

## 12 Formigó armat

### 12.21 Formigó armat. Torsió. 'Código Estructural'

A l'aplicació 12.20 es calcula una secció de formigó armat, sotmesa a torsió pura, amb el mètode de l'*Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08*. En aquesta aplicació, la 12.21, es calcula el mateix però sota els criteris del *Código Estructural (CE)*. Es creu oportú realitzar una comparació entre els dos procediments i, si és possible, treure'n conclusions.

A les dues aplicacions es calcula una secció rectangular (fig. 12.82) sotmesa a torsió pura. Atès que la torsió afecta al formigó i a les armadures longitudinals i transversals, qualsevol sol·licitació diferent i simultània afectarà als elements calculats en torsió pura. Les dues instruccions de referència resolen aquesta qüestió amb criteris additius, tot i fent algunes matisacions, especialment en allò referent al esforç tallant. En l'aspecte teòric, les dos instruccions coincideixen. La secció eficaç a torsió es considera una secció de paret prima equivalent a la real, en la qual el que l'equilibri s'aconsegueix mitjançant un flux tancat de tallant.

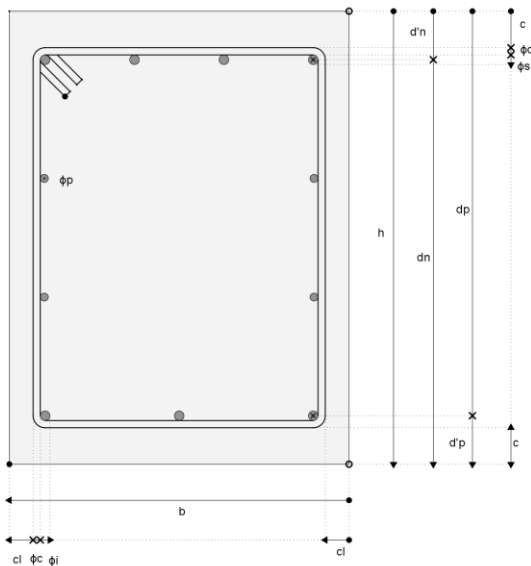


Fig. 12.82

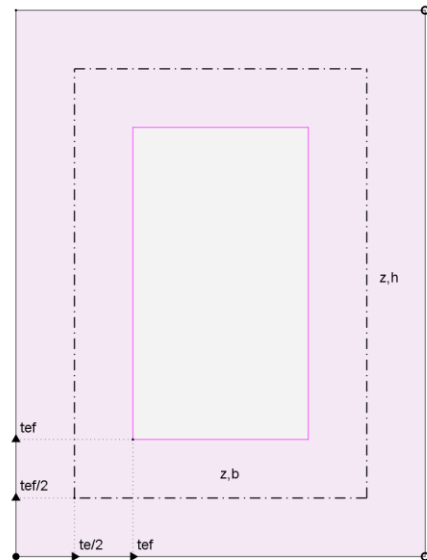


Fig. 12.83

L'amplària d'aquesta paret prima,  $h_e$  en l'EHE-08 i  $t_e$  en el CE, es calcula de forma idèntica a partir de l'àrea  $A$  de la secció transversal i del seu perímetre  $u$ , de tal manera que  $h_e = t_e = A/u$  (fig. 12.83). Però a partir d'aquí canvia la nomenclatura i el procediment.

Es proposa el següent exemple que es calcularà segons els criteris de les dues instruccions i els seus paràmetres queden com a valors prefixats a les dues aplicacions. Els paràmetres són:

- Amplada de la secció.  $b = 30$  cm
- Cantell total secció.  $h = 40$  cm
- Esforç torçor de càlcul.  $T_d = 17.4$  mkN
- Resistència característica del formigó.  $f_{ck} = 25$  N/mm<sup>2</sup>
- Coefficient de seguretat del formigó.  $\gamma_c = 1.52$
- Angle de les bieles de compressió del formigó.  $\theta = 45^\circ$
- Límit elàstic característic de l'acer.  $f_{yk} = 500$  N/mm<sup>2</sup>
- Coefficient de seguretat de l'acer.  $\gamma_s = 1.15$
- Armat superior:  $4\phi 12$
- Armat inferior:  $3\phi 12$

Armat pell (1 cara):  $2\phi 10$   
 Armat transversal: 1 cèrcol  $\phi$  9mm cada 8 cm  
 Recobriment geomètric superior i inferior.  $c = 3.22$  cm  
 Recobriment geomètric lateral.  $cl = 2.1$  cm

### Instrucció de Hormigón Estructural EHE-08

#### Gruix eficaç (45.2.1)

Àrea secció.  $A = b \cdot h$   
 $\cdot A = 1200 \text{ cm}^2$   
 Perímetre secció.  $u = 2 \cdot (b+h)$   
 $\cdot u = 140 \text{ cm.}$   
 Gruix eficaç.  $h_e = A/u$  i  $h_e \geq 2 \cdot \max(c, cl)$   
 $h_e = 8.57 \text{ cm}$

#### Formigó. $T_{u1}$ (45.2.2.1)

$T_{u1} = 2K\alpha f_{1cd} A_e h_e (\cot\theta + 1 + \cot\theta^2)$   
 $\cdot K = 1$  (44.2.3.1)  
 $\cdot \alpha = 0.60$   
 $f_{1cd} = 0.60 f_{cd}$  ( $f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$ )  
 $f_{1cd} = (0.90 - f_{ck}/200) f_{cd}$  ( $f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$ )  
 $\cdot f_{cd} = 16.45 \text{ N/mm}^2$   
 $\cdot f_{1cd} = 9.87 \text{ N/mm}^2$   
 $A_e = a \cdot b \cdot a, h$   
 $\cdot A_e = 673.37 \text{ cm}^2$   
 $\cdot \cot\theta = 1$   
 $T_{u1} = 34.17 \text{ mkN}$   
 $\text{És } T_d \leq T_{u1}: \text{ Si}$

#### Cèrcols. $T_{u2}$ (45.2.2.2)

$T_{u2} = (2A_e A_t / s_t) f_{yt,d} \cot\theta$   
 $A_t = \pi\phi_c^2 / 4$   
 $\cdot A_t = 0.64 \text{ cm}^2$   
 $f_{yt,d} = \min(f_{yk} / \gamma_s, 400)$  (40.2)  
 $\cdot f_{yt,d} = 400 \text{ N/mm}^2$   
 $T_{u2} = 42.84 \text{ mkN}$   
 $\text{És } T_d \leq T_{u2}: \text{ Si}$

#### Armadura longitudinal. $T_{u3}$ (45.2.2.3)

$T_{u3} = 2A_e A_l f_{y1,d} \tan\theta / u_e$   
 $A_l = ns \cdot \pi\phi_s^2 / 4 + ni \cdot \pi\phi_i^2 / 4 + 2np \cdot \pi\phi^2 / 4$   
 $\cdot A_l = 9.49 \text{ cm}^2$   
 $u_e = 2(a, b+a, h)$   
 $\cdot u_e = 105.71 \text{ cm}$   
 $T_{u3} = 48.35 \text{ mkN}$   
 $\text{És } T_d \leq T_{u3}: \text{ Si}$

#### Disposició cercols (45.2.3)

$s_t \leq u_e / 8$   
 $\cdot s_t = 13.21 \text{ cm} > 8$   
 $s_t \leq 0.60a(1 + \cot\alpha) \dots T_{u1}/5 < T_d \leq 2T_{u1}/5$   
 $a = \min(a, b, a, h)$   
 $\cdot a = 21.43 \text{ cm.}$   
 $\alpha = 90^\circ$   
 $\cdot \cot\alpha = 0$   
 $s_t = 12.86 \text{ cm} > 8$

Disposició cercols: correcta

### Código Estructural

#### Gruix eficaç (6.3.2(1))

Àrea secció.  $A = b \cdot h$   
 $\cdot A = 1200 \text{ cm}^2$   
 Perímetre secció.  $u = 2 \cdot (b+h)$   
 $\cdot u = 140 \text{ cm.}$   
 Gruix eficaç.  $h_e = A/u$   
 $t_{ef} = 8.57 \text{ cm}$

#### Formigó (6.3.2(4))

$T_{Rd,max} = 2v\alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef} \sin\theta \cos\theta$   
 $\cdot v = 0.54$  (6.2.2(6))  
 $\cdot \alpha_{cw} = 1$  (6.9)  
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$   
 $\cdot f_{cd} = 16.45 \text{ N/mm}^2$   
 $\cdot z, b = 21.43 \text{ cm}$   
 $\cdot z, h = 31.43 \text{ cm}$   
 $A_k = z \cdot b \cdot z, h$   
 $\cdot A_k = 673.37 \text{ cm}^2$   
 $\cdot \sin\theta = 0.71$   
 $\cdot \cos\theta = 0.71$   
 $T_{Rd,max} = 51.26 \text{ mkN}$   
 $\text{És } T_{Ed} / T_{Rd,max} = 0.34 \leq 1: \text{ Si}$

#### Cèrcols (6.3.2(1))

$\tau_t = T_{Ed} / (2A_k t_{ef})$   
 $\cdot \tau_t = 1.51 \text{ N/mm}^2$   
 $V_{Ed} = \tau_t t_{ef} z_i$   
 Es fa  $z_i = \min(z, b, z, h) ?$   
 $\cdot z_i = 21.43 \text{ cm}$   
 $\cdot V_{Ed} = 27.68 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,s} = A_{sw} z f_{ywd} \cot\theta$   
 $A_{sw} = \pi\phi_c^2 / 4$   
 $\cdot A_{sw} = 0.64 \text{ cm}^2$   
 $z = 0.9dp$  o  $z = 0.dn$   
 $\cdot z = 31.75 \text{ cm}$   
 $f_{ywd} = \min(f_{yk} / \gamma_s, 400)$   
 $\cdot f_{ywd} = 400 \text{ N/mm}^2$   
 $\cdot \cot\theta = 1$   
 $V_{Rd,s} = 100.99 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$   
 $b_w = b$   
 $\cdot b_w = 30 \text{ cm}$   
 $v_1 = 0.6(1 - f_{ck}/250)$   
 $\cdot v_1 = 0.54$   
 $V_{Rd,max} = 422.99 \text{ kN}$   
 $V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max})$   
 $V_{Rd} = 100.99 \text{ kN}$   
 $\text{És } V_{Ed} \leq V_{Rd}: \text{ Si}$

*Armadura longitudinal (6.3.2(6))*

$$\Sigma A_{sl} = u_k T_{Ed} \cot \theta / (2 A_k f_{yd})$$

$$u_k = 2(z, b+z, h)$$

$$\cdot u_k = 105.71 \text{ cm}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$\cdot f_{yd} = 438.78 \text{ N/mm}^2$$

$$\cdot \Sigma A_{sl} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_l = n s \phi_s + n_i \phi_i + 2 n_p \phi_p$$

$$\cdot A_l = 9.49 \text{ cm}^2$$

$$\text{És } \Sigma A_{sl} \leq A_l: \text{ Si}$$

*Disposició cercols (9.2.3(1))*

$$s \leq u/8$$

$$\cdot s = 17.5 \text{ cm}$$

$$s \leq b \text{ i } s \leq h$$

$$\cdot s = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Disposició cercols: correcta}$$

En l'exemple proposat, la disposició estructural de la secció en front de la torsió és correcta, tant a la instrucció EHE-08 com al CE. Com era d'esperar, l'anàlisi pel CE ha estat més laboriós i més molest degut al tràfec continu entre articles. S'ha trobat alguna falta de concisió, per exemple, en la determinació de la dimensió mínima  $z_i$  del perímetre mitjà del gruix eficaç, però n'hi ha d'altres. En general, s'ha de dir que, excepte en el càlcul del gruix eficaç, no existeixen més coincidències en el càlcul a torsió entre instruccions. Si el valor del moment torçor de càlcul,  $T_d$  (EHE-08) o  $T_{Ed}$  (CE), augmenta sense cap variació en els altres paràmetres, trobem que, per a  $T_d = 23.1 \text{ mkN}$ , el comportament a torsió ja és incorrecte, cosa que no passa fins al valor de  $T_{Ed} = 52.7 \text{ mkN}$  en el CE.