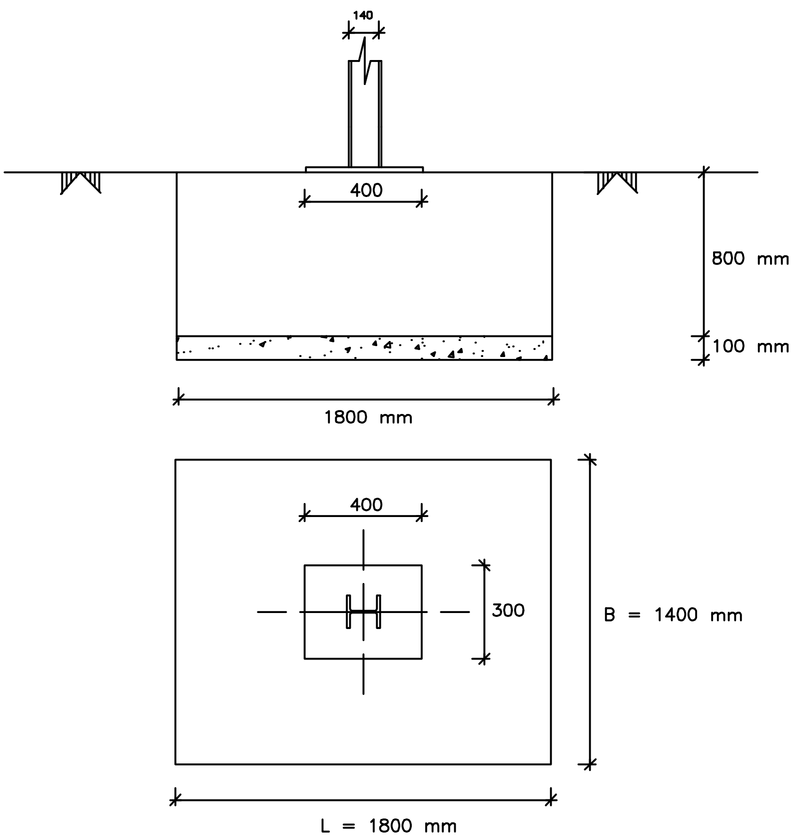
Calcular la zapata aislada de hormigón armado del siguiente supuesto, realizando todas las comprobaciones necesarias según indica la Instrucción EHE.

La zapata tendrá unas dimensiones de 1800 mm de longitud, 1400 mm de anchura y 800 mm de canto. Se dispondrán 100 mm de hormigón de limpieza. Soportará las cargas que la transmite un pilar centrado HEB 140, empotrado en el cimiento y sobre una placa de dimensiones 400 ´ 300 mm. Las solicitaciones en la base del pilar son: N =300 kN (incluyendo el peso propio del soporte), M =80 m·kN y V =50 kN.

Datos:

f_{ck} =25 N/mm^2	f_{yk} =410 N/mm^2	$g_{terreno}$ =18 kN/m^3
$g_{hormigón}$ =25 kN/m^3	$j_{terreno}$ =30°	$s_{admisible}$ =0.3 N/mm^2
Pilar: HEB 140	Placa: 400´ 300 mm	



Comprobación de la estabilidad estructural

$$N = N_0 + \gamma_h \cdot B \cdot L \cdot h = 300 + 25 \cdot 1.4 \cdot 1.8 \cdot 0.8 = 350.4\ \text{kN}$$
$$M = M_0 + V_0 \cdot h = 80 + 50 \cdot 0.8 = 120\ \text{m} \cdot \text{kN}$$
$$V = V_0 = 50\ \text{kN}$$

Vuelco:

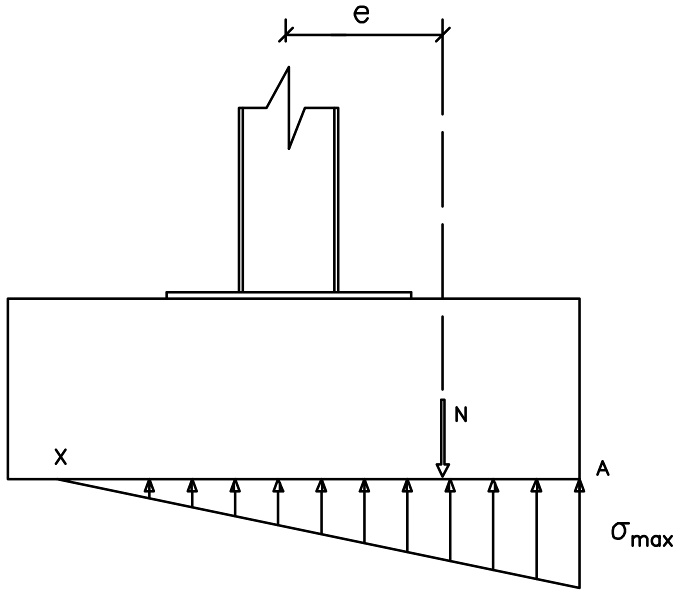
$$C_{sv} = \frac{M_E}{M_v} = \frac{N \cdot L/2}{M} = \frac{350.4 \cdot \frac{1.8}{2}}{120} = 2.628 > 1.5 \rightarrow \text{Admisible}$$

Deslizamiento:

$$C_{sd} = \frac{N \cdot \mu}{V} = \frac{N \cdot \tan\frac{2}{3}\varphi}{V} = \frac{350.4 \cdot \tan\frac{2}{3}30}{50} = 2.55 > 1.5 \rightarrow \text{Admisible}$$

Hundimiento:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{120}{350.4} = 0.34\ \text{m} > \frac{L}{6} = \frac{1.8}{6} = 0.30\ \text{m}$$



Distribución triangular:

$$\overline{AX} = \frac{3 \cdot L}{2} - 3 \cdot e = \frac{3 \cdot 1.8}{2} - 3 \cdot 0.34 = 1.68 \text{ m}$$

$$\sigma_{máx} = \frac{4 \cdot N}{3 \cdot (L - 2 \cdot e) \cdot B} = \frac{4 \cdot 350.4}{3 \cdot (1.8 - 2 \cdot 0.34) \cdot 1.4} = 298 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{máx} = 0.298 \text{ N/mm}^2 < 1.25 \cdot \sigma_{adm} = 0.375 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo a flexión

Vuelo físico

$$\left.\begin{aligned} v &= \frac{L - L'}{2} = \frac{1800 - 400}{2} = 700 \text{ mm} \\ 2 \cdot h &= 2 \cdot 800 = 1600 \text{ mm} \end{aligned}\right\} \quad v < 2 \cdot h \rightarrow \text{Zapata Rígida}$$

Vuelo de cálculo

$$m = v + \frac{L' - c}{4} = 700 + \frac{400 - 140}{4} = 765 \text{ mm}$$

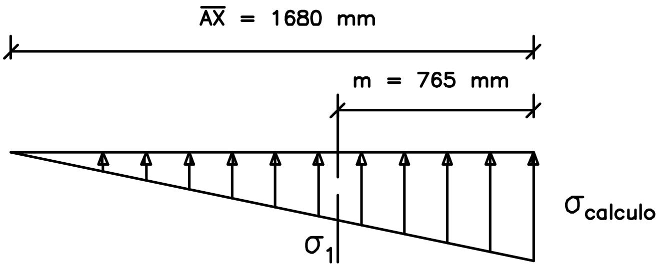
Obtención de la tensión de cálculo

Es necesario descontar a la tensión máxima la tensión uniformemente distribuida debida al peso del cimiento.

Tensión a descontar

$$\sigma_{zapata} = h \cdot \gamma_h = 0.8 \cdot 25 = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{cálculo} = \sigma_{máx} - \sigma_{zapata} = 0.298 - 0.020 = 0.278 \text{ N/mm}^2$$



$$\frac{\sigma_1}{\overline{AX} - m} = \frac{\sigma_{cálculo}}{\overline{AX}}$$

$$\frac{\sigma_1}{1680 - 765} = \frac{0.278}{1680}$$

$$\sigma_1 = 0.151 N/mm^2$$

Al ser una zapata rígida, empleamos el método de bielas y tirantes

$$R_{1d} = \frac{\sigma_c + \sigma_1}{2} \cdot B \cdot \frac{L}{2} = \frac{0.278 + 0.151}{2} \cdot 1400 \cdot \frac{1800}{2} = 270270\, N$$

$$x_1 = \frac{\left(\frac{L^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot \sigma_c + \sigma_1}{6}\right) \cdot B}{R_{1d}} = \frac{\left(\frac{1800^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot 0.278 + 0.151}{6}\right) \cdot 1400}{270270} = 494.9\, mm$$

$$T_d = \gamma_f \cdot \frac{R_{1d}}{0.85 \cdot d} \cdot (x_1 - 0.25 \cdot a)$$

Al tener hormigón de limpieza, adoptamos d’=50 mm

$$d = h - d' = 800 - 50 = 750\, mm$$

a =140 mm (anchura del soporte)

$$T_d = 1.6 \cdot \frac{270270}{0.85 \cdot 750} \cdot (494.4 - 0.25 \cdot 140) = 311623 N = 311.6\, kN$$

Con esta capacidad

$$A = \frac{311623}{\frac{410}{1.15}} = 874\,\text{mm}^2$$

Cuantía geométrica mínima:

Siguiendo la recomendación de J. Calavera, se adopta el 1.5 ‰

$$1.5\,‰ \cdot 1400 \cdot 800 = 1680\,\text{mm}^2$$

Cuantía mecánica mínima:

$$A_s \geq 0.04 \cdot A_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$0.04 \cdot 1400 \cdot 800 \cdot \frac{25/1.5}{410/1.15} = 2094.3\,\text{mm}^2$$

Por tanto, $A_s = 2094.3\,\text{mm}^2$

Utilizando barras de diámetro 16 mm:

$$2094.3 = n \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}$$

n =10.42 $\rightarrow$ 11 ϕ 16

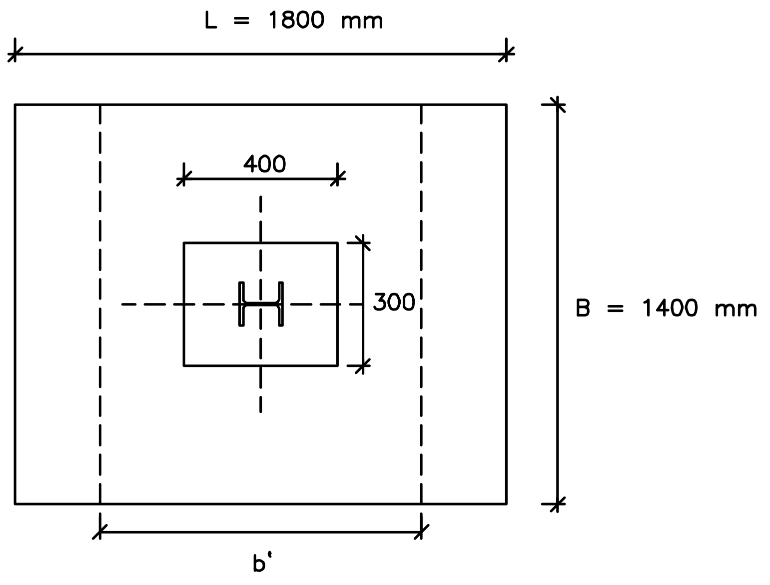
La distancia entre ejes de la armadura longitudinal será:

$$s = \frac{B - 2 \cdot r - n \cdot \phi}{(n-1)} + \phi$$

$$s = \frac{1400 - 2 \cdot 70 - 11 \cdot 16}{10} + 16 = 124.4 \text{ mm}$$

Por tanto, la armadura longitudinal está compuesta por 11ϕ16 separados 124.4 mm (entre ejes).

Armadura transversal



$$b' \not< a + 2 \cdot h = 400 + 2 \cdot 800 = 2000 \text{ mm}$$

Como supera la longitud de la zapata, distribuiremos la armadura transversal uniformemente.

$$\frac{1800 - 2 \cdot 70}{300} = 5.5 \rightarrow 6 \text{ vanos} \rightarrow 7\phi 16 \text{ mm}$$

Separación real entre ejes:

$$s = \frac{1800 - 2 \cdot 70 - 7 \cdot 16}{6} + 16 = 274 \text{ mm}$$

Por tanto, como armadura longitudinal utilizaremos 7 ϕ 16 separados 274 mm entre ejes.

Anclajes

✗ Armadura longitudinal

$$l_{b\,neta} = \beta \cdot l_b \cdot \frac{A_s}{A_{s.real}}$$

$$A_{s.real}(11\phi 16) = 11 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 2211.7\ \text{mm}^2$$

$$l_b = m \cdot \phi^2 \not< \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi$$

En posición I:

$$\left.\begin{array}{l} 12 \cdot 1.6^2 = 30.72\ \text{cm} \\ \dfrac{410}{20} \cdot 1.6 = 32.8\ \text{cm} \end{array}\right\} \quad l_b = 32.8\ \text{cm}$$

$$l_{b\,neta} = 1 \cdot 32.8 \cdot \frac{2094.3}{2211.7} = 31\,\text{cm} = 310\ \text{mm}$$

$$\frac{L}{4} = 450\ \text{mm}$$

$$\frac{L}{4} - 70 = 450 - 70 = 380\ \text{mm} > l_{bneta}$$

Por tanto, prolongación recta

✗ Armadura transversal

$$l_{b.neta.tr} = 0.6 \cdot l_{b.neta} = 0.6 \cdot 310 = 186\ \text{mm}$$

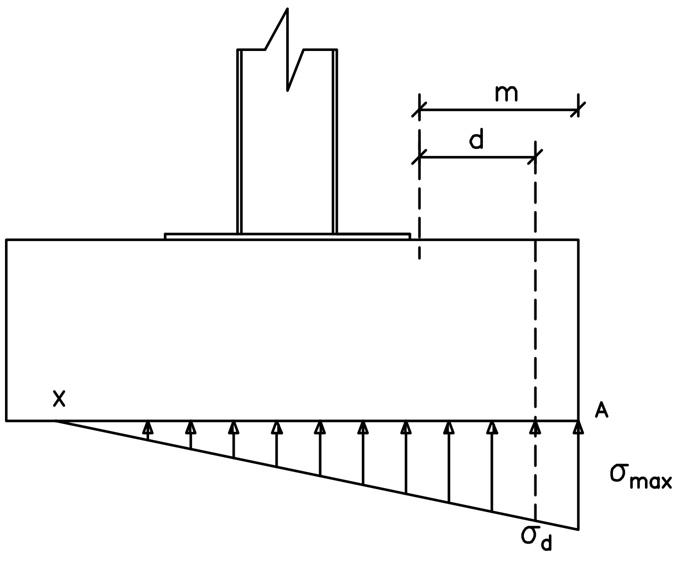
$$\frac{B}{4} = \frac{1400}{4} = 350$$

$$\frac{B}{4} - 70 = 350 - 70 = 280\ \text{mm} > l_{b.neta.tr}$$

Por tanto, prolongación recta

Comprobación a esfuerzo cortante

En primer lugar, hemos de obtener la tensión que actúa en la sección de referencia (σ_d).



$$\frac{\sigma_{máx}}{\overline{AX}} = \frac{\sigma_d}{\overline{AX} - (m - d)}$$

$$\frac{0.298}{1.68} = \frac{\sigma_d}{1.68 - (0.765 - 0.75)}$$

$$\sigma_d = 0.295\ \text{N/mm}^2$$

$$V_d = \gamma_f \cdot \sigma \cdot B \cdot (m - d)$$

$$V_d = 1.6 \cdot 0.295 \cdot 1400 \cdot (765 - 750) = 9912\,N$$

$$V_{cu} = \left[0.12 \cdot \xi \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}\right)^{1/3}\right] \cdot B \cdot d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{750}} = 1.52$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s.real}}{B \cdot d} \not> 0.02$$

$$\rho_1 = \frac{2211.7}{1400 \cdot 750} = 2.11‰$$

$$V_{cu} = \left[0.12 \cdot 1.52 \cdot \left(100 \cdot 0.00211 \cdot 25\right)^{1/3}\right] \cdot 1400 \cdot 750 = 333201N$$

$$V_{cu} = 333201N$$

$$V_d < V_{cu} \rightarrow \text{Admisible}$$

Comprobación a fisuración

Para la comprobación a fisuración vamos a utilizar las tablas proporcionadas por el Eurocódigo EC-2, que son muy útiles a nivel de proyecto y nos permiten abreviar los cálculos recogidos en la EHE siempre y cuando cumplan las condiciones máximas de diámetro y separación entre barras.

Diámetro máximo de barras de alta adherencia que hacen innecesaria la comprobación de fisuración $w_k \leq 0.3$ mm según EC-2	
Tensión del acero σ_s (N/mm^2)	**ϕ máximo de la barra (mm) Sección armada**
160	32
200	25
240	20
280	16
320	12
360	10
400	8
450	6

Nota: El valor de s_S puede ser estimado mediante la expresión $\sigma_s = \frac{T_d}{A_s}$, debiendo estar el valor de la tracción sin mayorar.

$$\sigma_s = \frac{T_d}{A_s} = \frac{\frac{311623}{1.6}}{2211.7} = 88.1\,N/mm^2$$

Con una tensión de servicio s_S igual a 88.1 N/mm^2 obtenemos que el diámetro máximo permitido como armadura para no realizar la comprobación a fisuración es 32 mm, y en nuestro caso, como hemos empleado 16, en principio, no es necesaria la comprobación a fisuración.

La segunda comprobación nos exige una separación entre redondos inferior a 300 mm. Como ya habíamos calculado previamente, la separación entre redondos es de 124.4 mm, con lo que también se cumple esta condición, y por tanto es innecesaria la comprobación estricta a fisuración.

Separación máxima entre barras de alta adherencia que hacen innecesaria la comprobación de fisuración $w_k \leq 0.3$ mm según EC-2		
Tensión del acero σ_s (N/mm^2)	**Separación máxima entre barras (mm)**	
	Flexión pura	**Tracción pura**
160	300	200
200	250	150
240	200	125
280	150	75
320	100	–
360	50	–