

ZAPATAS

Las zapatas son cimentaciones superficiales o directas, como toda cimentación ha de garantizar, de forma permanente, la estabilidad de la obra que soporta.

Los tipos de zapatas pueden ser:

Por su forma de trabajar:

- Aisladas.
- Combinadas.
- Continuas bajo pilares.
- Continuas bajo muros.
- Arriostradas.

Por su morfología:

- Macizas,
 - Que a su vez pueden ser.
 - Rectas.
 - Escalonadas.
 - Piramidales.
- Aligeradas.

Por la relación entre sus dimensiones (lo que condiciona su forma de trabajo).

- Rígidas. En las que el vuelo es menor o igual a dos veces el canto.
- Flexibles. En las que el vuelo es mayor a dos veces el canto.

Por la forma:

- Rectangulares, cuadradas, circulares y poligonales.

El uso de las zapatas aisladas como elemento de sustentación está limitado y se emplean cuando el terreno tiene, ya en su superficie, una resistencia media o alta en relación con las cargas, y es suficientemente homogéneo como para que no sean de temer asientos diferenciales. En el proyecto de obras de edificación de cualquier tipo deberá figurar, expresamente, una exposición detallada de las características del terreno, a cuyos efectos el Técnico que lo redacta podrá exigir al propietario un estudio del suelo y subsuelo, formulado por Técnico competente.

Para su dimensionamiento y cálculo se adopta en todos los casos la hipótesis de reparto de presiones lineal, que corresponde al caso de cimiento rígido sobre terreno elástico. En casos excepcionales, en los que la importancia de la obra lo requiera, se adoptarán repartos diferentes para un dimensionamiento más apropiado de estos elementos.

Para el análisis y dimensionamiento riguroso de estos elementos aconsejamos al alumno la lectura y estudio de las obras:

- Cimentaciones de Hormigón Armado, autores; Montoya-Meseguer-Morán.
- Cálculo de Estructuras de Cimentación, autor; J. Calavera.

Abordaremos solo el análisis de zapatas rectangulares por ser las más utilizadas. Se realizará así mediante la condición de no existencia de tracciones en el terreno y con análisis separados en las dos direcciones principales, cuando existan momentos aplicados en ambas.

Tensión admisible del terreno y asientos admisibles.

Para disponer de una idea orientativa tanto de las tensiones admisibles de los distintos tipos de terrenos, como de los asientos generales admisibles y las cargas a considerar en el proyecto de la cimentación se puede consultar el Capítulo VIII. *Presiones en terreno de cimentación*, de la NBE-AE-88. En la misma (apartado 8.9. *Reconocimiento del terreno*) se establecen los criterios para la elección de la presión admisible en el terreno. En cualquier caso, y dada la complejidad del problema de los asientos, cuando por las características de la estructura o la naturaleza del terreno sean de temer asientos superiores a los admisibles, el proyectista debe acudir a un especialista en cimentaciones.

Los valores más usualmente manejados oscilan entre 1 y 2 kp/cm².

Comprobación al vuelco.

La primera comprobación que debe efectuarse en zapatas sometidas a momentos o fuerzas horizontales es la seguridad al vuelco. El problema se reduce a comprobar que el llamado momento de vuelco afectado por un coeficiente de seguridad (por norma 1.5) es inferior al momento estabilizador, para ello se toma momentos respecto al eje -O-.

$$(N + P) b/2 \geq (M + V h) \gamma_s$$

Siendo:

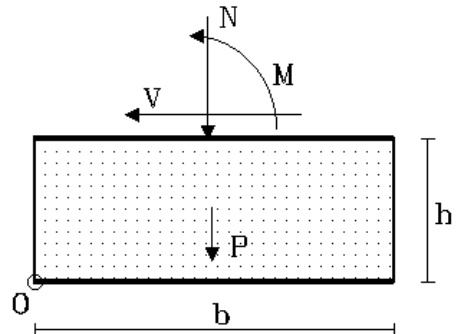
N, M, V = Esfuerzos en base de pilar.

P = Peso propio de la zapata.

b = ancho de la zapata.

h = altura o canto de la zapata

γ_s = coeficiente de seguridad de valor 1.5



Comprobación al deslizamiento.

En el caso de zapatas sometidas a acciones horizontales y que no estén debidamente arriostradas, deberá comprobarse la seguridad al deslizamiento. La fuerza de rozamiento entre la base de la zapata y el terreno o la cohesión de éste se tomará como única fuerza estabilizante, despreciándose generalmente el empuje sobre la superficie lateral de la zapata. Se deberá cumplir que:

$$(N + P) \operatorname{tg} \theta_{2/3} \geq V \gamma_s \quad \text{para suelos sin cohesión (arenas).}$$

$$A c_{1/2} \geq V \gamma_s \quad \text{para suelos cohesivos (arcillas).}$$

Siendo:

N, V = los esfuerzos normal y cortante en la base del pilar.

P = Peso propio de la zapata.

$\theta_{2/3} = 2/3 \theta$ = ángulo de rozamiento interno de cálculo minorado.

$c_{1/2} = 0.5 c$ = valor de cálculo minorado de la cohesión.

A = superficie de la base de la zapata.

γ_s = coeficiente de seguridad al deslizamiento, de valor 1.5.

Repartos de tensiones.

CASO I.- La excentricidad $e = M/N \leq b/6$

Las tensiones deducidas serán:

$$\sigma_1 = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{ab^2} = \frac{N}{ab} \left(1 + \frac{6e}{b}\right)$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{ab^2} = \frac{N}{ab} \left(1 - \frac{6e}{b}\right)$$

Se deberá cumplir que: $\frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq \sigma_{admissible}$

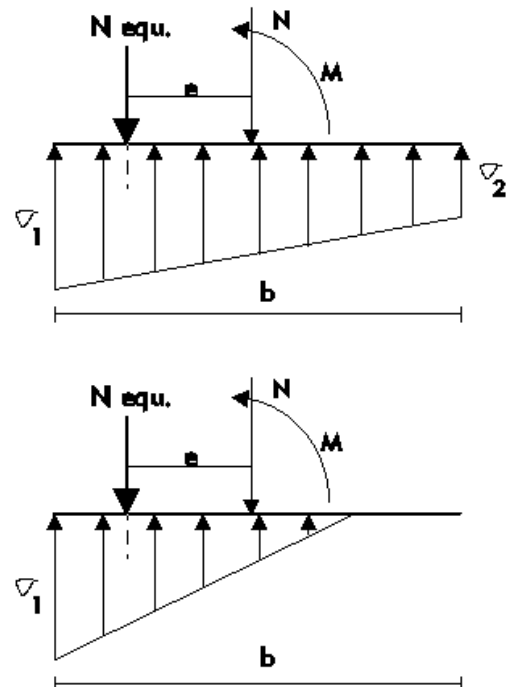
CASO II.- $b/6 < e \leq b/3$

$$\sigma_1 = \frac{2N}{3da} = \frac{4}{3} \frac{N}{(b-2e)a}$$

Se deberá cumplir que: $\sigma_1 \leq 1.25 \sigma_{admissible}$

CASO III.- $e > b/3$

Este caso no es válido y deberán modificarse las condiciones geométricas por falta de seguridad al vuelco.



Cálculo de la armadura.-

El dimensionamiento de las armaduras necesarias en las zapatas de hormigón armado se efectuará de acuerdo con la norma EH en vigor. En la misma se establece primero una clasificación de las zapatas atendiendo a la relación entre el vuelo y su canto, siendo las mismas:

Tipo I. en las que el vuelo está comprendido entre: $0.5 h \leq v \leq 2 h$.

El las que el cálculo de la armadura se realiza a flexión simple, generalmente por el método del momento tope, comprobando la adherencia de las mismas, así como, el esfuerzo cortante. El cálculo del punzonamiento generalmente no es necesario.

Tipo II. en las que el vuelo está comprendido entre: $v \leq 0.5 h$.

Se calculará la armadura como si se tratara de una mensula corta.

Tipo III. en las que el vuelo está comprendido entre: $v \geq 2 h$.

Se calculará como losa la armadura necesaria.

Tipo IV. Se trata de zapatas en masa (sin armar), en las que deberá comprobarse que no se sobrepasen los valores de las resistencias virtuales de cálculo del hormigón a tracción por flexión, al esfuerzo cortante y al punzonamiento.

Existe una segunda clasificación, mas extendida, en la que se considera:

- **zapatas rígidas**, aquellas en las que el vuelo es menor o igual que el canto.
- **zapatas flexibles**, aquellas en las que el vuelo es mayor que el canto.

Animamos al alumno al estudio de otros métodos, como por ejemplo el método de las bielas, o el método Belgo-Luxemburges, también empleados con frecuencia en el cálculo de zapatas.

EJEMPLO DE CÁLCULO DE UNA ZAPATA CENTRADA CON BASE DEL PILAR.

Acciones sin mayorar.-

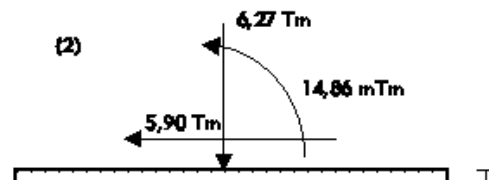
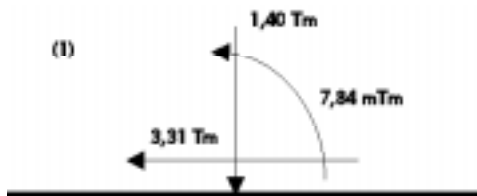
Hipótesis

(1) Peso propio + viento.

$$N = -1.40 \text{ tn.} \quad H = -3.31 \text{ tn.} \quad M = -7.87 \text{ mtn.}$$

(2) Peso propio + Sobrecarga + nieve.

$$N = -6.27 \text{ tn.} \quad H = -5.90 \text{ tn.} \quad M = -14.86 \text{ mtn.}$$



Predimensionamiento.-

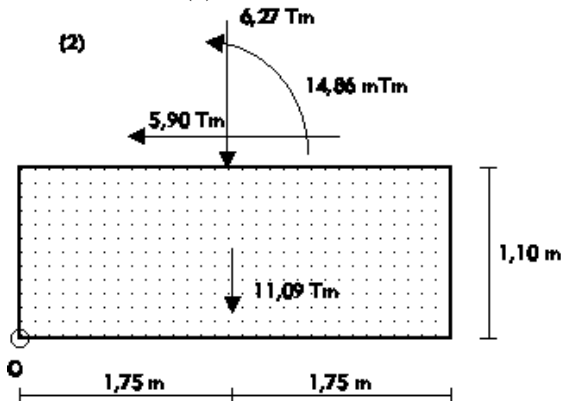
Zapata rectangular de (axbxbh): 3.50m x 1.20m x 1.10m

$$\text{Peso} = (3.50 \cdot 1.20 \cdot 1.10) \cdot 2.4 = 11.09 \text{ tn.}$$

Estabilidad al vuelco.-

Despreciamos el peso de tierras y solera sobre zapata.

Veamos el caso (2).



$$M_{\text{estabilizador}} = (11.09 + 6.27) \cdot 1.75 = 30.28 \text{ mtn.}$$

$$M_{\text{volcador}} = 14.86 + (5.90 \cdot 1.10) = 21.35 \text{ mtn.}$$

Seguridad al vuelco:

$$\gamma_v = \frac{30.28}{21.35} = 1.42 < 1.50 \dots \text{NOCUMPLE}$$

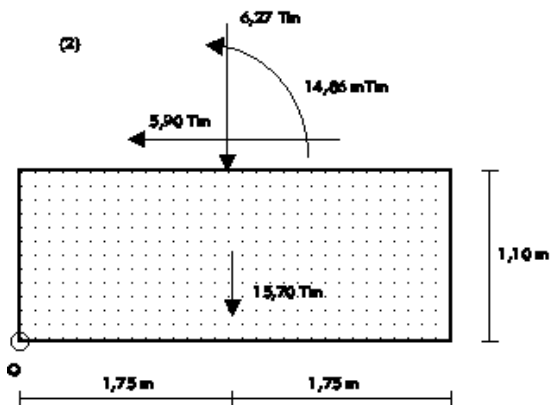
Nuevo dimensionamiento.-

Como puede observarse, las posibilidades en el nuevo dimensionado son varias:

- Aumentar el vuelo.
- Aumentar el canto.
- Aumentar el ancho.

Aumentamos el ancho de la zapata, para aumentar su peso y estabilizar el vuelco.

$$3.50\text{m} \times 1.70\text{m} \times 1.10\text{m} \quad \text{Peso} = (3.50 \cdot 1.70 \cdot 1.10) \cdot 2.4 = 15.70\text{tn.}$$



$$M_{\text{estabilizador}} = (15.70 + 6.27) \cdot 1.75 = 38.46\text{mtn.}$$

$$\gamma_v = \frac{38.46}{21.35} = 1.80 > 1.50 \dots \text{CUMPLE}$$

Estabilidad al deslizamiento.-

Terreno: Ángulo de rozamiento interno $\Theta = 45^\circ$.
Rozamiento tierra-cimiento = $\text{tg } 2/3\Theta = 0.58$

Acciones verticales. $\Sigma N = 15.70 + 6.27 = 21.97\text{tn.}$

Acciones horizontales. $\Sigma H = 5.90\text{tn.}$

Seguridad al deslizamiento:

$$\gamma_d = \frac{\text{tg}\Theta \Sigma N}{\Sigma H} = \frac{0.58 \cdot 21.97}{5.9} = 2.14 > 1.50 \dots \text{CUMPLE}$$

Tensiones.-

Dimensiones zapata (a·b·h) = 3.5m · 1.7m · 1.1m.

N = 21.97 tn. M = 21.35 mtn.

Area A = ab = 5.95 m² Módulo resistente W = ab²/6 = 3.47 m³

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = 3.69 \pm 6.15 \quad \text{luego} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = 9.84 \text{tn/m}^2 \quad \text{comprime.} \\ \sigma_2 = -2.46 \text{tn/m}^2 \quad \text{tracciona.} \end{array} \right.$$

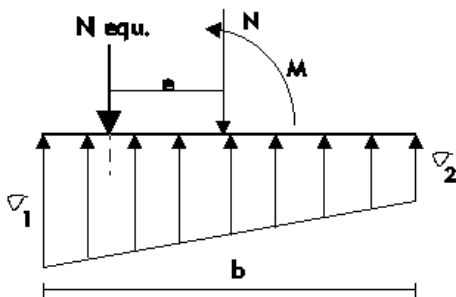
Excentricidad

$$e = \frac{M}{N} = \frac{21.35}{21.97} = 0.97 \text{m.}$$

$$\frac{b}{6} = \frac{3.50}{6} = 0.58 \text{m.} < e = 0.97 \text{m.} \leq \frac{b}{3} = \frac{3.50}{3} = 1.16 \text{m.}$$

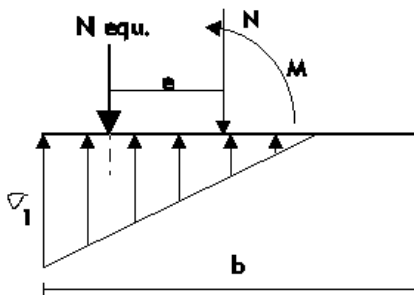
Como podemos observar estamos en el **caso II.**

Recordemos:



caso I.- $e \leq b/6$

$$\frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq \sigma_{admissible}$$



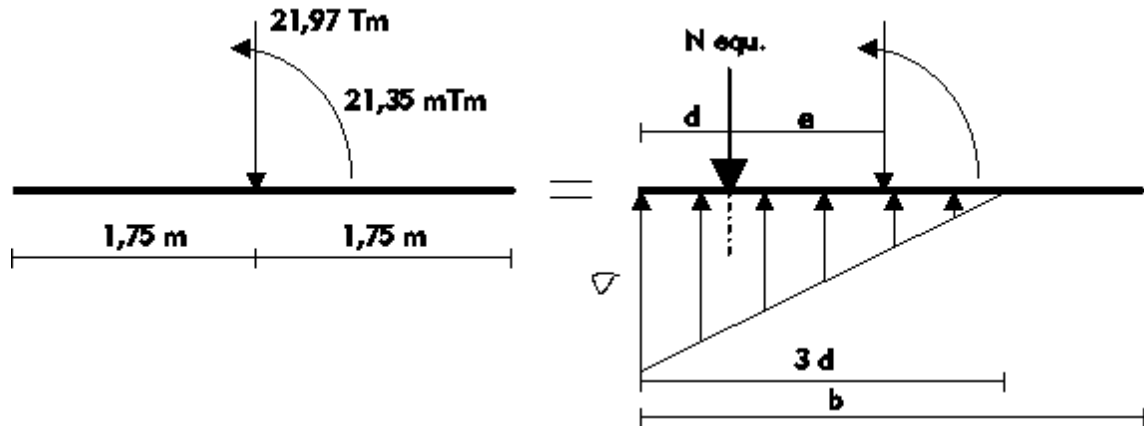
caso II.- $b/6 < e \leq b/3$

$$\sigma_1 \leq 1.25 \sigma_{admissible}$$

caso III.- $e > b/3$

inadmissible.

En nuestro caso tendremos.-



$$\text{Area} = \sigma \cdot 3d/2 = N_{\text{equ}}/\text{ancho}$$

$$d = (b/2) - e$$

$$\sigma = \frac{4}{3} \frac{N}{(b - 2e)a}$$

Suponiendo una **tensión admisible de 1 kp/cm²**, tendremos.-

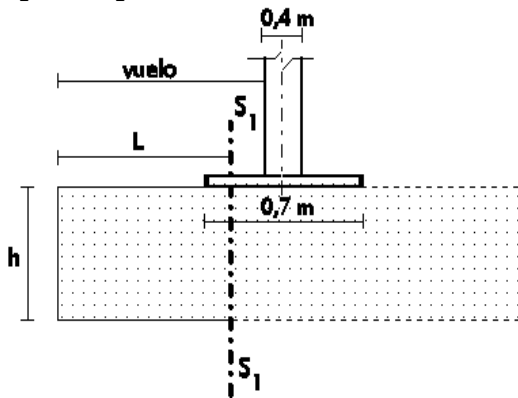
$$\sigma = \frac{4}{3} \frac{21.97}{(3.5 - 2 \cdot 0.97) \cdot 1.70} = 11.04 \text{ tn/m}^2 \approx 1.1 \text{ kg/cm}^2 < 1.25 \text{ kg/cm}^2$$

CUMPLE.

La hipótesis (1) es mas favorable que la (2), pues el peso de la zapata es preponderante.

Cálculo de la armadura.-

tipo de zapata.-



$$\text{vuelo} = v = 1.75 - 0.20 = 1.55 \text{ m.}$$

luego:

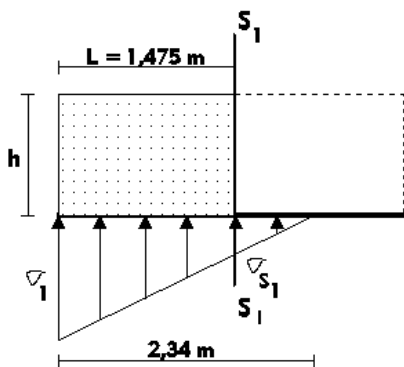
$$0.5h = 0.55 \text{ m} \leq v = 1.55 \text{ m} \leq 2h = 2.20 \text{ m.}$$

Zapata TIPO I.

Se calculará a flexión simple con el momento de la sección de referencia S₁.

$$L = 1.75 - 0.20 - 0.5(0.35 - 0.20) = 1.475 \text{ m.}$$

Calculemos el momento en dicha sección.-



$$P_{\text{zapata}} = 1.70 \cdot 1.10 \cdot 2.40 = 4.49 \text{ tn./m}$$

$$\sigma = 11.04 \text{ tn/m}^2$$

$$\sigma_{s1} = 11.04 \cdot (2.34 - 1.48) / 2.34 = 4.05 \text{ tn/m}^2$$

$$M_{s1} = (11.04 - 4.05) \frac{1.48^2}{2} \frac{2}{3} + 4.05 \frac{1.48^2}{2} - 4.49 \frac{1.48^2}{2} = 11.3 \text{ mtn.}$$

$$M_{s1}^* = 1.6 \cdot 11.3 = 18.08 \text{ mtn.}$$

Método momento tope, flexión simple sin armadura de compresión.

siendo:

Hormigón H-150. $f_{cd} = 1500/1.5 = 1000 \text{ tn/m}^2$ U_c cap. mec. del hormigón U_s cap. mec. del acero
 Acero EAH-400 $f_{yd} = 42000/1.15 = 36520 \text{ tn/m}^2$ d = canto útil a = ancho zapata. A_s = area arm. trac.

$$M_d \leq 0.35 \cdot U_c \cdot d \qquad U_c = f_{cd} \cdot a \cdot d \qquad U_s = f_{yd} \cdot A_s$$

empleando la fórmula.

$$U_s \cdot l = 0.97 \frac{M_d}{d} \left(1 + \frac{M_d}{U_c \cdot d} \right) \quad \text{no menor que } 0.04 U_c \text{ (por cuantía mínima) (Generalmente no se cumple, aunque sea obligatoria)}$$

$$U_s \cdot l = 0.97 \frac{18.08}{1.05} \left(1 + \frac{18.08}{\frac{1500}{1.5} \cdot 1.70 \cdot 1.05^2} \right) = 16.82 \text{ tn.} \quad \text{por c. mínima nos daría:}$$

$$0.04 \cdot 1000 \cdot 1.70 \cdot 1.05 = 71.4 \text{ tn.}$$

(10 φ 16, o φ 16 a 18 cm.)

Aplicando el articulado de la norma se dispondrá como armadura de tracción la siguiente:

$$\alpha = 1.5 - 12.5 \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = 1.39 \qquad A_s = U_{s1} / f_{yd} = 16,82 / 36520 = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_c = 1,10 \cdot 1,70 = 1,87 \text{ m}^2$$

$$U_s = \alpha \cdot U_{s1} = 1.39 \cdot 16.82 = 23.3 \text{ tn. (9 φ 12, o φ 12 a 20 cm.)}$$

Comprobación de la adherencia.-

Aplicando el articulado tendremos:

$$\Gamma_b = \frac{V_d \cdot l}{0.9 d n u} \leq \Gamma_{bd} = 0.95^3 \sqrt{f_{cd}^2} = 20.46 \text{ kg/cm}^2 \cdot 20$$

Donde:

V_{dl} = Esfuerzo cortante mayorado.
 n = $n \square$ barras, u = perímetro barra.
 d = canto útil.

$$V_{dl}^* = \left(\frac{(\sigma - \sigma_{s1}) \times 1,48 \times 1,70}{2} + \sigma_{s1} \times 1,48 \times 1,70 \right) \times C_s$$

$$V_{dl}^* = 0.5 \cdot (11.04 + 4.05) \cdot 1.48 \cdot 1.7 \cdot 1.6 = 30.37 \text{ tn.}$$

Γ_d = Tensión tang. de adherencia.
 Γ_{bd} = Resist. cálculo de adherencia.

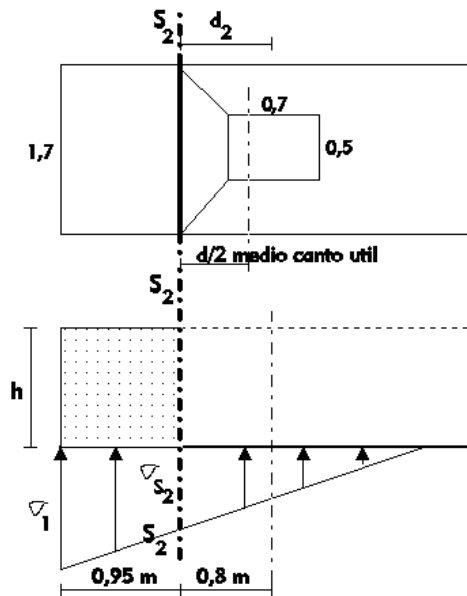
$$\Gamma_b = \frac{30.37 \times 10^3}{0.9 \times 1.05 \times 10^2 \times 9 \times 1.2 \times \pi} = 9.47 \text{ kg/cm}^2 < 20.46 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{CUMPLE}$$

Se emplearán siempre barras corrugadas de diámetro mayor que φ 12mm.

Comprobación a cortante.-

Aplicando el articulado tendremos:

Sección de referencia S_2 en plano perpendicular a base zapata, paralelo a cara soporte, situado a una distancia de medio canto útil a partir del punto medio del soporte y borde de placa:



$$d_2 = 0.275 + 1.05/2 = 0.8\text{m.}$$

ancho de la sección:

$$b_2 = b + d = 0.5 + 1.05 = 1.55\text{m.}$$

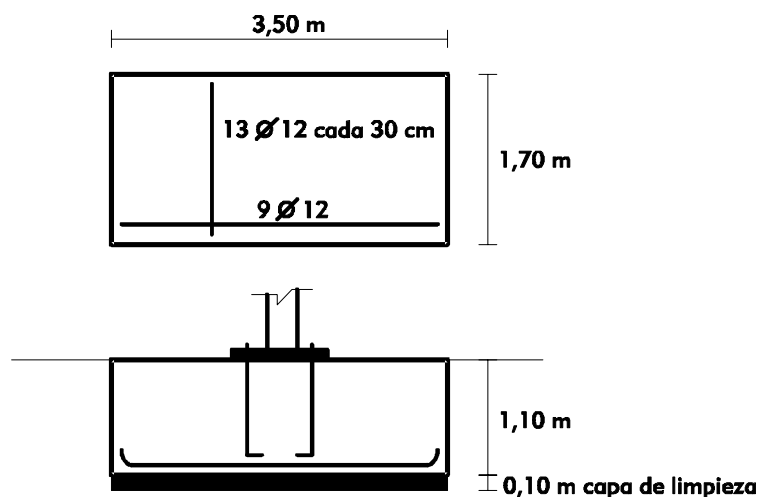
$$\sigma_{s2} = 11.04 \cdot (2.34 - 0.95) / 2.34 = 6.55\text{tn/m}^2.$$

$$V_{ds2} = 1.6 \cdot \left(\frac{11.04 + 6.55}{2} \cdot 0.95 \cdot 1.7 - 4.49 \cdot 0.95 \right) = 15.9\text{tn/m}^2$$

$$V_{cu} = 0.5 \sqrt{f_{cd}} \cdot b_2 \cdot d_2 = 50 \cdot 1.55 \cdot 1.05 = 81.37\text{tn/m}^2 > 15.9\text{tn/m}^2 \dots \text{CUMPLE}$$

Hechas todas las comprobaciones damos la solución propuesta como valida.

Disposición de armaduras.-



TALUDES

Un talud es un paramento inclinado de un terraplén o de un desmonte, que habitualmente se revisten con plantaciones, tepes o empedrados para consolidarlos. También se denomina talud al ángulo máximo en que se sostiene el terreno al hacer una zanja o desmonte, sin que se produzcan corrimientos.

Los taludes pueden ser provisionales (taludes) o permanentes (desmontes o terraplenes), ver la Norma Tecnológica de Edificación NTE *Acondicionamiento de Terreno, Cimentaciones*, con las que se estudian los criterios de diseño y cálculo de este elemento.