

OpenCourseWare

## **Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales**

Carlos Santiuste Romero, Sara Garzón Hernández, Liu Jiao Wang,  
Manuel Cuadrado Sanguino, Luis Jiménez Girón, Daniel Herrero Adán

---

**CTE: DB-SE-A Documento Básico Seguridad Estructural – Acero**



# Documento Básico **SE-A**

## Seguridad estructural Acero

Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007)  
y corrección de errores (BOE 25/01/2008)

168 páginas

# Índice

## 1 Generalidades

- 1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas
- 1.2 Condiciones particulares para el cumplimiento del DB-SE-A

## 2 Bases de cálculo

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Verificaciones
- 2.3 Estados límite últimos
- 2.4 Estados límite de servicio

## 3 Durabilidad

## 4 Materiales

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Aceros en chapas y perfiles
- 4.3 Tornillos, tuercas y arandelas
- 4.4 Materiales de aportación
- 4.5 Resistencia de cálculo

## 5 Análisis estructural

- 5.1 Generalidades
- 5.2 Modelos del comportamiento estructural
- 5.3 Estabilidad lateral global
- 5.4 Imperfecciones iniciales
- 5.5 Análisis plástico

## 6 Estados límite últimos

- 6.1 Generalidades
- 6.2 Resistencia de las secciones
- 6.3 Resistencia de las barras

## 7 Estados límite de servicio

- 7.1 Deformaciones, flecha y desplome
- 7.2 Vibraciones
- 7.3 Deslizamiento de uniones

## 8 Uniones

- 8.1 Bases de cálculo
- 8.2 Criterios de comprobación
- 8.3 Rigidez
- 8.4 Resistencia
- 8.5 Resistencia de los medios de unión. Uniones atornilladas.
- 8.6 Resistencia de los medios de unión. Uniones soldadas.
- 8.7 Capacidad de rotación
- 8.8 Algunas uniones típicas
- 8.9 Uniones de perfiles huecos en las vigas de celosía

## 9 Fatiga

- 9.1 Generalidades

## 10 Ejecución

- 10.1 Materiales
- 10.2 Operaciones de fabricación en taller
- 10.3 Soldeo
- 10.4 Uniones atornilladas
- 10.5 Otros tipos de tornillos
- 10.6 Tratamientos de protección
- 10.7 Ejecución de soldeo y montaje en taller (tratamiento de protección)
- 10.8 Control de fabricación en taller

## 11 Tolerancias

- 11.1 Tolerancias de fabricación
- 11.2 Tolerancias de ejecución

## 12 Control de calidad

- 12.1 Generalidades
- 12.2 Control de calidad de la documentación del proyecto
- 12.3 Control de calidad de los materiales
- 12.4 Control de calidad de la fabricación
- 12.5 Control de calidad del montaje

## 13 Inspección y mantenimiento

- 13.1 Inspección

## Anejo A. Terminología

## Anejo B. Notación y Unidades

- B.1 Notación
- B.2 Unidades

## Anejo C. Fatiga. Método de las curvas S-N

- C.1 Generalidades
- C.2 Símbolos
- C.3 Comprobación de la fatiga
- C.4 Comprobación

## Anejo D. Normas de referencia

# Índice

## 1 Generalidades

- 1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas
- 1.2 Condiciones particulares para el cumplimiento del DB-SE-A

## 2 Bases de cálculo

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Verificaciones
- 2.3 Estados límite últimos
- 2.4 Estados límite de servicio

## 3 Durabilidad

## 4 Materiales

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Aceros en chapas y perfiles
- 4.3 Tornillos, tuercas y arandelas
- 4.4 Materiales de aportación
- 4.5 Resistencia de cálculo

## 5 Análisis estructural

- 5.1 Generalidades
- 5.2 Modelos del comportamiento estructural
- 5.3 Estabilidad lateral global
- 5.4 Imperfecciones iniciales
- 5.5 Análisis plástico

## 6 Estados límite últimos

- 6.1 Generalidades
- 6.2 Resistencia de las secciones
- 6.3 Resistencia de las barras

## 7 Estados límite de servicio

- 7.1 Deformaciones, flecha y desplome
- 7.2 Vibraciones
- 7.3 Deslizamiento de uniones

## 8 Uniones

- 8.1 Bases de cálculo
- 8.2 Criterios de comprobación
- 8.3 Rigidez
- 8.4 Resistencia
- 8.5 Resistencia de los medios de unión. Uniones atornilladas.
- 8.6 Resistencia de los medios de unión. Uniones soldadas.
- 8.7 Capacidad de rotación
- 8.8 Algunas uniones típicas
- 8.9 Uniones de perfiles huecos en las vigas de celosía

## 9 Fatiga

- 9.1 Generalidades

## 10 Ejecución

- 10.1 Materiales
- 10.2 Operaciones de fabricación en taller
- 10.3 Soldeo
- 10.4 Uniones atornilladas
- 10.5 Otros tipos de tornillos
- 10.6 Tratamientos de protección
- 10.7 Ejecución de soldeo y montaje en taller (tratamiento de protección)
- 10.8 Control de fabricación en taller

## 11 Tolerancias

- 11.1 Tolerancias de fabricación
- 11.2 Tolerancias de ejecución

## 12 Control de calidad

- 12.1 Generalidades
- 12.2 Control de calidad de la documentación del proyecto
- 12.3 Control de calidad de los materiales
- 12.4 Control de calidad de la fabricación
- 12.5 Control de calidad del montaje

## 13 Inspección y mantenimiento

- 13.1 Inspección

## Anejo A. Terminología

## Anejo B. Notación y Unidades

- B.1 Notación
- B.2 Unidades

## Anejo C. Fatiga. Método de las curvas S-N

- C.1 Generalidades
- C.2 Símbolos
- C.3 Comprobación de la fatiga
- C.4 Comprobación

## Anejo D. Normas de referencia

# Tabla 5.1. Tipos de sección. DB SE-A p.17

## 5.2.4 Tipos de sección

- 1 Según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección solicitada por un momento flector, esta se clasifica en una de las cuatro clases siguientes:

**Tabla 5.1 Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores**

|   |  |
|---|--|
| <b>Clase 1: Plástica</b>                | Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.                              |
| <b>Clase 2: Compacta</b>                | Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.  |
| <b>Clase 3: Semicompacta o Elástica</b> | En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico               |
| <b>Clase 4: Esbelta</b>                 | Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida. |

# Tabla 5.3. Tipos de sección. DB SE-A p.19

Tabla 5.3 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos

| Geometría                                     |                 |                                       |                                       |   |
|---|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
|   |                 |                                       |                                       |   |
| Solicitación                                  | Elemento plano  | Límite de esbeltez: c/t máximo        |                                       |   |
| Compresión +<br>Tracción -                    |                 | Clase 1                               | Clase 2                               | Clase 3                                 |
| Compresión                                    |                 | $33\varepsilon$                       | $38\varepsilon$                       | $42\varepsilon$                         |
| Flexión simple                                |                 | $72\varepsilon$                       | $83\varepsilon$                       |   |
|   |                 |                                       |                                       | $124\varepsilon$                        |
| Flexocompresión<br>$\psi \geq -1$             |                 | $\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ | $\frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ |   |
|   |                 | $\alpha \geq 0,5$                     | $\alpha \geq 0,5$                     | $\frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ |
| Flexotracción <sup>1)</sup><br>$\psi \leq -1$ |                 | $\frac{36\varepsilon}{\alpha}$        | $\frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$      |   |
|   |                 | $\alpha \leq 0,5$                     | $\alpha \leq 0,5$                     | $62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$   |
| Caso especial:<br>sección tubular             |                 |                                       |                                       |   |
|   | Compresión      | $\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$    | $\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$    | $\frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$      |
|   | Flexión simple  |                                       |                                       |   |
|   | Flexocompresión |                                       |                                       |   |

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

1)  $\psi \leq -1$  es aplicable a los casos con deformaciones unitarias que superen las correspondientes al límite elástico

# Tabla 5.4. Tipos de sección. DB SE-A p.20

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

| Geometría   |                | Límite de esbeltez: c/t máximo      |                                      |                                    |
|---|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|   |                |                                     |                                      |                                    |
| Solicitación  | Elemento plano | Límite de esbeltez: c/t máximo      |                                      |                                    |
| Compresión +<br>Tracción -  |                | Clase 1                             | Clase 2                              | Clase 3                            |
| Compresión  |                | $9\varepsilon$                      | $10\varepsilon$                      | $14\varepsilon$                    |
| Flexocompresión;<br>borde libre comprimido  |                | $\frac{9\varepsilon}{\alpha}$       | $\frac{10\varepsilon}{\alpha}$       | $21\varepsilon\sqrt{k_{\sigma_1}}$ |
| Flexocompresión;<br>borde libre traccionado   |                | $\frac{9\varepsilon}{\alpha^{1.5}}$ | $\frac{10\varepsilon}{\alpha^{1.5}}$ | $21\varepsilon\sqrt{k_{\sigma_2}}$ |
| Coeficientes de abolladura $k_{\sigma_1}$ y $k_{\sigma_2}$ en función de $\psi$ , siendo $\psi$ la relación de las tensiones en los bordes (compresión positiva): |                |                                     |                                      |                                    |
| $k_{\sigma_1} = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$ para $1 \geq \psi \geq -3$  |                |                                     |                                      |                                    |
| $k_{\sigma_2} = 0,578 / (0,34 + \psi)$ para $1 \geq \psi \geq 0$  |                |                                     |                                      |                                    |
| $k_{\sigma_2} = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$ para $0 \geq \psi \geq -1$  |                |                                     |                                      |                                    |
| Factor de reducción $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$  |                |                                     |                                      |                                    |

# Apto 6.2. Resistencia secciones. DB SE-A p.29-33

6.2.3. Resistencia de las secciones a tracción. p. 30

6.2.4. Resistencia de las secciones a corte. p. 30

6.2.5. Resistencia de las secciones a compresión. p. 31

6.2.6. Resistencia de las secciones a flexión. p. 31

6.2.7. Resistencia de las secciones a torsión. p. 32

6.2.8. Interacción de esfuerzos. p. 32-33

- Flexión compuesta
- Flexión más cortante
- Flexión, axil y cortante
- Cortante y torsión
- Flexión y torsión



# Apto 6.3. Resistencia barras. DB SE-A p.33-51

6.3.2. Compresión

6.3.4.2. Flexocompresión

# Apto 6.3. Resistencia barras. DB SE-A p.33-51

6.3.2. Compresión

6.3.4.2. Flexocompresión

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

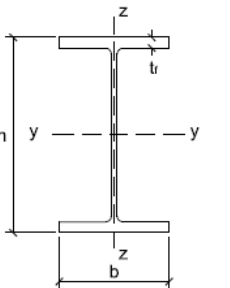
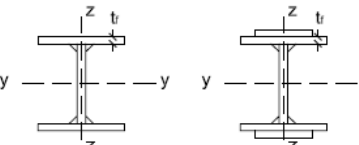


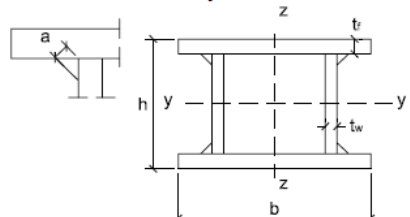
# Tabla 6.1. Longitudes pandeo. DB SE-A p.35

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. Curvas pandeo. DB SE-A p.35

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 <sup>(1)</sup> |  | y           | z | y     | z     |
| <b>Perfiles laminados en I</b><br>                    | $h/b > 1,2$                  | $t \leq 40 \text{ mm}$                                   | 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     |
| <b>Perfiles armados en I</b><br>                      |                              | $t \leq 40 \text{ mm}$                                   | b           | c | b     | c     |
|   |                              | $t > 40 \text{ mm}$                                      | c           | d | c     | d     |
| <b>Agrupación de perfiles laminados soldados</b><br>  |                              |  | c           | c | c     | c     |
| <b>Tubos de chapa simples o agrupados</b><br>        |                              | laminados en caliente                                    | a           | a | $a_0$ | $a_0$ |
|   |                              | conformados en frío                                      | c           | c | c     | c     |
| <b>Perfiles armados en cajón <sup>(2)</sup></b><br> |                              | soldadura gruesa:<br>$a/t > 0,5$ $b/t < 30$ $h/t_w < 30$ | c           | c | c     | c     |
|   |                              | en otro caso   | b           | b | b     | b     |

# Figura 6.3. Curvas pandeo. DB SE-A p.36

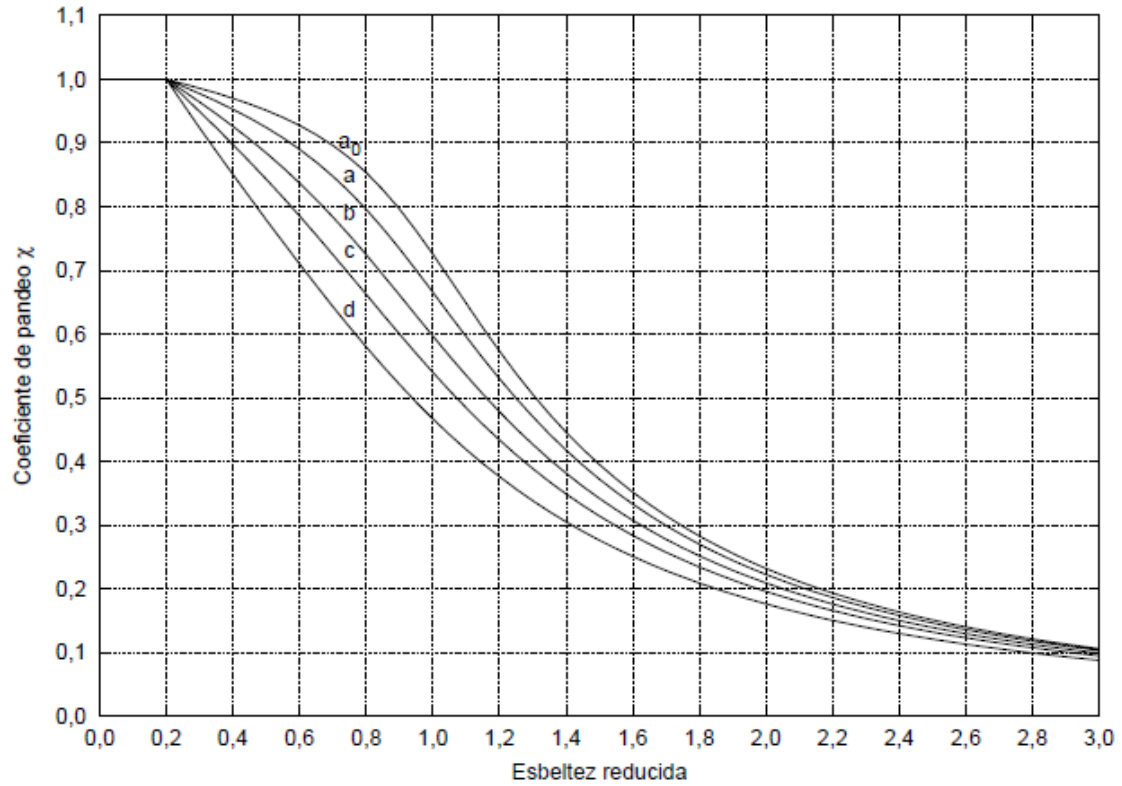


Figura 6.3 Curvas de pandeo

# Tabla 6.3. Curvas pandeo. DB SE-A p.37

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 arriostamiento

# Apto 6.3. Resistencia barras. DB SE-A p.33-51

## 6.3.2. Compresión

### 6.3.4.2. Flexocompresión

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.53)$$

# Tabla 6.8. DB SE-A p.49

Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza

| Clase | $A^*$     | $W_y$       | $W_z$       | $\alpha_y$ | $\alpha_z$ | $e_{N,y}$               | $e_{N,z}$               |
|-------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| 1     | A         | $W_{pl,y}$  | $W_{pl,z}$  | 0,6        | 0,6        | 0                       | 0                       |
| 2     | A         | $W_{pl,y}$  | $W_{pl,z}$  | 0,6        | 0,6        | 0                       | 0                       |
| 3     | A         | $W_{el,y}$  | $W_{el,z}$  | 0,8        | 1          | 0                       | 0                       |
| 4     | $A_{eff}$ | $W_{eff,y}$ | $W_{eff,z}$ | 0,8        | 1          | Según pieza y tensiones | Según pieza y tensiones |



# Tabla 6.9. Coef. Interacción. DB SE-A p.50

Tabla 6.9 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

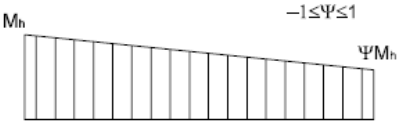
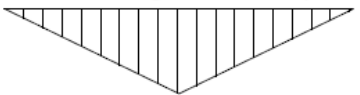

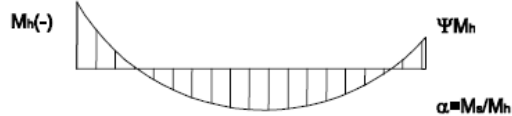
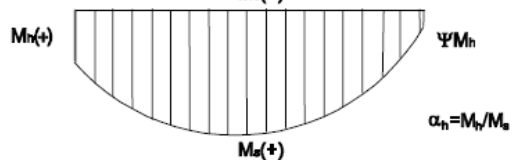
| Clase | Tipo de sección | $k_y$  | $k_z$  | $k_{yLT}$  |
|-------|-----------------|--|--|--|
| 1 y 2 | I, H, abiertas  | $1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$   | $1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ | el menor de<br>$1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ |
|       | Hueca delgada   |  | $1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$         | $0,6 + \bar{\lambda}_z$  |
| 3 y 4 | Todas           | $1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$ | $1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$       | $1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$               |

siendo  
 $\bar{\lambda}_y$  y  $\bar{\lambda}_z$  valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$$N_{C,Rd} = A^* \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

# Tabla 6.10. Coef. Momento. DB SE-A p.51

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

| 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                              |
| <b>Diagrama de Flectores</b>   | <b>Factor de momento uniforme equivalente</b>                                 |                                  |
|  | $C_{m,y} = C_{m,i} \text{ ( i =y )}$  |                                  |
|  | $C_{m,z} = C_{m,i} \text{ ( i =Z )}$  |                                  |
|  | $C_{m,LT} = C_{m,i} \text{ ( i =LT )}$  |                                  |
| <b>Momentos de extremo</b>   |   |                                  |
|    | $-1 \leq \Psi \leq 1$   |                                  |
|  | $C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$                                     |                                  |
| <b>Momento debido a cargas laterales coplanarias</b>                               |   |                                  |
|   | $C_{m,i} = 0,9$   |                                  |
|   | $C_{m,i} = 0,95$  |                                  |
| <b>Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos</b>                  |   |                                  |
|   | $\alpha = M_c / M_h$  |                                  |
|  | $C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } -1 \leq \alpha \leq 0$ |                                  |
|  | $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } 0 \leq \alpha \leq 1$  |                                  |
|  | $\alpha_h = M_c / M_h$  |                                  |
|  | $C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \text{ con } -1 \leq \alpha_h \leq 1$   |                                  |

OpenCourseWare

## **Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales**

Carlos Santiuste Romero, Sara Garzón Hernández, Liu Jiao Wang,  
Manuel Cuadrado Sanguino, Luis Jiménez Girón, Daniel Herrero Adán

---

**CTE: DB-SE-A Documento Básico Seguridad Estructural – Acero**

