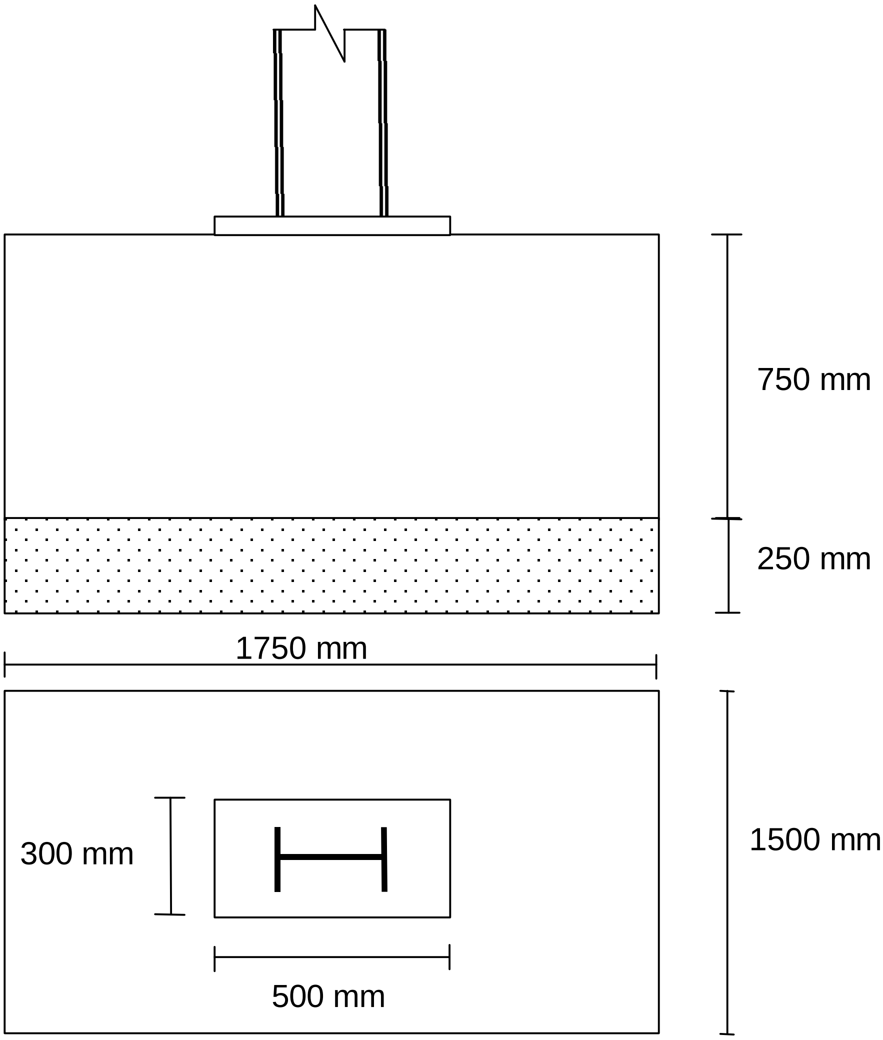
Calcular la zapata aislada de hormigón armado del siguiente supuesto, realizando todas las comprobaciones necesarias según indica la Instrucción EHE.

La zapata tendrá unas dimensiones de 1750 mm de longitud, 1500 mm de anchura y 750 mm de canto. Se dispondrán 250 mm de hormigón de limpieza. Soportará las cargas que le transmite un pilar IPE 240 centrado, con una placa de dimensiones 500 x 300 mm. Las solicitaciones en la base del pilar son: N= 60 kN (incluyendo el peso propio del soporte), M= 40 m·kN y V= 15 kN.

Datos:

f_{ck} =25 N/mm^2	f_{yk} = 510 N/mm^2	$g_{terreno}$ = 18 kN/m^3
$g_{hormigón}$ =25 kN/m^3	$j_{terreno}$ =30°	$s_{admisible}$ = 0.25 N/mm^2



Comprobación de la estabilidad estructural

$$N = N_0 + \gamma_h \cdot B \cdot L \cdot h = 60 + 25 \cdot 1.5 \cdot 1.75 \cdot 0.75 = 109.22\ \text{kN}$$
$$M = M_0 + V_0 \cdot h = 40 + 15 \cdot 0.75 = 51.25\ \text{m} \cdot \text{kN}$$
$$V = V_0 = 15\ \text{kN}$$

✔ Vuelco:

$$C_{sv} = \frac{M_E}{M_v} = \frac{N \cdot L/2}{M} = \frac{109.22 \cdot \frac{1.75}{2}}{51.25} = 1.86 > 1.5 \rightarrow \text{Admisible}$$

✔ Deslizamiento:

$$C_{sd} = \frac{N \cdot \mu}{V} = \frac{N \cdot \text{tag}\frac{2}{3}\varphi}{V} = \frac{109.22 \cdot \text{tag}\frac{2}{3}30}{15} = 2.65 > 1.5 \rightarrow \text{Admisible}$$

✔ Hundimiento:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{51.25}{109.22} = 0.47\ \text{m} > \frac{L}{6} = \frac{1.75}{6} = 0.29\ \text{m} \rightarrow \text{Distribución Triangular}$$

$$\overline{AX} = \frac{3 \cdot L}{2} - 3 \cdot e = \frac{3 \cdot 1.75}{2} - 3 \cdot 0.47 = 1.215\ \text{m}$$

$$\sigma_{máx} = \frac{4 \cdot N}{3 \cdot (L - 2 \cdot e) \cdot B} = \frac{4 \cdot 109220}{3 \cdot (1750 - 2 \cdot 470) \cdot 1500} = 0.12\ \text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{máx} = 0.12\ \text{N/mm}^2 < 1.25 \cdot \sigma_{adm} = 0.375\ \text{N/mm}^2 \rightarrow \text{Admisible}$$

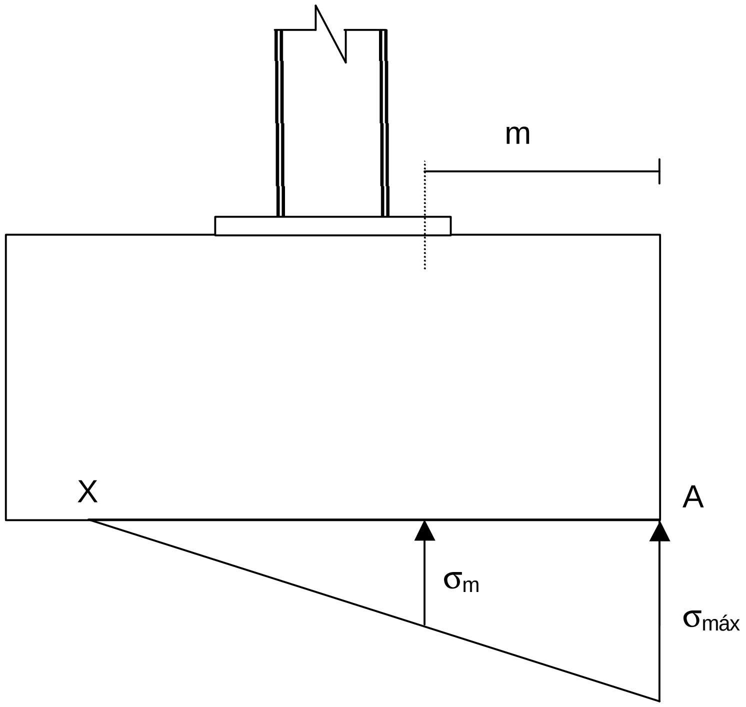
Cálculo a flexión

✔ Vuelo físico

$$\left.\begin{array}{l} v = \dfrac{L - L'}{2} = \dfrac{1750 - 500}{2} = 625\ \text{mm} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 750 = 1500\ \text{mm} \end{array}\right\} \quad v < 2 \cdot h \rightarrow \text{Zapata Rígida}$$

✓ Vuelo de cálculo

$$m = v + \frac{L' - c}{4} = 625 + \frac{500 - 240}{4} = 690\ \text{mm}$$



$$\frac{\sigma_{máx}}{\overline{AX} - m} = \frac{\sigma_m}{\overline{AX}}$$

$$\sigma_m = \frac{\overline{AX} - m}{\overline{AX}} \cdot \sigma_{máx} = \frac{1215 - 690}{1215} \cdot 0.12 = 0.052\ \text{N/mm}^2$$

✓ Obtención de las tensiones de cálculo

$$\sigma_{zapata} = h \cdot \gamma_h = 0.75 \cdot 25 = 18.75\ \text{kN/m}^2 = 0.019\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{cálculo} = \sigma_{máx} - \sigma_{zapata} = 0.12 - 0.019 = 0.101\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_m - \sigma_{zapata} = 0.052 - 0.019 = 0.033\ \text{N/mm}^2$$

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

$$R_{1d} = \frac{\sigma_c + \sigma_1}{2} \cdot B \cdot \frac{L}{2} = \frac{0.101 + 0.033}{2} \cdot 1500 \cdot \frac{1750}{2} = 87937.5\,\text{N}$$

$$x_1 = \frac{\left(\frac{L^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot \sigma_c + \sigma_1}{6}\right) \cdot B}{R_{1d}} = \frac{\left(\frac{1750^2}{4} \cdot \frac{2 \cdot 0.101 + 0.033}{6}\right) \cdot 1500}{87937.5} = 511.5\,\text{mm}$$

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

$$d = h - d' = 750 - 50 = 700\,\text{mm}$$

a = 240 mm (anchura del soporte)

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

$$T_d = 1.6 \cdot \frac{87937.5}{0.85 \cdot 700} \cdot (511.5 - 0.25 \cdot 240) = 106766.5\,\text{N}$$

Con esta capacidad

$$A = \frac{106766.5}{\frac{510}{1.15}} = 240.7\,\text{mm}^2$$

Cuantía geométrica mínima:

$$1.5\,‰ \cdot 1500 \cdot 750 = 1575\,\text{mm}^2$$

Cuantía mecánica mínima:

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

$$0.04 \cdot 1500 \cdot 750 \cdot \frac{25/1.5}{510/1.15} = 1691.2\,\text{mm}^2$$

Por tanto, $A_s = 1691.2\,\text{mm}^2$

Utilizando barras de diámetro 16 mm:

$$1691.2 = n \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}$$

n = 8.41 $\rightarrow$ 9 ϕ 16

La distancia entre ejes de la armadura longitudinal será:

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

$$s = \frac{1500 - 2 \cdot 70 - 9 \cdot 16}{8} + 16 = 168\,\text{mm}$$

Por tanto, la armadura longitudinal está compuesta por 9ϕ16 separados 168 mm (entre ejes).

Armadura transversal

$$b' \nless a + 2 \cdot h = 500 + 2 \cdot 750 = 2000\,\text{mm}$$

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

$$\frac{1750 - 2 \cdot 70}{300} = 5.4 \rightarrow 6 \text{ vanos} \rightarrow 7\phi 16\,\text{mm}$$

Separación real entre ejes:

$$s = \frac{1750 - 2 \cdot 70 - 7 \cdot 16}{6} + 16 = 265\,\text{mm}$$

Por tanto, como armadura longitudinal utilizaremos 7 ϕ 16 separados 265 mm entre ejes.

✓ Anclajes

✗ Armadura longitudinal

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

$$A_{s.real}(9\phi 16) = 9 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 1809.6\,\text{mm}^2$$

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

En posición I:

$$\left.\begin{array}{l} 15 \cdot 1.6^2 = 38.4\,\text{cm} \\ \dfrac{510}{20} \cdot 1.6 = 40.8\,\text{cm} \end{array}\right\} \quad l_b = 40.8\,\text{cm}$$

$$l_{b\,neta} = 1 \cdot 40.8 \cdot \frac{1691.2}{1809.6} = 38.1\text{cm} = 381\text{mm}$$

$$\frac{L}{4} = \frac{1750}{4} = 437.5\,\text{mm}$$

$$\frac{L}{4} - 70 = 437.5 - 70 = 367.5\,\text{mm}$$

$$0.7 \cdot l_{b,neta} = 0.7 \cdot 38.1 = 26.7\,\text{cm}$$

$$0.7 \cdot l_{b,neta} \leq \frac{L}{4} - 70 \leq l_{b,neta}$$

Por tanto, la terminación será en patilla.

✗ Armadura transversal

$$l_{b.neta.tr} = 0.6 \cdot l_{b.neta} = 0.6 \cdot 381 = 229 \text{ mm}$$

$$\frac{B}{4} = \frac{1500}{4} = 375 \text{ mm}$$

$$\frac{B}{4} - 70 = 375 - 70 = 305 \text{ mm} > l_{b.neta.tr}$$

Por tanto, prolongación recta

Comprobación a esfuerzo cortante

Como v < d, la sección de referencia queda fuera del cimiento, y por consiguiente no es necesario realizar la comprobación a cortante.

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.

$$\sigma_s = \frac{T_d}{A_s} = \frac{\frac{106766.5}{1.6}}{1809.6} = 36.9 \text{ N/mm}^2$$

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.

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	–

Por tanto, barras de ϕ 16 con una separación *s = 168 mm* cumplen con creces las restricciones de las tablas de la EC-2, no siendo necesaria la comprobación a fisuración.