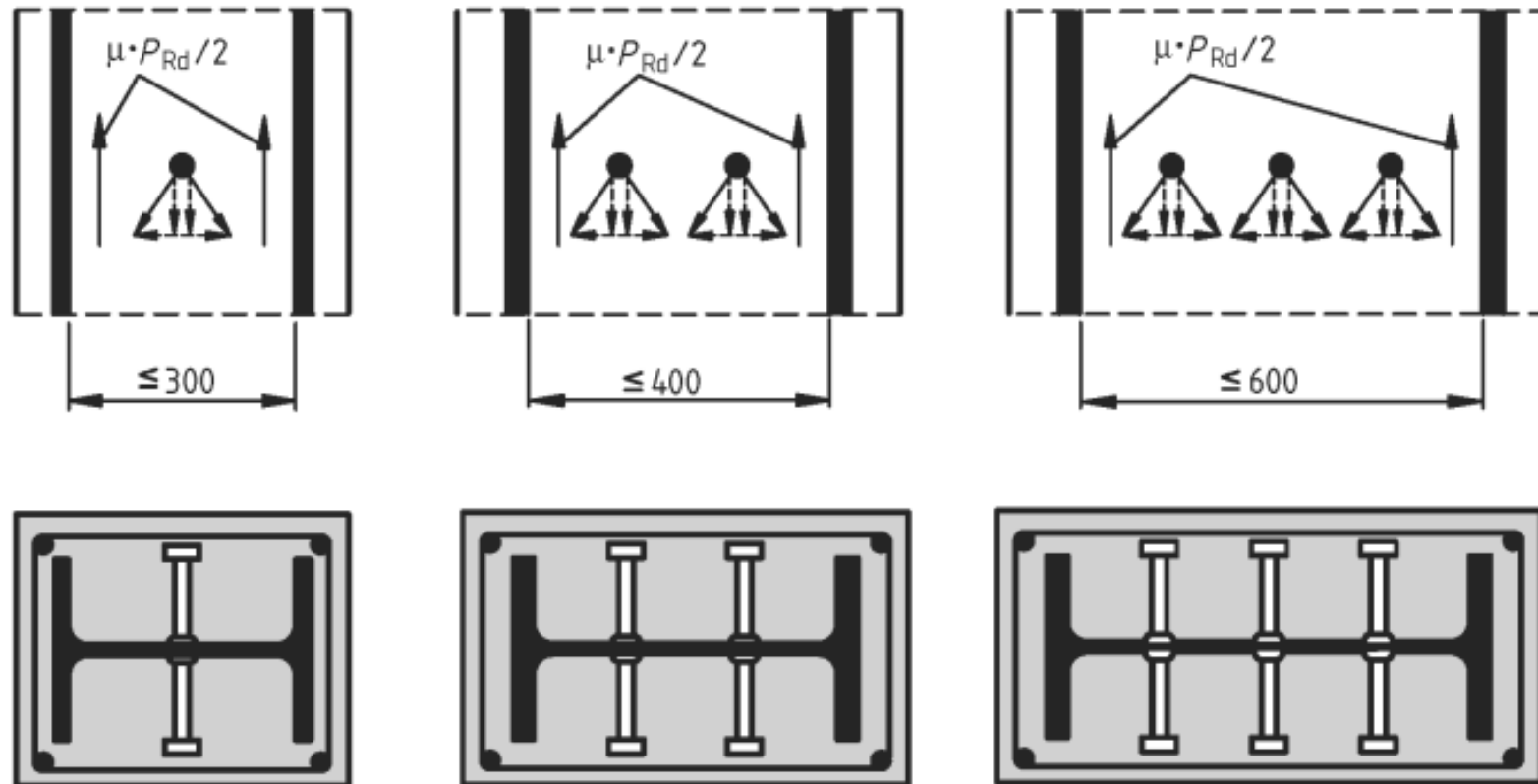


Figura 6.21 – Fuerzas de rozamiento adicionales en pilares mixtos por el uso de pernos con cabeza

Rasante en la zona de introducción de las cargas

- Se dispondrán conectadores en la zona de introducción de las cargas y en las zonas con cambio brusco de sección transversal si en la superficie de contacto hormigón-acero se supera el valor de la resistencia a **esfuerzo rasante** τ_{Rd} .
- La longitud de introducción de las cargas, sobre la que se calcula el valor del rasante, será menor o igual que $2d$ o $L/3$ (d dimensión transversal mínima del pilar; L longitud).

Rasante en la zona de introducción de las cargas

- Si la carga se introduce por chapas extremas cuya sección de contacto con el hormigón esté comprimida permanentemente (considerando fluencia y retracción), no es necesario garantizar la conexión a rasante.
- Si la sección transversal está parcialmente cargada (fig. 6.22), se debe hacer la comprobación a la introducción de cargas (EC4:1-1 Sección 6.7.4.2; EC2:1-1 Sección 6.7)

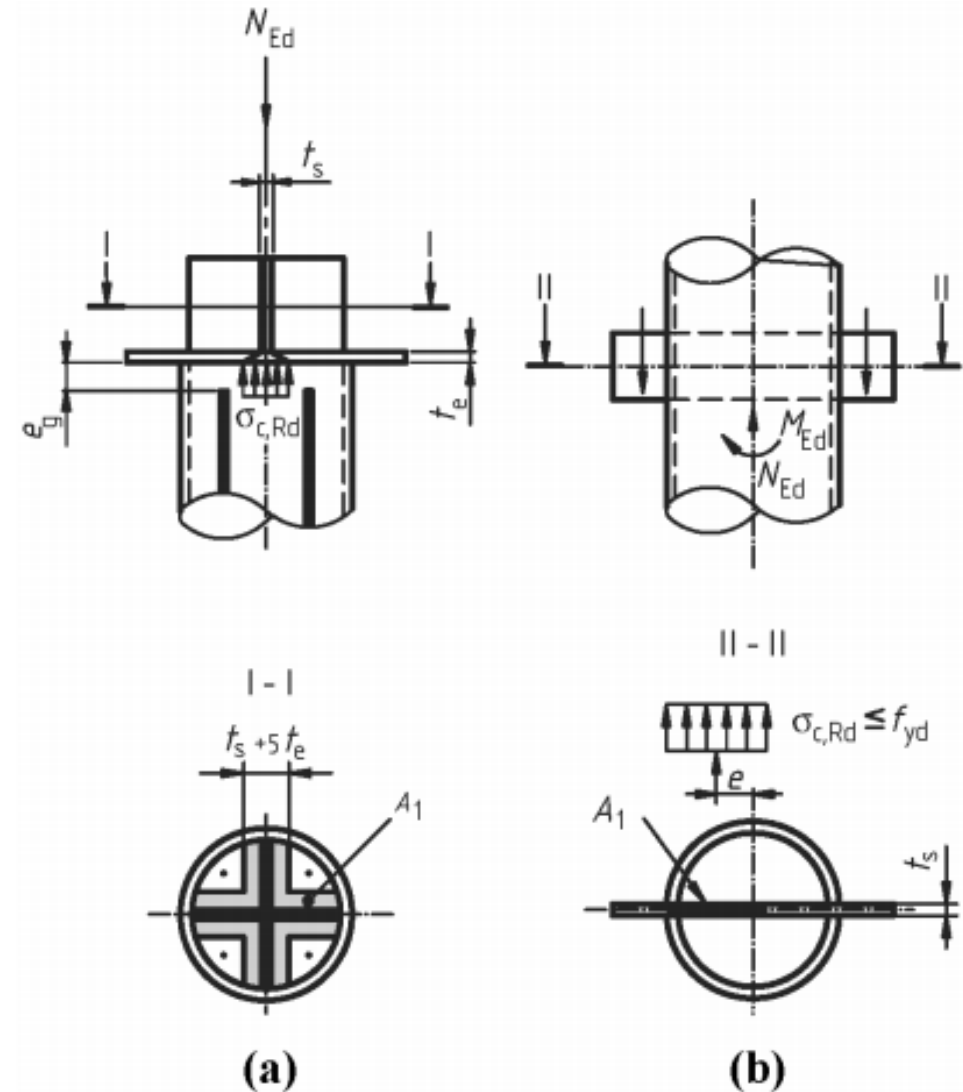


Figura 6.22 – Sección hueca circular rellena de hormigón parcialmente cargada

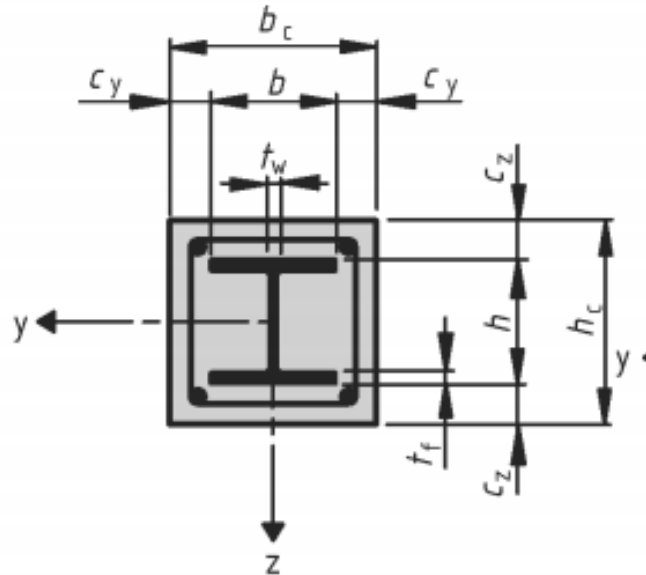
Métodos de cálculo

- Método simplificado: Elementos de sección doblemente simétrica y uniforme en toda su longitud
- Método general: Cualquier tipo de sección (incluye efectos de segundo orden y las imperfecciones)

Método simplificado de cálculo

➤ Campo de aplicación:

- ✓ Pilar de sección uniforme y doblemente simétrica.
- ✓ Factor de contribución del acero ($\delta = A_a f_{yd} / N_{pl,Rd}$), comprendido entre $0.2 \leq \delta \leq 0.9$
- ✓ Máximo valor del recubrimiento de hormigón en secciones totalmente embebidas:



$C_z = 0.3h$ (h canto del perfil metálico)

$C_y = 0.4b$ (b ancho del ala)

Método simplificado de cálculo

- ✓ La armadura longitudinal que se puede considerar en el cálculo no será mayor que el 6% del área de hormigón.
- ✓ La relación entre canto y ancho de la sección mixta estará entre 0.2 y 0.5.
- ✓ La esbeltez adimensional en el plano de flexión considerado no será mayor de:

$$\lambda \leq 2$$

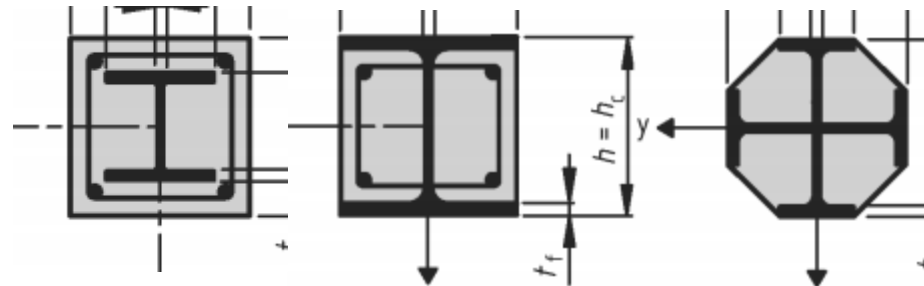
Método simplificado de cálculo

- Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a cargas axiales.
- Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a axil y flector
- Esbeltez relativa de pilares mixtos
- Comprobación de pandeo de elementos mixtos comprimidos
- Comprobación de pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados

□ Resistencia(plástica) de la sección mixta frente a cargas axiales

- La **resistencia plástica a compresión** $N_{pl,Rd}$ de una sección mixta es la suma de las resistencias de sus componentes (armadura, perfil metálico, hormigón)
- Para secciones embebidas (parcial o totalmente):

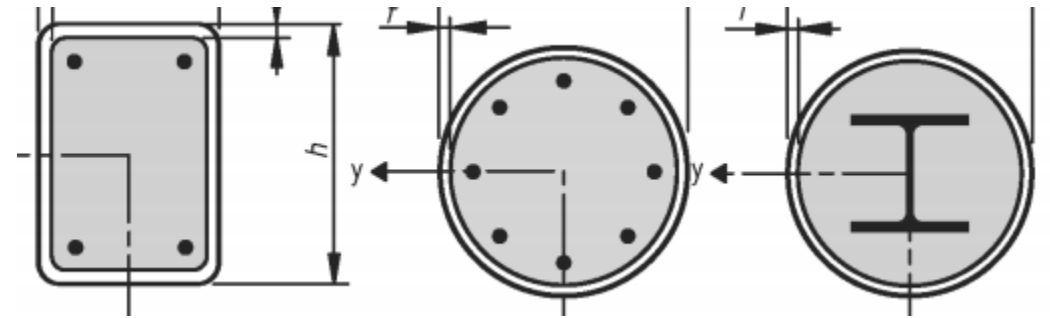
$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c 0.85 f_{cd} + A_s f_{sd}$$



Resistencia(plástica) de la sección mixta frente a cargas axiales

- Para tubos rellenos, el hormigón resiste más debido al efecto del confinamiento:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$



- Cuando el cortante sobre la sección de acero supera la mitad del cortante de agotamiento del perfil, se tendrá en cuenta la influencia del cortante reduciendo el límite elástico del acero del alma con:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \quad (1 - \rho) f_{yd}$$

Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a axil y flector

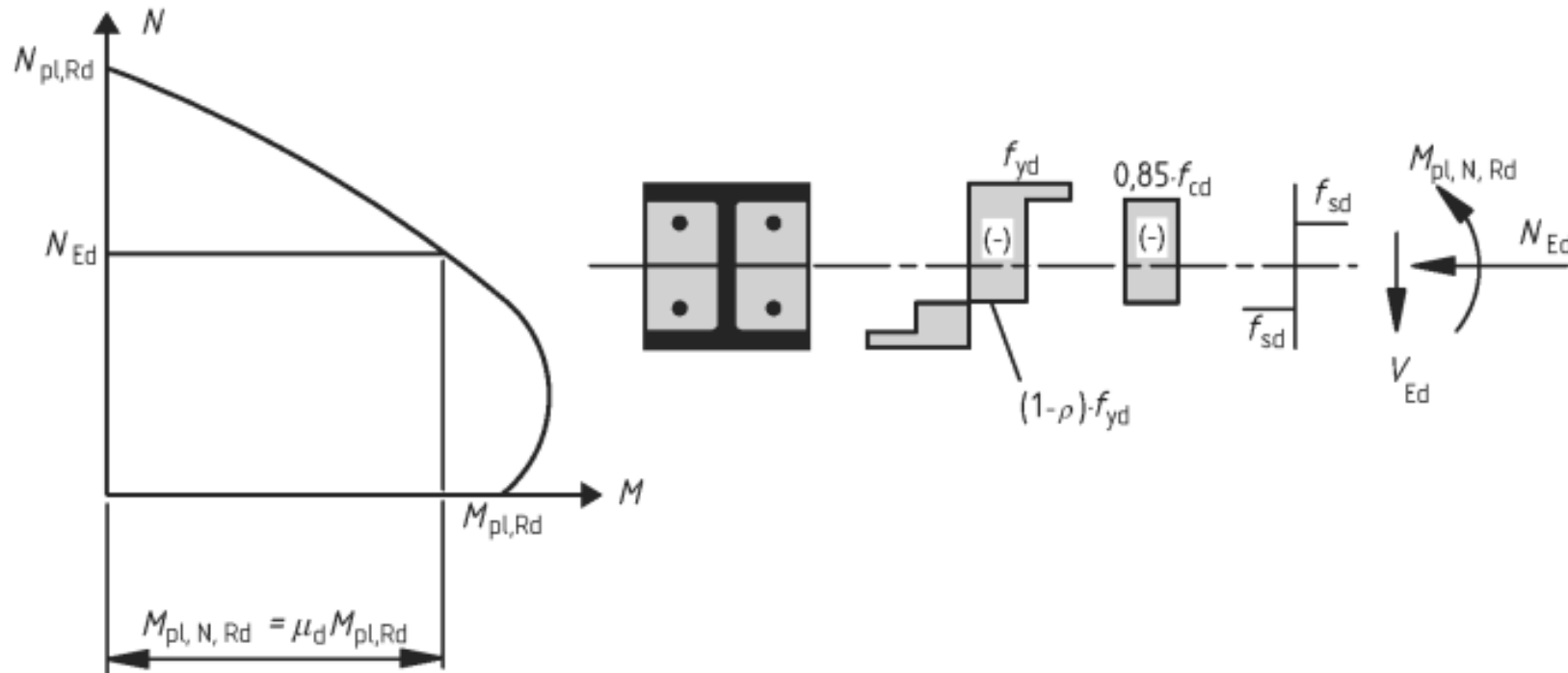


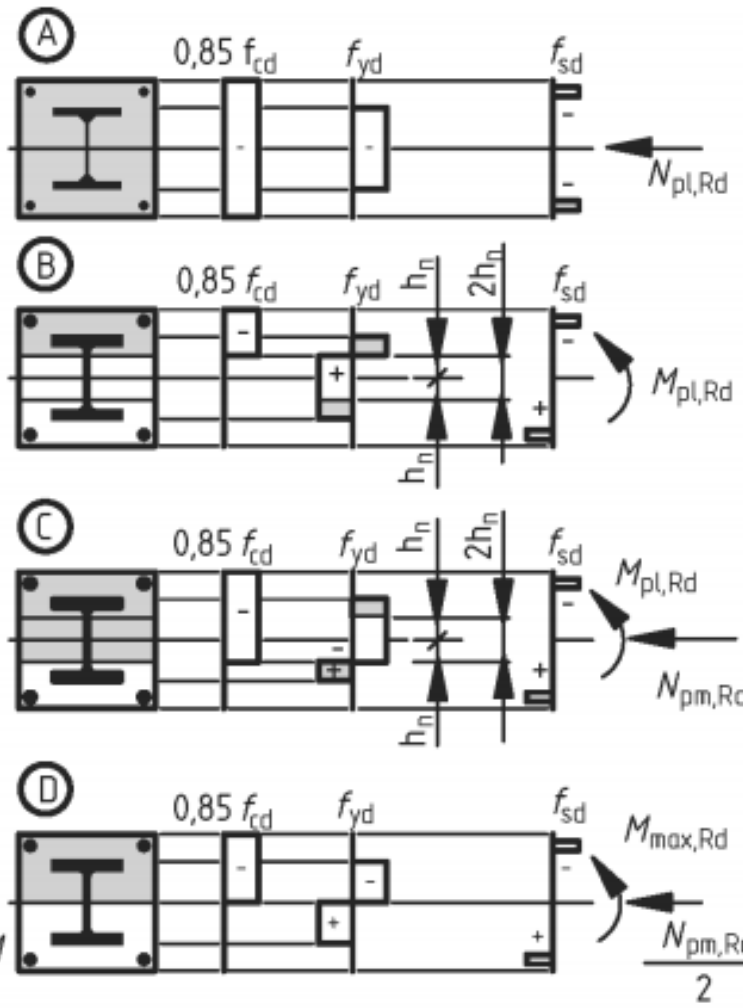
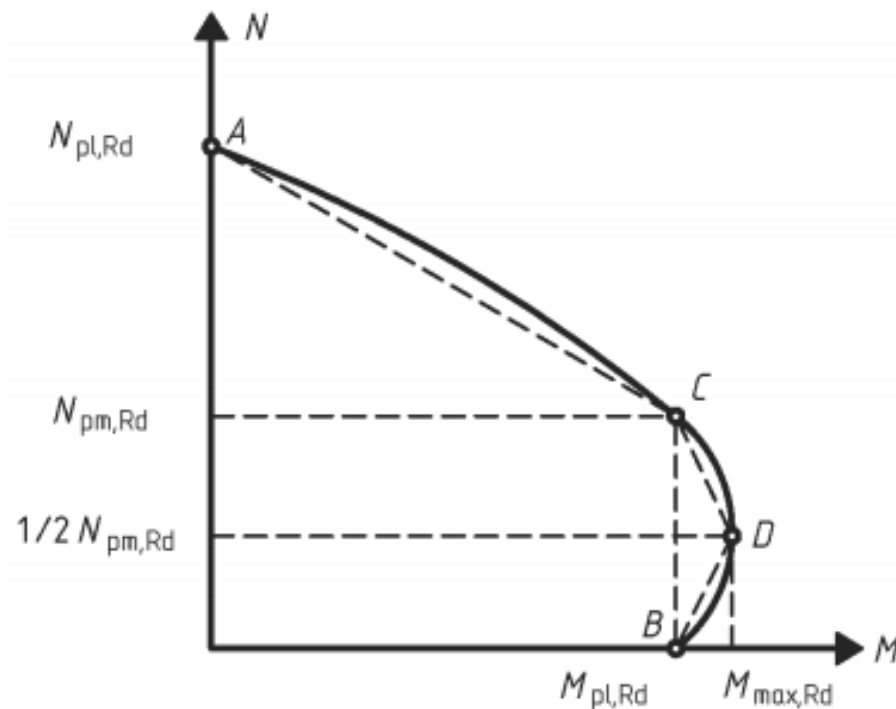
Figura 6.18 – Curva de interacción para una combinación de compresión y flexión uniaxial

- Hipótesis:
- Tener en cuenta la reducción por cortante (ρ)
 - Diagrama rectangular del hormigón
 - Ignorar la contribución del hormigón a tracción.

Los esfuerzos de cálculo (N_{Ed} , M_{Ed}) deben quedar dentro de la curva

Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a axil y flector

Diagrama poligonal de interacción N-M de un pilar mixto. Para obtener la capacidad, debe elaborarse un diagrama de tensiones en cada caso de axil-flector



Punto A: Compresión pura

$$N_A = N_{pl,Rd} \text{ y } M_A = 0$$

Punto B: Flexión pura

$$N_B = 0 \text{ y } M_B = M_{pl,Rd}$$

Punto C: Misma resistencia a flexión que el punto B pero con resultante a compresión

$$N_C = N_{pm,Rd} \text{ y } M_C = M_{pl,Rd}$$

Punto D: Máxima resistencia a flexión.

$$N_D = \frac{N_{pm,Rd}}{2}$$

$$M_D = W_{pl,a} f_{yd} + W_{pl,c} \alpha f_{cd} + W_{pl,s} f_{sd}$$

Figura 6.19 – Curva de interacción simplificada y sus distribuciones de tensiones correspondientes

Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a axial y flector

- Para tubos circulares rellenos de hormigón:

Confinamiento del hormigón



- ✓ Límite a la esbeltez relativa de la pieza: $\lambda \leq 0.5$
- ✓ Límite a la flexión que solicita al tubo: $e/d < 0.1$
con $e = M_{Ed}/N_{Ed}$, d diámetro exterior del tubo

La resistencia plástica a compresión se calcula:
$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd}$$

Si $e=0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_a = \eta_{a0} \text{ y } \eta_c = \eta_{c0} \\ \eta_{a0} = 0,25 (3 + 2 \bar{\lambda}) \quad (\text{pero } \leq 1,0) \\ \eta_{c0} = 4,9 - 18,5 \bar{\lambda} + 17 \bar{\lambda}^2 \quad (\text{pero } \geq 0) \end{array} \right.$$

Resistencia (plástica) de la sección mixta frente a axial y flexor

- Para tubos circulares rellenos de hormigón:

$$\text{Si } 0 < e/d \leq 0.1: \left\{ \begin{array}{l} \eta_a = \eta_{ao} + (1 - \eta_{ao}) (10 e/d) \\ \eta_c = \eta_{co} (1 - 10 e/d) \end{array} \right.$$

$$\text{Si } e/d > 0.1: \left\{ \begin{array}{l} \eta_a = 1,0 \text{ y } \eta_c = 0. \end{array} \right.$$

□ Esbeltez relativa de pilares mixtos

- Se define igual que en elementos metálicos

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

donde $N_{pl,Rk}$:

$$N_{pl,Rk} = A_a f_{yk} + A_c 0.85 f_{ck} + A_s f_{sk}$$

N_{cr} es el valor crítico elástico de la carga de pandeo:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L_p^2}$$

□ Esbeltez relativa de pilares mixtos

La rigidez eficaz a flexión de la sección mixta se obtiene:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + 0.6 E_{cm} I_c + E_s I_s$$

con I_a, I_c, I_s , los momentos de inercia en el plano de flexión considerado del acero estructural, de la sección de hormigón no fisurada y de la armadura, respectivamente.

➤ Se deberá considerar la influencia de la carga mantenida en el valor de la rigidez eficaz a flexión, para lo cual el módulo de elasticidad eficaz del hormigón se reducirá a:

$$E_{c,eff} = E_{cm} \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \varphi_t}$$

donde $N_{G,Ed}$ es la parte permanente de la carga axial de cálculo del pilar

$\varphi_t = \varphi(t, t_0)$ el coeficiente de fluencia a la edad t de un hormigón cargado a la edad t_0

Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos

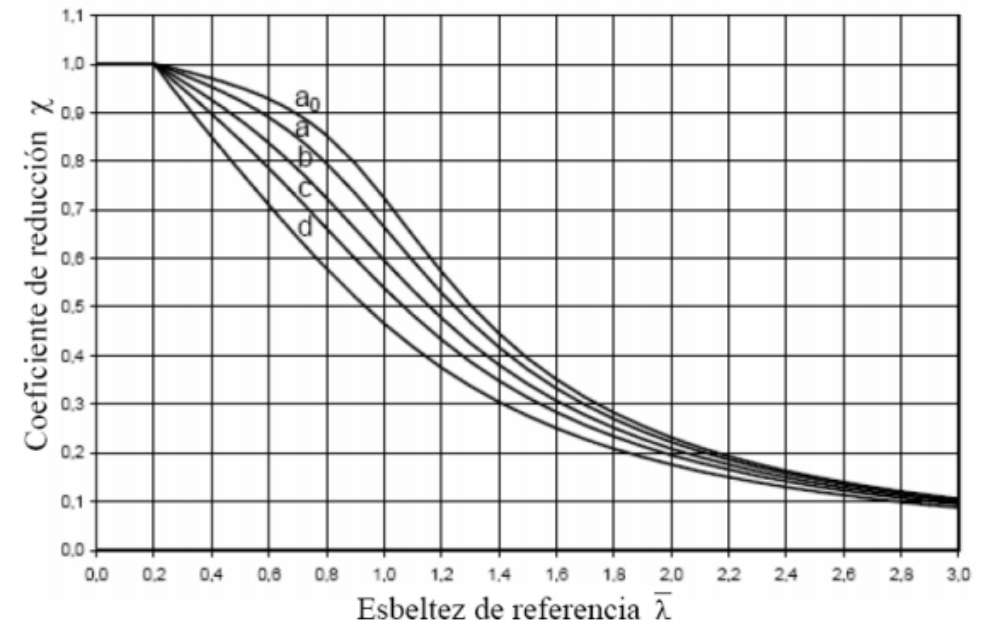
➤ La comprobación a pandeo se hace igual que en elementos metálicos:

$$N_{Ed} \leq \chi N_{pl,Rd}$$

N_{Ed} valor de cálculo del esfuerzo axial

$N_{pl,Rd}$ resistencia plástica de la sección mixta (previamente definida)

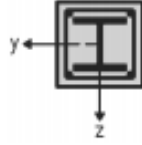
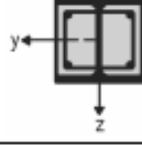
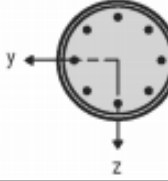
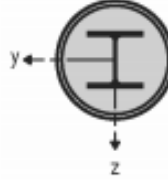
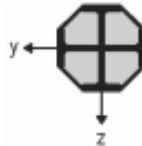
χ coeficiente de reducción para el modo de pandeo pertinente en términos de la esbeltez relativa (EC3: 6.3.1.2 EN 1993-1-1) y de la curva de pandeo (



Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos

Las curvas de pandeo dependen de la tipología de la sección transversal y de la cuantía de armadura longitudinal:

$$\rho_s \leq \frac{A_s}{A_c}$$

Sección transversal	Límites	Eje de pandeo	Curva de pandeo	Imperfección del elemento
Sección embebida en hormigón 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Sección parcialmente embebida en hormigón 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Sección de acero hueca circular y rectangular 	$\rho_s \leq 3\%$	cualquiera	a	L/300
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	cualquiera	b	L/200
Sección de acero hueca circular con sección adicional doble T 		y-y	b	L/200
		z-z	b	L/200
Sección parcialmente embebida en hormigón con dobles T en cruz 		cualquiera	b	L/200

Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados

$$M_{Ed} \leq \begin{cases} 0.9\mu_d M_{pl,Rd} & \text{para S235 - S355} \\ 0.8\mu_d M_{pl,Rd} & \text{para S420 - S460} \end{cases}$$

$\mu_d = M_{pl,N,Rd} / M_{pl,Rd}$ (Figura 6.18)

$M_{pl,Rd}$ resistencia plástica a flexión (Punto B Figura 6.19)

➤ M_{Ed} mayor momento existente en la columna, considerando imperfecciones y efectos de segundo orden:

$$M_{Ed} = k M_{Ed}$$

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} \geq 1$$

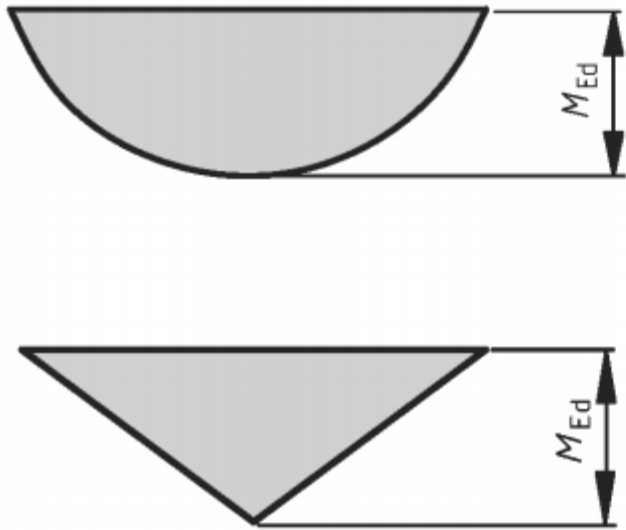
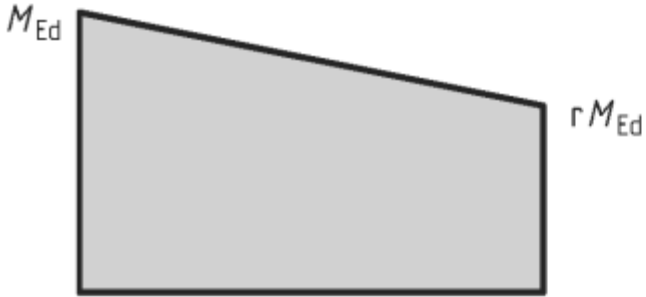
$N_{cr,eff}$ axil crítico correspondiente a la rigidez eficaz a flexión $(EI)_{eff,II}$, tomando como longitud eficaz la longitud del pilar.

$$(EI)_{eff,II} = 0.9(E_a I_a + 0.5 E_{cm} I_c + E_s I_s)$$

Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados

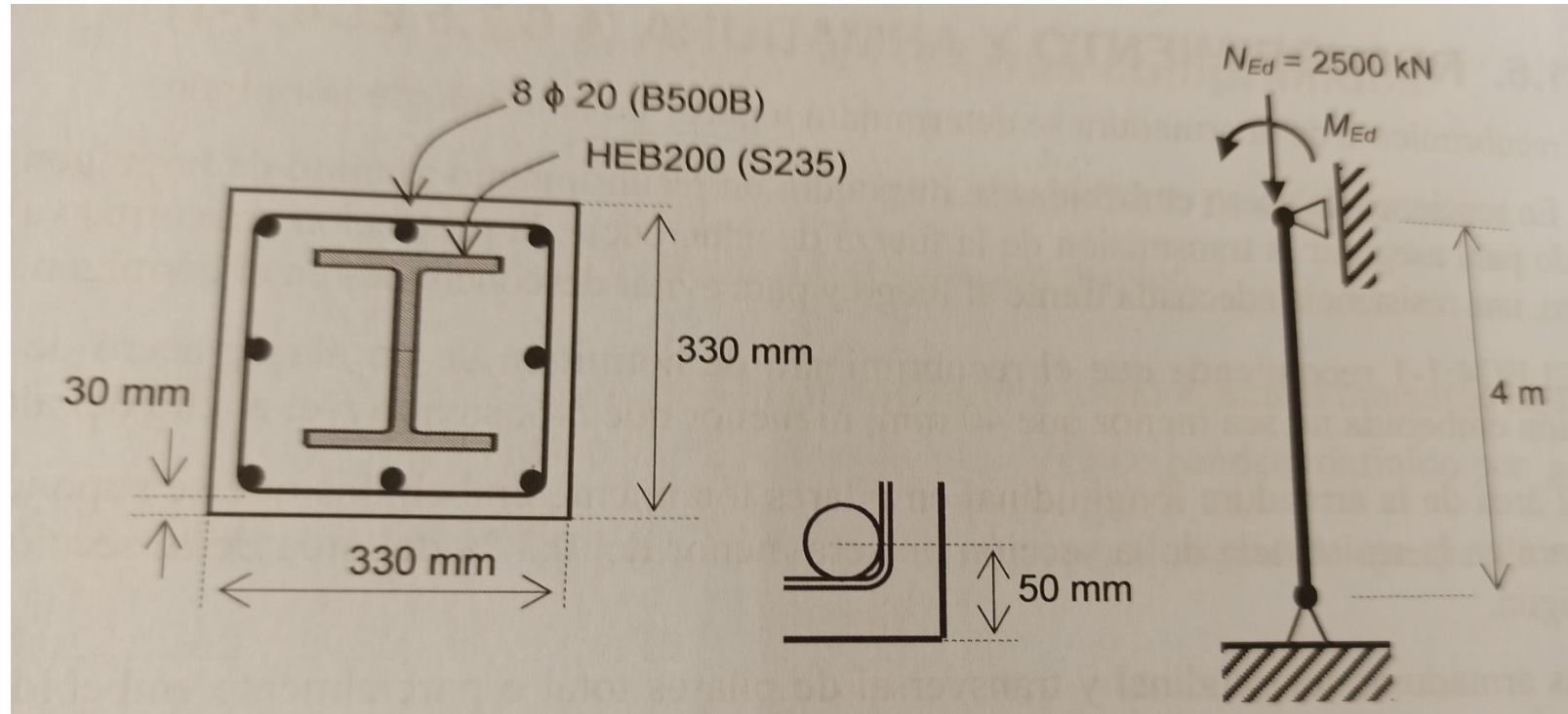
Tabla 6.4 – Coeficientes β para la determinación de momentos con teoría de segundo orden

β
coeficiente
de
momento
equivalente:

Ley de momentos	Coeficiente β	Notas
	<p>Momentos de primer orden de imperfecciones del elemento o carga lateral:</p> $\beta = 1,0$	<p>M_{Ed} es el máximo momento flector en la longitud del pilar ignorando los efectos de segundo orden</p>
 <p style="text-align: center;">$-1 \leq r \leq 1$</p>	<p>Momentos en los extremos:</p> $\beta = 0,66 + 0,44r$ <p>pero $\beta \geq 0,44$</p>	<p>M_{Ed} y $r M_{Ed}$ son los momentos en los extremos, obtenidos del análisis global de primer o de segundo orden</p>

Ejemplo

Se tiene una columna mixta sometida a una compresión de 2500 kN.



(Fuente: Estructuras de Acero y Mixtas. Gil-Martín y Hernández-Montes)

- Comprobación a pandeo en el eje fuerte (eje y) considerando únicamente pilar comprimido.
- Calcular el máximo momento flector en el eje fuerte (eje y) que puede actuar en cabecera, debido a una excentricidad del axil.

➤ Hipótesis: Suponer que existe un arriostramiento continuo para el otro eje.

➤ Datos:

- resistencia característica del hormigón es 35 MPa
- Los estribos son $\Phi 10$ cada 300 mm.
- Se admite que el axil permanente es la mitad del axil total
- Coeficiente medio de fluencia es 2.
- $W_{pl,a} = 6.42e5 \text{ mm}^3$
- $W_{pl,s} = 2.16e5 \text{ mm}^3$
- $W_{pl,c} = 4.16e6 \text{ mm}^3$
- $M_{pl,Rd} = 311.03 \text{ kNm}$

➤ Características mecánicas:

- **HEB200:**

$$A_a = 7810 \text{ mm}^2$$

$$I_{y_a} = 5696 \text{ mm}^4$$

- **Armadura:**

$$A_s = 8\pi(20/2)^2 = 2513.3 \text{ mm}^2$$

$$I_{s_y} = 6\pi(20/2)^2(330/2 - 50)^2 = 2.49e7 \text{ mm}^4$$

- **Hormigón:**

$$A_c = 330 * 330 - A_a - A_s = 98576.7 \text{ mm}^2$$

$$I_{c_y} = 1/12 * 330 * 330^3 - I_{y_a} - I_{s_y} = 9.06e8 \text{ mm}^4$$

➤ Materiales:

- **Hormigón:**

$$f_{ck}=35\text{MPa}; f_{cd}=35/1.5=23.33 \text{ MPa}$$

$$E_{cm}=22000(f_{cm}/10)^{0.3}=22000(43/10)^{0.3}=34077.15 \text{ MPa}$$

- **Armadura:**

$$f_{sk}=500 \text{ MPa}; f_{sd}=500/1.15=434.8 \text{ Mpa}$$

$$E_s=210000\text{MPa}$$

- **Acero:**

$$f_{yk}=235\text{MPa}; f_{yd}=235\text{MPa}$$

$$E_a=210000\text{MPa}$$

Comprobación de pandeo en el eje y

$$N_{Ed} \leq \chi N_{pl,Rd}$$

-Para secciones embebidas (parcial o totalmente):

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= A_a f_{yd} + A_c 0.85 f_{cd} + A_s f_{sd} \\ &= 7810 \cdot 235 + 0.85 \cdot 98576.7 \cdot 23.33 + 2513.3 \cdot 434.8 = 4883 \text{ kN} \end{aligned}$$

- χ coeficiente de reducción para el modo de pandeo pertinente en términos de la esbeltez relativa (EC3: 6.3.1.2 EN 1993-1-1) y de la curva de pandeo

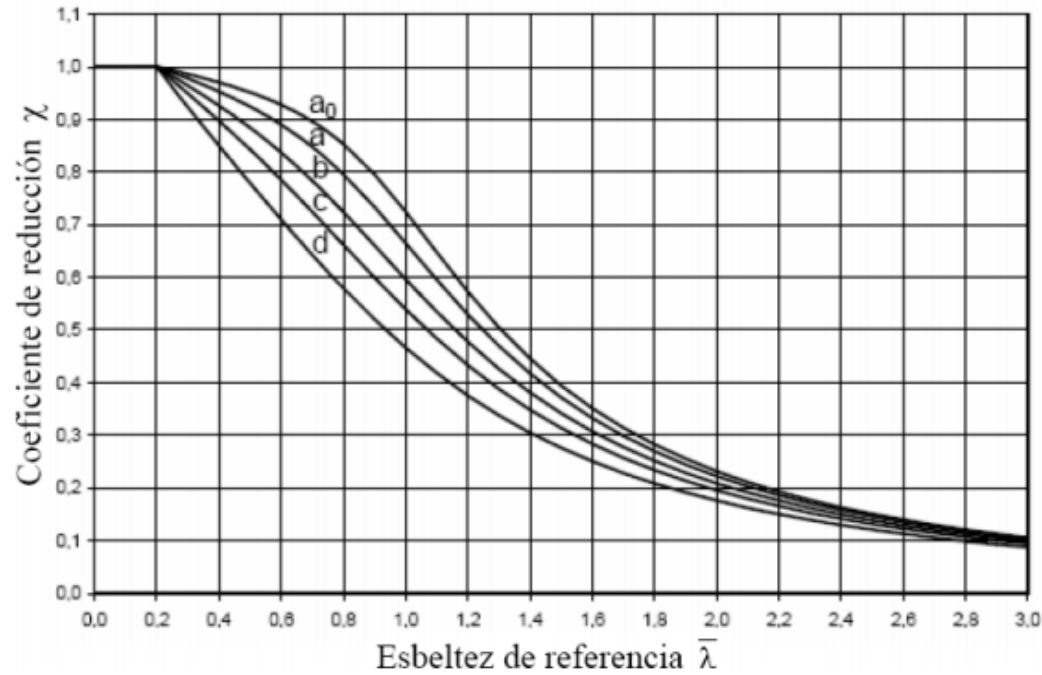
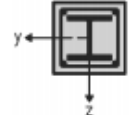
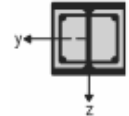
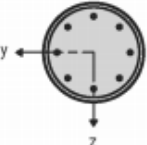
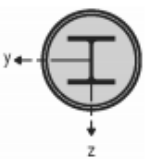
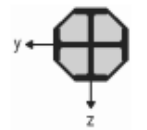


Tabla 6.5 – Curvas de pandeo e imperfecciones para pilares mixtos

Sección transversal	Límites	Eje de pandeo	Curva de pandeo	Imperfección del elemento
Sección embebida en hormigón 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
Sección parcialmente embebida en hormigón 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
Sección de acero hueca circular y rectangular 	$\rho_s \leq 3\%$	cualquiera	a	$L/300$
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	cualquiera	b	$L/200$
Sección de acero hueca circular con sección adicional doble T 		y-y	b	$L/200$
		z-z	b	$L/200$
Sección parcialmente embebida en hormigón con dobles T en cruz 		cualquiera	b	$L/200$

□ Esbeltez relativa de pilares mixtos

- Se define igual que en elementos metálicos

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

donde $N_{pl,Rk}$:

$$N_{pl,Rk} = A_a f_{yk} + A_c 0.85 f_{ck} + A_s f_{sk} =$$

$$7810 \cdot 235 + 98576,6 \cdot 0,85 \cdot 35 + 2513,3 \cdot 500 = 6024,7 \text{ kN}$$

N_{cr} es el valor crítico elástico de la carga de pandeo:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L_p^2} = \frac{\pi^2 2,64e13}{4000^2} = 16317 \text{ kN}$$

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + 0.6 E_{c,eff} I_c + E_s I_s = E_a I_a + 0.6 E_{cm} \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \varphi_t} I_c + E_s I_s$$

donde $N_{G,Ed}$ es la parte permanente de la carga axial de cálculo del pilar ($N_{G,Ed} = 0,5 N_{Ed}$)

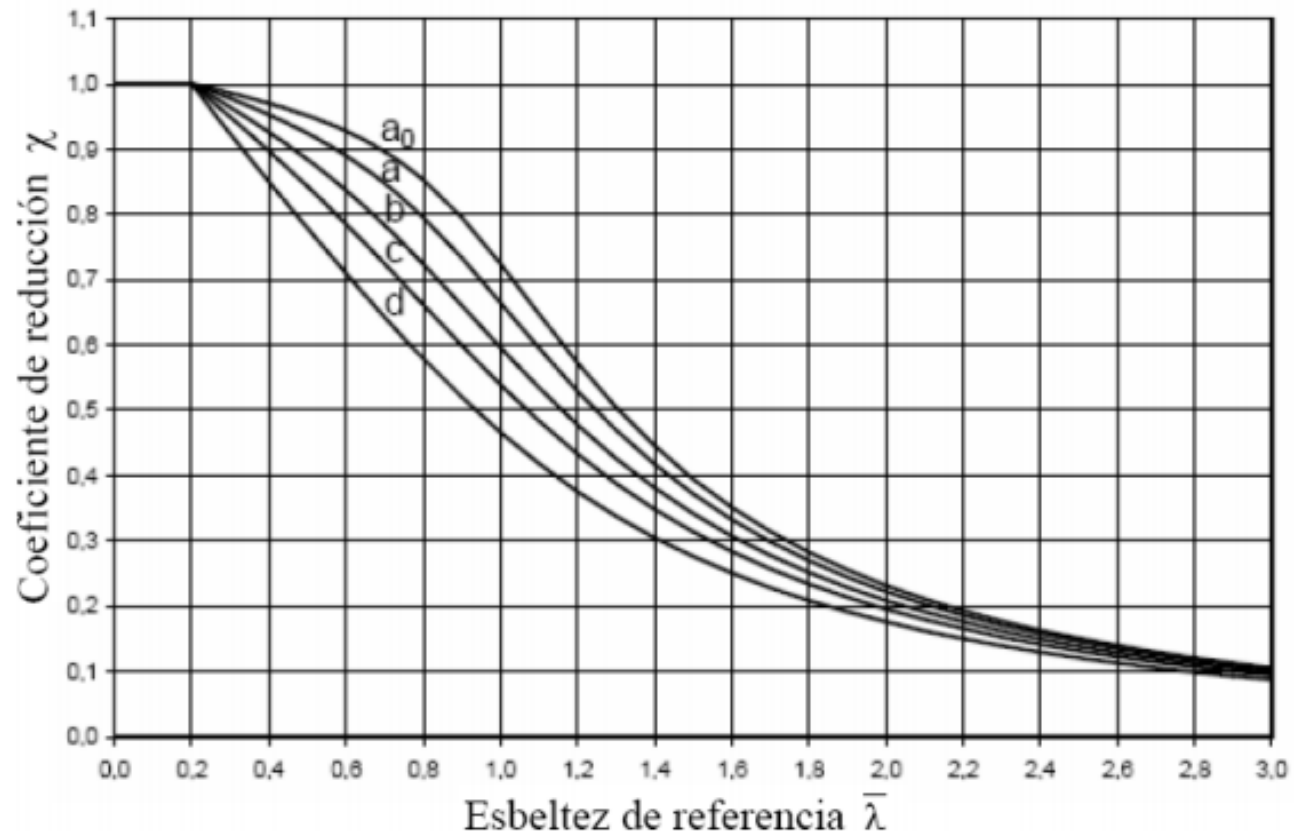
$$\varphi_t = 2$$

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + 0.6 E_{cm} \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \varphi_t} I_c + E_s I_s =$$
$$210000 \cdot 5696e4 + 0.6 \cdot 34077.15 \frac{1}{1 + 0.5 \cdot 2} 9,06e8 + 210000 \cdot 2,49e7 = 2,64e13 \text{ Nmm}^2$$

- Sustituyendo

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6024,7}{16317}} = 0,607$$

con curva b



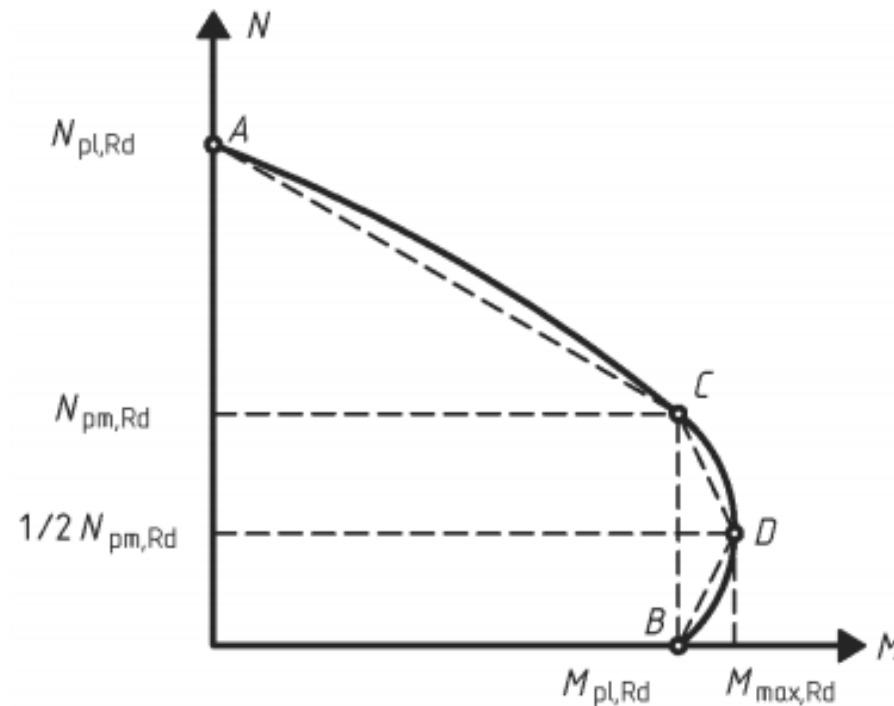
Comprobación de pandeo en el eje y

$$N_{Ed} \leq \chi N_{pl,Rd}$$

$$2500kN \leq 0,83 \cdot 4883kN \leq 4053kN$$

Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados

$$M_{Ed} \leq \begin{cases} 0.9\mu_d M_{pl,Rd} = 0.9M_{pl,N,Rd} & \text{para S235 - S355} \\ 0.8\mu_d M_{pl,Rd} = 0.8M_{pl,N,Rd} & \text{para S420 - S460} \end{cases}$$



Cálculo del momento flector en y que puede soportar la pieza

$$M_{Ed} \leq \begin{cases} 0.9\mu_d M_{pl,Rd} = 0.9M_{pl,N,Rd} & \text{para S235 - S355} \end{cases}$$

- M_{Ed} mayor momento existente en la columna, considerando imperfecciones y efectos de segundo orden:

$$M_{Ed} = kM_{Ed}$$

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} = \frac{0,66}{1 - \frac{2500}{13829}} = 0,8 \geq 1$$

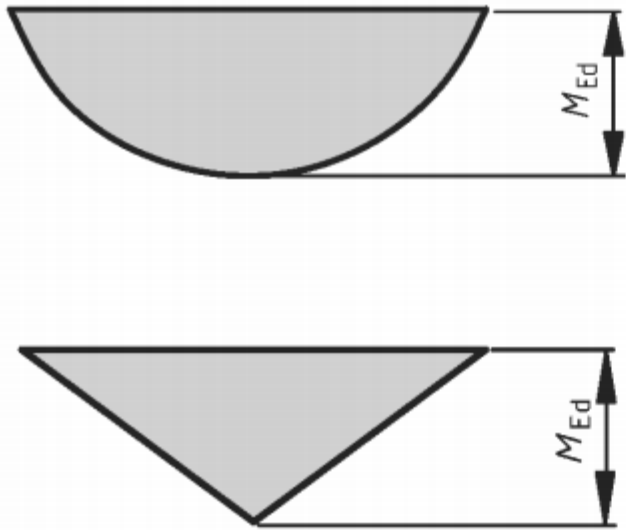
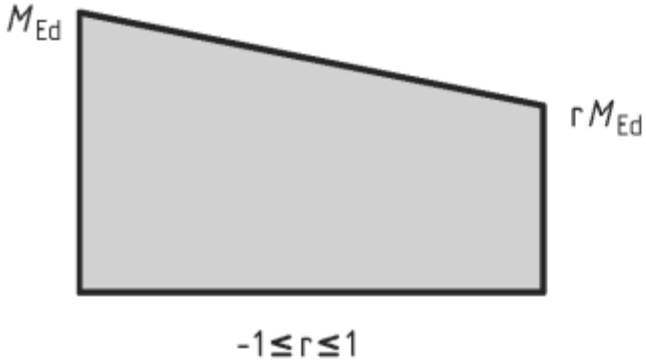
$N_{cr,eff}$ axil crítico correspondiente a la rigidez eficaz a flexión $(EI)_{eff,II}$, tomando como longitud eficaz la longitud del pilar.

$$N_{cr,eff} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,II}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0.9(E_a I_a + 0.5E_{cm} I_c + E_s I_s)}{L^2} = 13829 kN$$

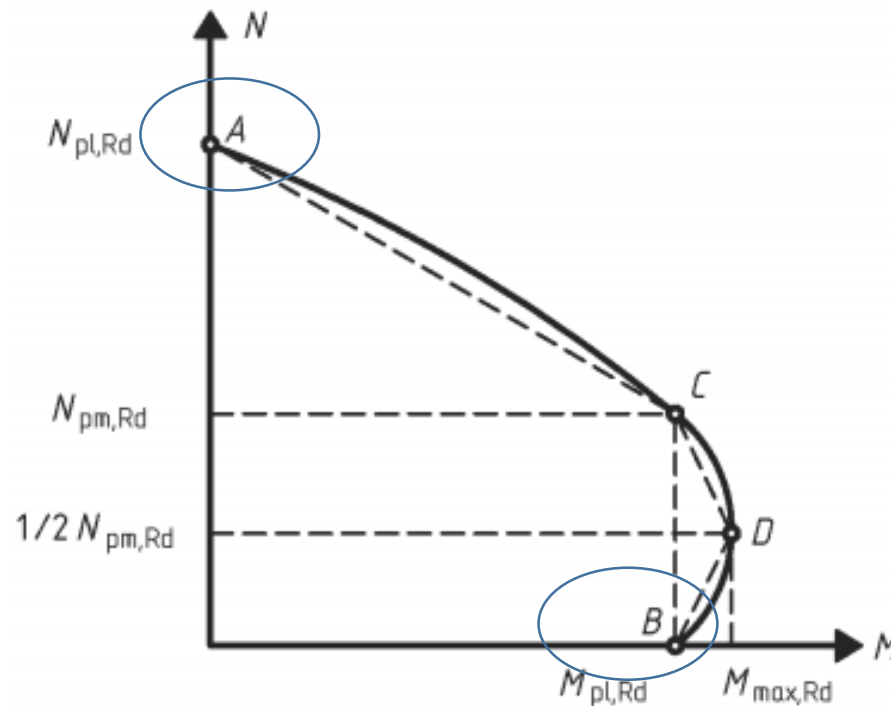
Comprobación a pandeo de elementos mixtos comprimidos y flectados

Tabla 6.4 – Coeficientes β para la determinación de momentos con teoría de segundo orden

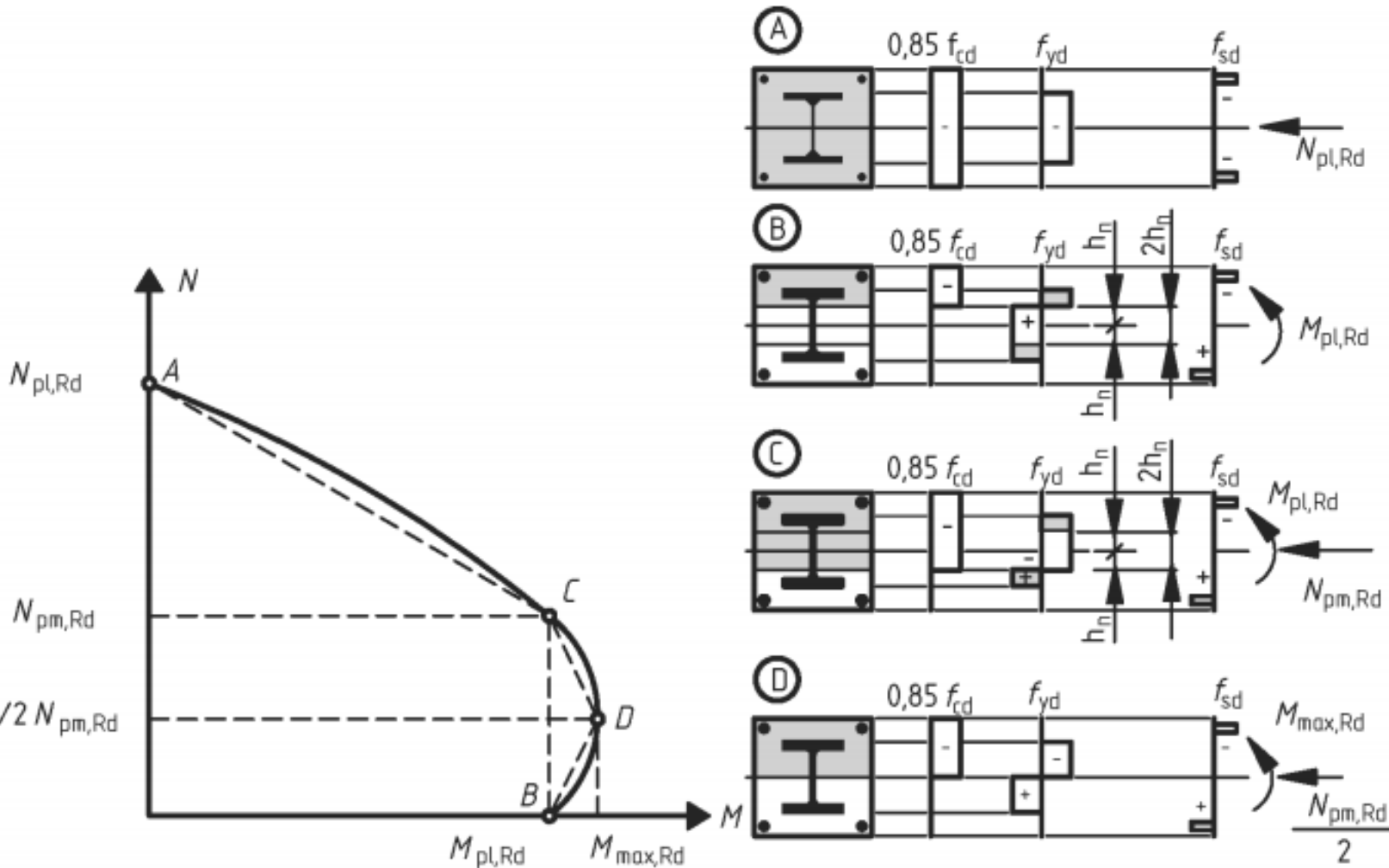
β
coeficiente
de
momento
equivalente:

Ley de momentos	Coeficiente β	Notas
	<p>Momentos de primer orden de imperfecciones del elemento o carga lateral:</p> $\beta = 1,0$	<p>M_{Ed} es el máximo momento flector en la longitud del pilar ignorando los efectos de segundo orden</p>
	<p>Momentos en los extremos:</p> $\beta = 0,66 + 0,44r$ <p>pero $\beta \geq 0,44$</p>	<p>M_{Ed} y $r M_{Ed}$ son los momentos en los extremos, obtenidos del análisis global de primer o de segundo orden</p>

Cálculo del momento flector en y que puede soportar la pieza



Cálculo del momento flector en y que puede soportar la pieza



Punto A: Compresión pura

$$N_A = N_{pl,Rd} \text{ y } M_A = 0$$

Punto B: Flexión pura

$$N_B = 0 \text{ y } M_B = M_{pl,Rd}$$

Punto C: Misma resistencia a flexión que el punto B pero con resultante a compresión

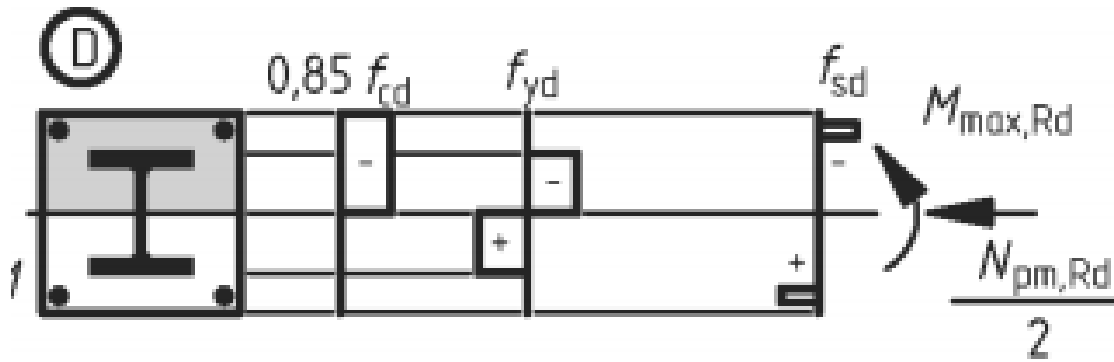
$$N_C = N_{pm,Rd} \text{ y } M_C = M_{pl,Rd}$$

Punto D: Máxima resistencia a flexión.

$$N_D = \frac{N_{pm,Rd}}{2}$$

$$M_D = W_{pl,a} f_{yd} + W_{pl,c} \alpha f_{cd} + W_{pl,s} f_{sd}$$

Figura 6.19 – Curva de interacción simplificada y sus distribuciones de tensiones correspondientes

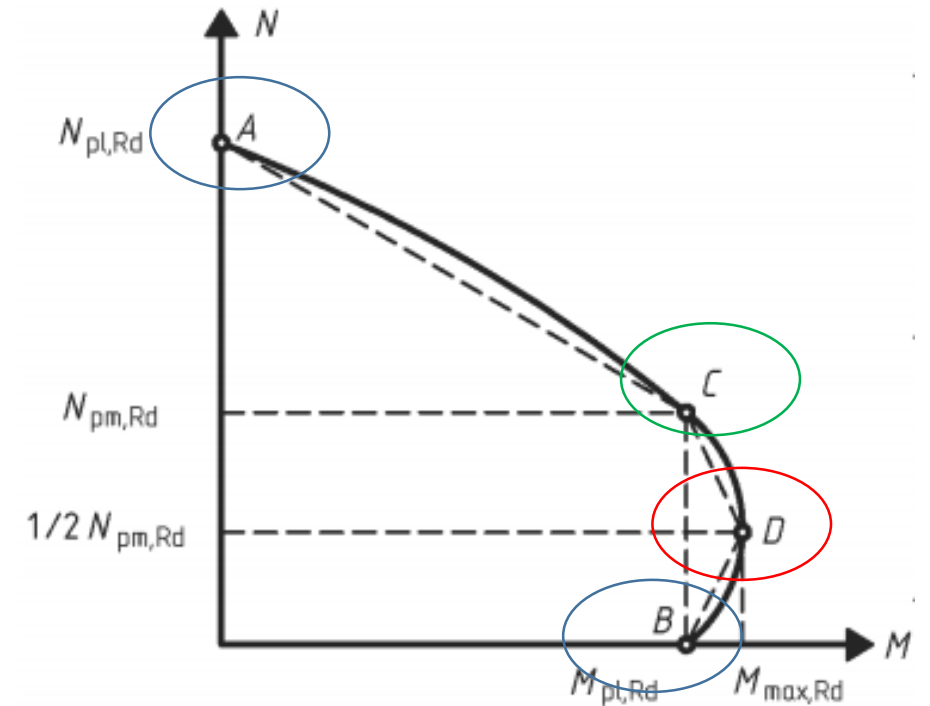


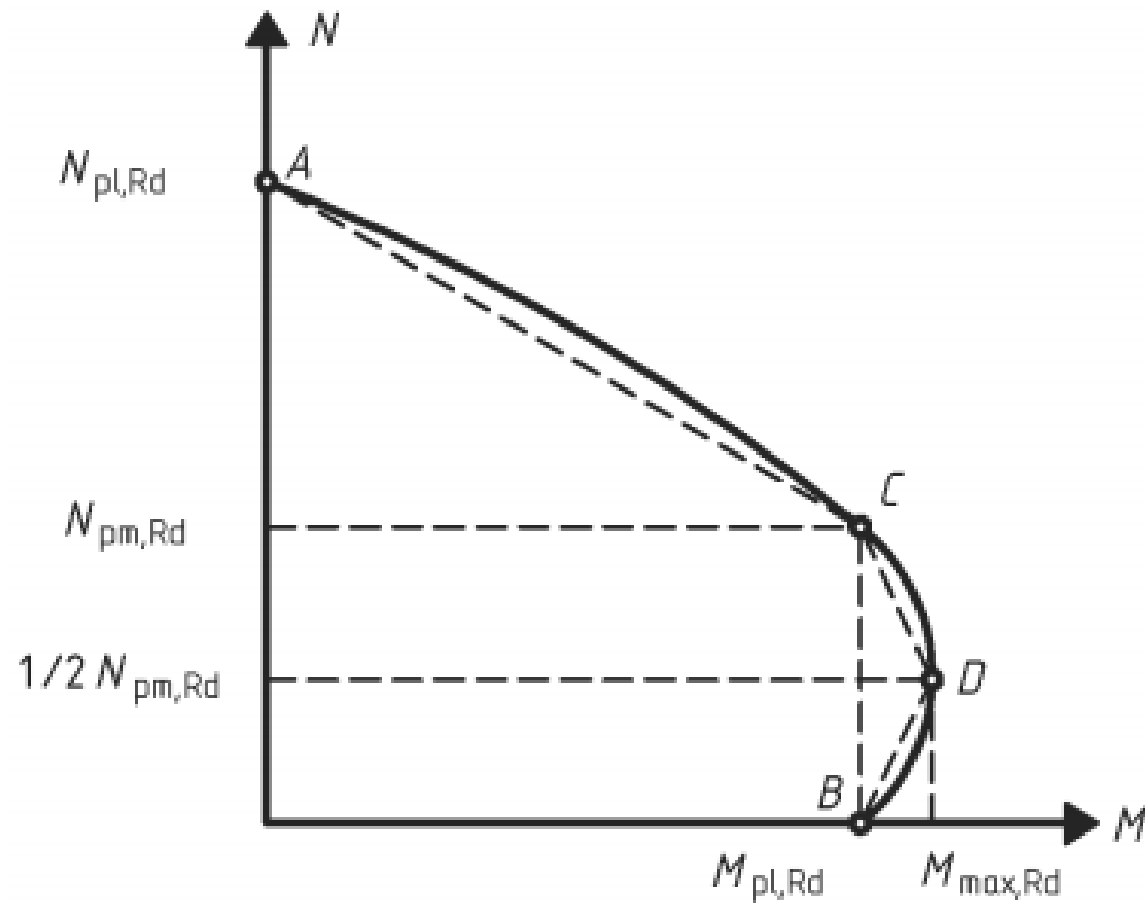
$$N_D = \frac{N_{pm,Rd}}{2} = 0.85 f_{cd} \cdot A_c = 0.85 f_{cd} (A_{total} - A_a - A_s) 0.5 =$$

$$0.85 \cdot 23.33 \cdot (330^2 - 7810 - 2513.3) 0.5 = 983.8 \text{ kN}$$

$$M_D = W_{pl,a} f_{yd} + W_{pl,c} \alpha f_{cd} + W_{pl,s} f_{sd} =$$

$$6.42e5 \cdot 235 + 4.16e6 \cdot 0.85 \cdot 23.33 + 2.16e5 \cdot 434.8 = 327.6 \text{ kNm}$$





$$M_{Ed} \leq 0.9\mu_d M_{pl,Rd} = 0.9M_{pl,N,Rd} =$$

$$0.9 \cdot 254.17 \text{ kNm} = 228.75 \text{ kNm}$$

Referencias

- EC4. Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-1
- Estructuras de Acero y Mixtas. Luisa María Gil Martín y Enrique Hernández Montes